

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة 8 ماي 1945 قالمة

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie/Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Sciences de la Terre

Spécialité/Option : Hydrogéologie et Géothermie

Département : Sciences de la Nature et de la Vie

THEME :

HYDROCHIMIE ET QUALITE DES EAUX MISES EN BOUTEILLE ET COMMERCIALISEE SUR LE MARCHE ALGERIEN

Présenté par : Belaaze Zeyneb

Devant le jury composé de :

Président : M Ghrieb.L

Examineur : M Brahmia.A

Encadreur : M Nouar.T

Juin 2018

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Allah le tout puissant, notre créateur pour m'avoir donné la force d'accomplir ce travail.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre de l'université de Guelma en particulier les enseignants de l'Hydrogéologie, à qui, je dois beaucoup pour ma formation.

Je tiens à remercier et à exprimer ma sincère reconnaissance à Monsieur Nouar.T pour l'encadrement dont j'ai pu bénéficier et le temps qu'il m'a accordé dans une atmosphère de confiance et d'autonomie de ma recherche.

Je tiens aussi à remercier tout particulièrement Monsieur Ghrieb .L. pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance. Merci Monsieur Brahmia.A d'avoir accepté d'examiner mon manuscrit.

J'ai une attention particulière à mes amis et mes collègues.

Enfin merci de tout mon cœur à mes parents, en particulier ma Mère mes cousins Khawla, Feriel, Fatma pour m'avoir toujours écouté, réconforté et encouragé dans les moments de doute. Merci chère famille qui a contribué et contribue toujours grandement à mon bien-être.

Je dédie de façon spéciale ce Travail de Fin d'Études

A Dieu Tout-Puissant, pour son amour infini. Je Lui rends Gloire et Honneur !

A ma mère, les mots me manquent pour vous qualifier, tout ce que j'aurais à dire ne saurait, exprimer à fond tout le sacrifice et l'endurance que vous avez dû subir pour m'élever. Je vous demande pardon et vos bénédictions nuits et jours.

Résumé

Le but de ce travail consiste à l'étude hydrochimique et qualité des eaux mises en bouteilles commercialisés sur le marché Algérien situées dans l'atlas tellien et saharien de l'Algérie. L'étude est réalisée sur 28 sources d'eaux nous a permis d'établir la composition physico-chimique de ces eaux et leurs destinations appropriées.

L'étude hydrochimiques des eaux embouteillées commercialisées sur le marché Algérien montre que ces eaux sont de bonne qualité pour la consommation humaine et à l'usage agricole

Mots clés : Hydrochimie, Qualité, Eau embouteillé, Algérie.

Abstract

The aim of this work is the hydrochemical study and quality of bottled waters marketed on the Algerian market located in the Tell Atlas and Saharan Algeria. The study is carried out on 28 water sources allowed us to establish the physico-chemical composition of these waters and their appropriate destinations.

The results of physico-chemical analyzes show that the majority of waters are good for human consumption and for agricultural use

Key words: Hydrochemistry, Quality, Bottled water, Algeria.

المخلص

الهدف من هذا العمل هو الدراسة الهيدروكيميائية وجودة المياه المعبأة في زجاجات التي يتم تسويقها في السوق الجزائري الموجود في تلم أطلس والصحراء الجزائرية. وقد أجريت الدراسة على 28 مصدراً للمياه سمحت لنا لإنشاء التركيب الفيزيائي الكيميائي لهذه المياه ووجهاتها المناسبة

تظهر نتائج التحاليل الفيزيائية الكيميائية أن غالبية المياه جيدة للاستهلاك البشري وللإستخدام الزراعي.

الكلمات المفتاحية: الكيمياء الهيدروولوجية ، الجودة ، المياه المعبأة ، الجزائر.

	Page
Introduction générale.....	1
CHAPITRE 1: CADRE GENERALE	
1. situation géographique.....	2
2. Hydroclimatologie.....	2
2.1.Présentation des stations de mesure.....	3
2.2.Étude des précipitations.....	3
2.3.Étude des températures.....	3
2.4.Bilan hydrique.....	4
2.5.Calcul de ruissellement.....	7
2.6.Calcul de l'infiltration efficace.....	7
2.7.Diagramme pluvio-thermique.....	8
2.8.Calcul de l'indice d'aridité annuel de « De Martonne ».....	10
3.Aperçu géologique et hydrogéologique.....	11
Conclusion.....	12
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	
Introduction.....	13
1.Echantillonnage.....	13
2.Matériels.....	13
3. Méthodes.....	13
4.Prélèvement et conservation des échantillons.....	13
5.Transport des échantillons.....	14
6.Campagne de collecte de données.....	14
6.1Données de terrain.....	14
6.1.1Potentiel Hydrogène (PH).....	14
6.1.2.Conductivité électrique (CE).....	14
6.1.3.Température(Tc).....	15

6.2Données de Laboratoire.....	15
6.2.1.Détermination du calcium (Ca^{+2})	15
6.2.2..Détermination du magnésium (Mg^{2+}).....	16
6.2.3Dosage de Sodium et Potassium (Na^+ , K^+).....	17
6.2.4.Détermination des chlorures (Cl^-).....	17
6.2.5.Détermination des sulfates (So^{2-}_4).....	18
6.2.6.Détermination de l'alcalinité.....	19
6.2.7Dosage des nitrites (NO_2^-).....	20
6.2.8Dosage des Nitrates (NO^{2-}_3).....	21
Conclusion.....	22

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction.....	23
1. Balance ionique.....	24
2.Facies Chimique.....	25
3.Mécanisme contrôlant le chimisme de l'eau.....	26
4.Indice de saturation et pression partielle de CO_2 (pCO_2).....	27
5.Etude des principaux cations et anions	29
6.Matrice de corrélation.....	30
7.Analyse en composante principale.....	31
8. Aptitude de l'eau a la consommation humaine.....	32
8.1. Titre hydrotimétrique.....	32
8.2.Comparaison des paramètres physico-chimiques avec les normes de l'OMS.....	33
9. Aptitude de l'eau pour l'irrigation.....	34
9.1. Conductivité électrique (CE).....	34

Table des matières

9.2. Pourcentage en sodium (NA%).....	34
9.3. Sodium adsorption ratio (SAR).....	36
9.4. Salinité potentielle du sol (SP).....	39
9.5. Carbonate de sodium résiduel (RSC).....	40
9.6. Indice de kelley (KR).....	41
9.7. Indice de perméabilité (IP).....	42
9.8. Magnésium ratio (MR).....	44
Conclusion.....	45
Conclusion générale.....	46

CHAPITRE I : CADRE GENERAL

Tableau.1 : Appartenance géographique.....2

Tableau.2 : Caractéristique des stations (Bejaia, Elkala, Batna et Tlemcen).....3

Tableau.3 : Précipitations moyennes mensuelles.....3

Tableau.4 : Températures moyennes mensuelle des stations.....4

Tableau.5 : Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Bejaia.....5

Tableau.6 : Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station d'Elkala.....5

Tableau.7 : Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Batna.....6

Tableau.8 : Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour la station de Tlemcen.....6

Tableau.9 : Valeurs de ruissèlement.....7

Tableau.10 : Valeurs d'infiltration efficace.....8

Tableau.11 : Indice d'aridité de De Martonne.....10

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau.12 : Composition chimique (en mg / L) des eaux mises en bouteille.....23

Tableau.13 : Balance ionique.....24

Tableau.14 : Indice de saturation de quelques minéraux et P_{CO_2}28

Tableau.15 : Matrice de corrélation.....30

Tableau.16: Valeurs propres, variances et variances cumulative en pourcentage.....31

Tableau.17 : ACP des analyses physico-chimiques des sources.....31

Tableau.18 : Classification de TH d'après Sawyer et Macarty.....32

Tableau.19 : Valeurs de TH.....33

Tableau.20 : Comparaison des résultats avec les normes de l'OMS (2011).....33

Tableau.21 : Classification de la conductivité selon Rechards 1954.....	34
Tableau.22 : Valeurs de Na%.....	35
Tableau.23 : Classification de Wilcox.....	35
Tableau.24 : Valeurs de SAR.....	37
Tableau.25 : Classification de l'eau selon la Salinité Potentielle du sol.....	39
Tableau.26 : Valeurs de Sp.....	39
Tableau.27 : Valeurs de RSC	41
Tableau.28 : Valeurs de KR.....	42
Tableau.29 : Valeurs de IP.....	43
Tableau.30 : Valeurs de Mg Ratio.....	44

CHAPITRE I : CADRE GENERAL

Fig.1 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Bejaia.....	9
Fig.2 : Diagramme pluvio-thermique de la station d'Elkala.....	9
Fig.3 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Batna.....	9
Fig.4 : Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen.....	10
Fig.5 : Principales formations géologiques dans la partie Nord de l'Algérie.....	11

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Fig.6 : Diagramme de Piper.....	25
Fig.7 : Diagramme de Gibbs pour le mécanisme contrôlant le chimisme des eaux.....	26
Fig.8 : Diagramme de wilcox.....	36
Fig.9 : Diagramme de Richards.....	38

ACP : Analyse en composante principale

BI : Balance ionique

EC : Conductivité Électrique

ETP : Evapotranspiration potentiel (mm)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

IP : Indice de perméabilité

IR: indice de ryznar

IS : Indice De Saturation

KR : Kelly Ratio

P : Précipitation

PH : potentiel Hydrogène

R : Ruissellement

RFU : Réserves facilement utilisable

RSC: carbonate de sodium résiduel

SAR : sodium adsorption ratio

T : Température

INTRODUCTION GENERALE

Depuis vingtaine d'années, le marché des eaux embouteillées connaît une forte croissance, ce développement s'est concrétisé par l'implantation de dizaine d'unités d'exploitation et de production à travers l'ensemble du territoire national ; il a été aussi accompagné par une augmentation exceptionnelle de la consommation dont la part par habitant a remarquablement évolué. Cette évolution spectaculaire a été attribuée à l'inquiétude des consommateurs sur l'augmentation de la pollution de l'eau et leur opposition au goût désagréable, à l'odeur et à la contamination bactérienne.

A travers ce développement de consommation, les pouvoirs publics ont promulgué une série de textes réglementaires ayant pour objectif l'encadrement, l'exploitation, la production et la commercialisation des eaux embouteillées. Ainsi le décret exécutif n 04-196 du 15 juillet 2004, définit l'eau de source comme étant une eau d'origine exclusivement souterraine apte à la consommation humaine, microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution

Le but envisagé par ce mémoire consiste à l'étude hydrochimique et qualité des eaux mise en bouteilles commercialisées sur le marché Algérien située dans l'atlas tellien et saharien de l'Algérie.

Nous débutons notre étude par une localisation géographique de nos stations d'étude ensuite, une étude hydroclimatologique est faite, elle permet d'estimer le maximum des paramètres possibles comme la température, les précipitations; elle permet aussi d'estimer la lame d'eau de ruissellement et d'infiltration efficace.

une aperçue géologique et hydrogéologique pour prendre une idée sur la géologie de la zone d'étude.

Une étude hydrochimique des eaux embouteillées et analysées aux laboratoires des analyses physico-chimiques est faite. Dans cette étude, les analyses de caractérisation et de classification sont basées sur des techniques empiriques, graphiques et statistiques multivariées.

Une conclusion générale fera l'objet d'une synthèse des résultats trouvés et quelques recommandations.

CHAPITRE I CADRE GENERAL

1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les eaux des sources mises en bouteille et commercialisées dans notre pays proviennent des zones appartenant aux différentes wilayas situées dans le tell (Tableau1).

Tableau 1 : Appartenance géographique

Label	Commune	Wilaya
Ain Djemil(Besbessa)	Dahoura	Guelma
Ain Souda	Ain souda	Guelma
Bouglez	Bouglez	El Taref
Youkous	Hammamet	Tebessa
Thevest	Kouif	Tebessa
El Ma	-	Bordj bouariridj
Arwa	-	Setif
Ifri	Bouzellguane	Bejaia
Meliza	Meliza	Bordj bouariridj
Righia	Righia	El Taref
Benian	-	Biskra
Guedila	-	Biskra
Star	-	Setif
Kantara	Kantara	Biskra
Sidi Okba	Sidi Okba	Biskra
Batna	-	Batna
Messeghrine	Messeghrine	Oran
Mansourah	Mansourah	Tlemcen
Sfid	Sfid	Tiaret
Mouzaia	Mouzaia	blida
Lejdar	Lejdar	Tiaret
Mont Djurjura	Mechdallah	Tizi-ouzou
Soummam	-	Bejaia
Qaniaa	-	Biskra
Saida	-	Saida
Dhaya	-	Sidi Belabesse
Ayris	-	Bejaia
Texanna	Texanna	Jijel

2. HYDROCLIMATOLOGIE

La connaissance de l'évolution pluviométrique et thermique, sont importantes pour comprendre et mieux interpréter les comportements hydrologiques et hydrogéologiques de la zone d'étude. A cet effet, une étude du climat des régions étudiées, est faite sur la base des données climatiques des stations météorologiques.

2.1. PRESENTATION DES STATIONS DE MESURE

Les caractéristiques des stations sont mentionnées dans le Tableau 2.

Tableau.2: Caractéristiques des stations (Bejaia, El kala, Batna, Tlemcen)

Station	Altitude	Longitude	Latitude	Période d'enregistrement
Bejaia	2 m	5°-4' E	36°-43'N	20ans
Elkala	822 m	6°-19'E	35°-45'N	20ans
Batna	1052 m	6°-11'E	35°-33' N	20ans
Tlemcen	247 m	1°-28' W	35°-1' N	20ans

2. 2. ETUDE DES PRECIPITATIONS

Pour l'étude de la pluviométrie, nous disposons d'une série d'observation mensuelle sur 20 années (Tableau 3). Nous visualisons de ce tableau que le mois le plus arrosé correspond au mois de décembre à Bejaia et Tlemcen avec des hauteurs de 132 et 75 mm respectivement tandis qu'à la station d'Elkala correspond au mois de janvier (139 mm) et le mois de mars pour la station de Batna avec 37 mm. Le mois le plus sec correspond au mois de juillet pour toutes les stations.

Tableau.3: Précipitations moyennes mensuelles des stations.

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Bejaia	50	76	114	132	118	90	81	112	43	22	4	8	850,00
Elkala	39	78	99	110	139	82	78	51	36	13	2	4	731,00
Batna	33	29	34	30	28	29	37	31	35	20	8	15	329,00
Tlemcen	18	35	52	75	53	56	63	57	50	17	4	4	484,00

2.3. ETUDE DES TEMPERATURES

La température est un facteur climatique qui régit les conditions du déficit d'écoulement. Les données de température en notre cas concernent la station de Bejaia, El Kala, Batna et Tlemcen. Nous constatons pour les 04 stations que le mois le plus froid de l'année correspond à janvier et le mois le plus chaud correspond au mois d'août pour les stations Bejaia, Elkala, Tlemcen et le mois de juillet pour la station de Batna selon (Tableau 4).

La différence ente le mois le plus chaud et le mois le plus froid est de 13.90 °C à Bejaia est de 14.10, à Batna et de 20.20 °C et Tlemcen est de 17.30 °C.

On dispose des données de températures moyennes mensuelles des stations.

Tableau.4 : Températures moyennes mensuelles des stations

Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Bejaia	23.6 0	19.5 0	15.5 0	12.5 0	11.5 0	11.7 0	13.4 0	15.3 0	18.2 0	21.6 0	24.3 0	25.4 0	17.7 0
Elkala	24.6 0	20.5 0	16.4 0	13	11.9 0	12.5 0	13.9 0	16	19	22.6 0	25.5 0	26	18.5 0
Batna	20.6 0	14.9 0	9.60	8.10	5	6.30	8.70	11.8 0	16.4 0	21.5 0	25.2 0	24.5 0	14.4 0
Tlemcen	21.9 0	17.4 0	12.5 0	9.50	8.60	9.30	11.1 0	13.6 0	16.6 0	20.9 0	24.7 0	25.9 0	16.0 0

2.4. BILAN HYDRIQUE

Il traduit la suite des différentes phases du phénomène météorologique aqueux (pluie, neige, grêle) atteignant le sol, avant de rebrousser chemin vers l'atmosphère. L'estimation du bilan hydrologique naturel peut se faire par l'application de la formule suivante :

$$P = ETR + R + I \text{ (mm)}$$

Où :

P : Précipitations annuelles (mm),

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R: Ruissellement (mm),

I: Infiltration (mm).

Les données de notre étude nous ont permis de dresser quatre bilans hydrologiques par la méthode de Thornthwaite (1948) qui fait ressortir les quatre paramètres que sont l'évapotranspiration réelle et potentielle, l'excédent et le déficit agricole. Pour le calcul de l'ETR, deux cas sont considérés :

-Si les précipitations du mois sont supérieures à l'ETP, l'ETR est égale à l'ETP il y a donc un excédent.

-Si les précipitations du mois sont inférieures à l'ETP, l'ETR sera égale à $P + RFU$. Cette réserve n'a pas été mesurée à l'échelle du bassin, mais nous l'avons calculée par le biais du bilan de Thornthwaite.

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour estimer l'évapotranspiration potentielle: Thornthwaite, Turc, Coutagne, Penman, ... Nous utilisons ici la méthode de Thornthwaite pour calculer l'ETP à un pas de temps mensuel :

$$ETP = 16 (10t/I)^a \cdot F (\lambda)$$

$$I = (t/5)^{1.5} \text{ et } I = \sum_i^{12} i \text{ et } a = (1,6.I/100) + 0,5$$

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle corrigée en (mm).

T : température moyenne du mensuelle en (°C).

i = indice thermique mensuel

I = indice thermique annuel

K : coefficient de correction en fonction mois m et de la latitude ϕ .

Tous ces paramètres sont directement liés à la RFU, en d'autres termes dépendent de sa valeur qui est très difficile à estimer. Dans notre cas la RFU est prise égale à 100 mm (rapport SOGREA.H., 1979).

Tableau.5: Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE »
pour la station de Bejaia

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	23.6	10.5	1.03	110.8	50	-60.8	-0.5	0.0	0.0	50.0	60.8	0.0
O	19.5	7.9	0.97	73.5	76	2.5	0.0	2.5	2.5	73.5	0.0	0.0
N	15.5	5.5	0.86	42.7	114	71.3	1.7	71.3	73.9	42.7	0.0	0.0
D	12.5	4.0	0.81	27.0	132	105.0	3.9	26.1	100.0	27.0	0.0	78.8
J	11.5	3.5	0.87	24.9	118	93.1	3.7	0.0	100.0	24.9	0.0	93.1
F	11.7	3.6	0.85	25.1	90	64.9	2.6	0.0	100.0	25.1	0.0	64.9
M	13.4	4.4	1.03	39.1	81	41.9	1.1	0.0	100.0	39.1	0.0	41.9
A	15.3	5.4	1.10	53.3	112	58.7	1.1	0.0	100.0	53.3	0.0	58.7
M	18.2	7.1	1.21	80.7	43	-37.7	-0.5	-37.7	62.3	80.7	0.0	0.0
J	21.6	9.2	1.22	111.5	22	-89.5	-0.8	-62.3	0.0	84.3	27.2	0.0
J	24.3	11.0	1.24	140.8	4	-136.8	-1.0	0.0	0.0	4.0	136.8	0.0
A	25.4	11.7	1.16	142.9	8	-134.9	-0.9	0.0	0.0	8.0	134.9	0.0
Annuel	17.7	83.8		872.4	850.0	-22.4				512.6	359.8	337.4

Tableau.6: Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour
la station d'Elkala

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	24.6	11.2	1.03	116.3	39	-77.3	-0.7	0.0	0.0	39.0	77.3	0.0
O	20.5	8.5	0.97	77.0	78	1.0	0.0	1.0	1.0	77.0	0.0	0.0
N	16.4	6.0	0.86	44.4	99	54.6	1.2	54.6	55.6	44.4	0.0	0.0
D	13	4.2	0.81	26.7	110	83.3	3.1	44.4	100.0	26.7	0.0	38.9
J	11.9	3.7	0.87	24.2	139	114.8	4.8	0.0	100.0	24.2	0.0	114.8
F	12.5	4.0	0.85	26.0	82	56.0	2.2	0.0	100.0	26.0	0.0	56.0
M	13.9	4.7	1.03	38.6	78	39.4	1.0	0.0	100.0	38.6	0.0	39.4
A	16	5.8	1.10	54.1	51	-3.1	-0.1	-3.1	96.9	54.1	0.0	0.0
M	19	7.5	1.21	82.9	36	-46.9	-0.6	-46.9	49.9	82.9	0.0	0.0
J	22.6	9.8	1.22	116.9	13	-103.9	-0.9	-49.9	0.0	62.9	54.0	0.0
J	25.5	11.8	1.24	150.0	2	-148.0	-1.0	0.0	0.0	2.0	148.0	0.0
A	26	12.1	1.16	145.7	4	-141.7	-1.0	0.0	0.0	4.0	141.7	0.0
Annuel	18.5	89.4		902.8	731.0	-171.8				481.8	421.0	249.2

Tableau.7: Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour
la station de Batna

	TP	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	20.6	8.5	1.03	97.5	33	-64.5	-0.7	0.0	0.0	33.0	64.5	0.0
O	14.9	5.2	0.97	55.8	29	-26.8	-0.5	0.0	0.0	29.0	26.8	0.0
N	9.6	2.7	0.86	25.2	34	8.8	0.3	8.8	8.8	25.2	0.0	0.0
D	8.1	2.1	0.81	18.3	30	11.7	0.6	11.7	20.5	18.3	0.0	0.0
J	5	1.0	0.87	9.4	28	18.6	2.0	18.6	39.1	9.4	0.0	0.0
F	6.3	1.4	0.85	13.0	29	16.0	1.2	16.0	55.1	13.0	0.0	0.0
M	8.7	2.3	1.03	26.0	37	11.0	0.4	11.0	66.1	26.0	0.0	0.0
A	11.8	3.7	1.10	44.3	31	-13.3	-0.3	-13.3	52.9	44.3	0.0	0.0
M	16.4	6.0	1.21	80.7	35	-45.7	-0.6	-45.7	7.2	80.7	0.0	0.0
J	21.5	9.1	1.22	123.3	20	-103.3	-0.8	-7.2	0.0	27.2	96.2	0.0
J	25.2	11.6	1.24	160.0	8	-152.0	-0.9	0.0	0.0	8.0	152.0	0.0
A	24.5	11.1	1.16	143.3	15	-128.3	-0.9	0.0	0.0	15.0	128.3	0.0
Annuel	14.4	64.7		796.8	329.0	-467.8				329.0	467.8	0.0

Tableau.8: Bilan hydrique selon la méthode de « THORNTHWAITE » pour
la station de Tlemcen

	TP	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	21.9	9.4	1.03	102.7	18	-84.7	-0.8	0.0	0.0	18.0	84.7	0.0
O	17.4	6.6	0.97	65.8	35	-30.8	-0.5	0.0	0.0	35.0	30.8	0.0
N	12.5	4.0	0.86	33.5	52	18.5	0.6	18.5	18.5	33.5	0.0	0.0
D	9.5	2.6	0.81	19.9	75	55.1	2.8	55.1	73.6	19.9	0.0	0.0
J	8.6	2.3	0.87	18.1	53	34.9	1.9	26.4	100.0	18.1	0.0	8.5
F	9.3	2.6	0.85	20.2	56	35.8	1.8	0.0	100.0	20.2	0.0	35.8
M	11.1	3.3	1.03	32.9	63	30.1	0.9	0.0	100.0	32.9	0.0	30.1
A	13.6	4.5	1.10	49.4	57	7.6	0.2	0.0	100.0	49.4	0.0	7.6
M	16.6	6.2	1.21	75.8	50	-25.8	-0.3	-25.8	74.2	75.8	0.0	0.0
J	20.9	8.7	1.22	112.5	17	-95.5	-0.8	-74.2	0.0	91.2	21.3	0.0
J	24.7	11.2	1.24	151.3	4	-147.3	-1.0	0.0	0.0	4.0	147.3	0.0
A	25.9	12.1	1.16	153.2	4	-149.2	-1.0	0.0	0.0	4.0	149.2	0.0
Annuel	16.0	73.5		835.3	484.0	-351.3				402.0	433.4	82.0

2.5 CALCUL DE RUISSELLEMENT (R):

Le ruissellement correspondant à la part des précipitations qui s'écoule directement sur le sol lors des précipitations. Il peut donc être connu d'une façon générale par analyse de l'hydrogramme d'un cours d'eau où à l'aide des méthodes empiriques qui donnent une valeur approchée. Ces auteurs ont établi une formule qui permet d'étudier le ruissellement moyen annuel. Cette formule tant quelle ne tient pas compte de la nature lithologique des terrains et l'influence de la perméabilité sur le ruissellement, elle reste toujours discutable. Elle s'écrit de la manière suivante :

$$\text{➤ Si } P < 600 \text{ mm/an,} \quad R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

R: Ruissellement (mm)

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETP: Evapotranspiration potentielle (mm/an). (Selon Throntwaite).

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

R: Ruissellement (m).

P: Précipitations moyennes annuelles (m)

Tableau.9 : Valeurs de ruissellement

Station	P(m)	ETR(m)	R(m)
Bejaia	0.8500	0.8724	0.2047
Elkala	0.7310	0.9028	0.1302
Batna	0.3290	0.7968	0.01869
Telmcen	0.4840	0.8353	0.05416

A partir des valeurs de ruissellements calculées (Tableau 9) nous constatons :

- Le ruissellement obtenu est de l'ordre de 204.7 mm soit 15.61 % des précipitations moyennes pour la station de Bejaia ;
- Le ruissellement obtenue pour la station d'Elkala est de 130.2 mm qui correspond a 16% des précipitations moyennes ;
- La lame d'eau ruisselée est égal à 18.69 mm représente 10.84 % des précipitations moyennes ;
- Pour la station de Tlemcen 5.75 % des précipitations moyennes sont ruisselées ;

2.6 CALCUL DE L'INFILTRATION EFFICACE

On est appelé d'avoir recours à l'équation générale du bilan qui permettrait d'avoir d'admissibles approches du paramètre, puisque tous les composants de l'équation sont connu elle est calculée comme suit :

$$P = ETR + R + I \text{ D'où } I = P - ETR - R$$

Avec :

I : Infiltration efficace moyenne annuelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Évapotranspiration réelle annuelle (mm).

R : Ruissellement annuel (mm).

Tableau.10. valeurs d'infiltration efficace

Station	P (mm/an)	ETR (mm/an)	R (mm/an)	I _e (mm/an)
Bejaia	850.00	512.60	204.7	132.7
Elkala	731.00	481.80	130.2	119
Batna	390.00	329.00	18.69	42.31
Telmcen	484.00	402.00	54.16	27.84

Selon les valeurs calculés d'infiltrions (Tableau 10) pour la station de Bejaia 15.61% des précipitations sont infiltrées, 16.27 % une lame d'eau infiltrée pour la station d'elkala, 10.84 et 5.75% respectivement pour les stations de Batna et Tlemcen.

2.7 DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE

Les paramètres température-précipitation sont des facteurs très intéressants, dans la mesure où leur combinaison permet de déterminer les mois véritablement secs. Ceci est basé sur le comportement de la végétation aux mois ayant un total de précipitation égal ou inférieur au double de la température ($P = 2T$).

La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs. Aux quatre stations, la saison sèche débute au mois de mai et se termine en septembre pour la station de Bejaia et Elkala tandis que pour la station de Batna et Tlemcen se termine au mois d'octobre. Quant à la saison humide, elle commence à partir d'octobre et se termine en mai (Figs 1-4).

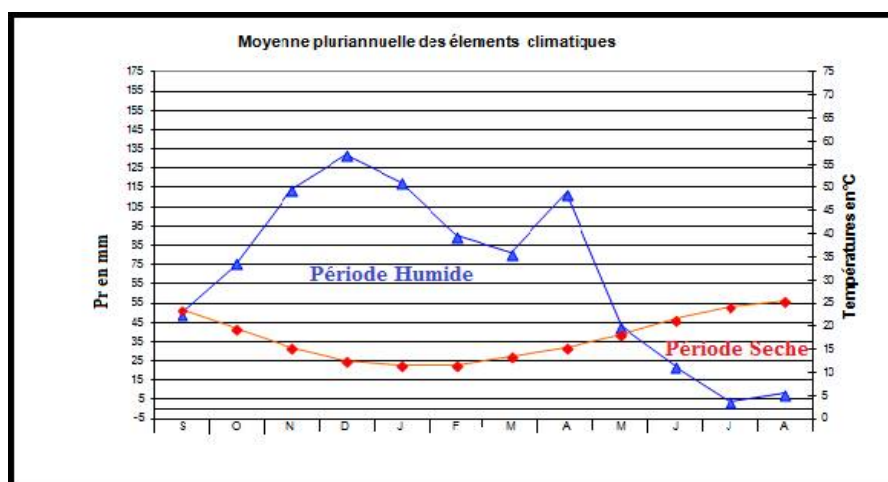


Fig.1 :Diagramme pluvio-thermique de la station de Bejaia

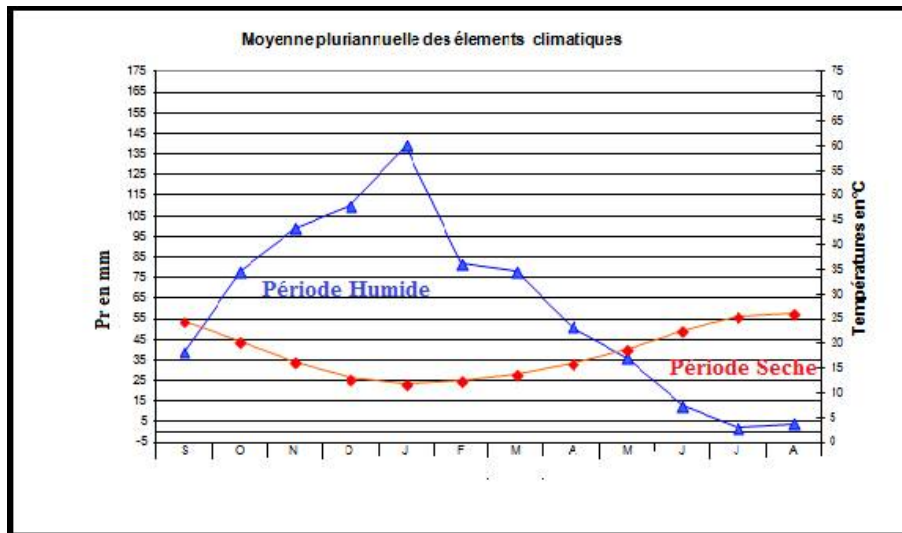


Fig.2 :Diagramme pluvio-thermique de la station d'Elkala

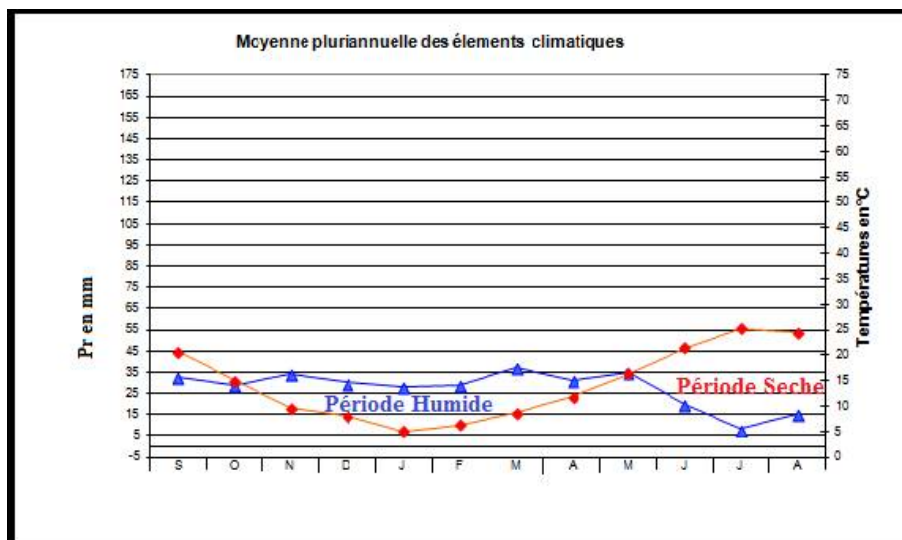


Fig.3 :Diagramme pluvio-thermique de la station de Batna

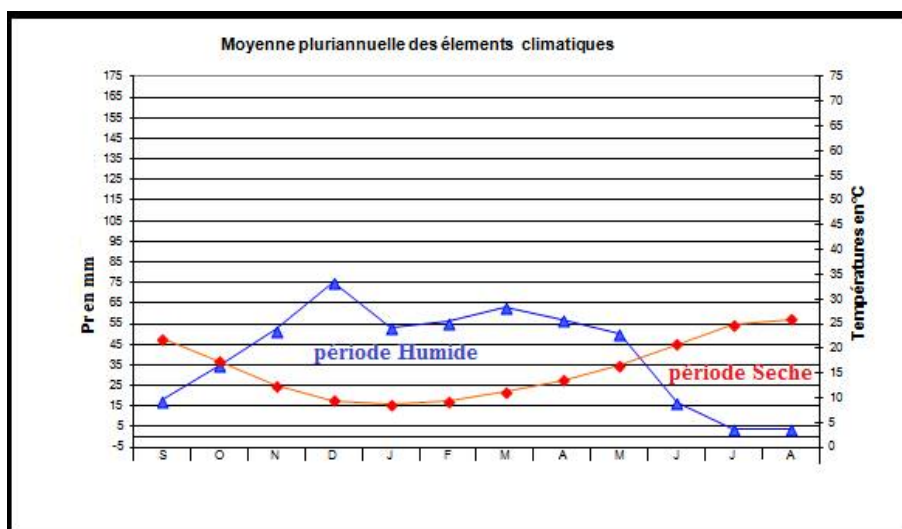


Fig.4 :Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen

2.8 CALCUL DE L'INDICE D'ARIDITE ANNUEL DE « DE MARTONNE »

En 1925 DE Martone a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité. Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat qui caractérise la zone d'étude. Ce paramètre se calcule selon la formule suivante:

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

Avec : I : L'indice d'aridité annuel

P : précipitations moyennes annuelles (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

Tableau.11 :Indice d'aridité de De Martonne.

Station	P (mm)	T°c	Indice d'aridité	Observation
Bejaia	850.00	17.70	30.68	climat humide
Elkala	731.00	18.50	25.64	climat tempéré
Batna	329.00	14.40	15.98	climat semi aride
Tlemcen	484.00	16.00	18.61	climat semi aride

3. APERCU GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La géologie de l'Algérie (Fig.5) est divisée en deux unités structurales principales: le domaine Tellian plissé au nord et la plate-forme saharienne au sud, séparés par la flexure sud atlasique (Fabre 1976). Le nord de l'Algérie appartient au domaine structural alpin (instable) avec une activité sismique significative. Il est caractérisé par la géologie complexe des terrains allochtones de renversement; Les formations géologiques sont principalement des carbonates, argiles et des marnes. La dernière phase du plissement alpin de l'âge Astien a joué un rôle important dans le rajeunissement du relief et le développement des fractures, ainsi que dans l'apparition des dômes salifères. En réalité, la phase alpine n'a affecté que le domaine de Tellian, où des activités magmatiques sont apparues après l'installation des nappes de chevauchement (Miocène supérieur). La plate-forme saharienne est restée une zone stable caractérisée principalement par des bassins sédimentaires qui constituent les réservoirs d'hydrocarbures et l'aquifère géothermique albien. Au sud, dans la région du Hoggar, des activités magmatiques ont eu lieu du Miocène au Quaternaire. La zone d'étude appartient au domaine Tellian du Nord. A l'extrême nord-est, on assiste au dépôt des formations dunaires cordons dunaires de la région de bouglez et righia.

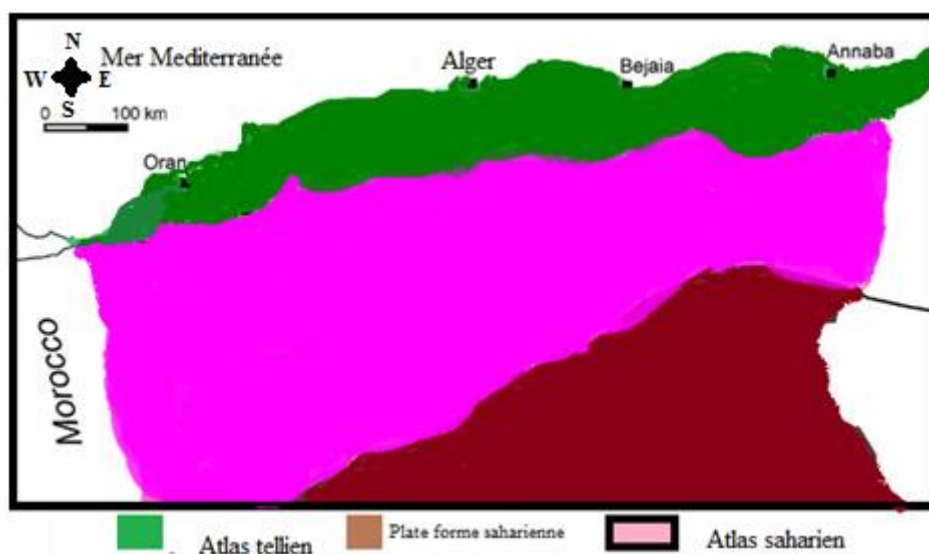


Fig.5 : Principales formations géologiques dans la partie Nord de l'Algérie

CONCLUSION

Les eaux des sources mises en bouteille et commercialisées dans l'Algérie situées dans l'atlas tellien et saharien de l'Algérie.

Selon les données calculée en climatologie, le climat de la station de Bejaia est de type humide, avec une température moyenne annuelle proche de 17.7°C et une moyenne des précipitations annuelle d'environ 850.5 0 mm

Pour la station d'El kala qui appartenant au domaine tempéré, avec une température moyenne annuelle proche de 18.5°C et une moyenne des précipitations annuelle d'environ 731.0mm.

Les stations de Batna et Tlemcen ont un climat semi aride avec des températures moyennes annuelles proche de 14.4°C et 16.0 °C respectivement et des moyennes des précipitations annuelles respectivement d'environ 329.0 et 484.0 mm.

Le bilan hydrique montre que, L'évapotranspiration potentielle moyenne interannuelle pour :

-La station de Bejaia est 872.4 mm, El kala est de 902.8 mm avec des déficits agricole enregistré à partir de mois de Mai jusqu'à mois septembre.

- pour les stations de Batna et Tlemcen a été évaluée respectivement environ 796.08 mm, et 835.3 mm. Ces valeurs calculées représentent environ deux fois les valeurs des moyennes des précipitations annuelles respectivement 329.0 mm et 484.0 mm avec des déficits agricoles enregistrés à partir de mois de Mai jusqu'à mois d'octobre.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

INTRODUCTION

Dans le but de mener une analyse physico-chimique d'eaux de sources embouteillées de l'Algérie, nous avons procédé à un prélèvement des échantillons de ces eaux. Suivant les techniques d'échantillonnage.

Notre étude est fondée sur les analyses de vingt-huit (28) sources d'eaux mises en bouteilles et commercialisées sur le marché Algérien.

1.ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage d'une eau comprend la préparation du prélèvement, le prélèvement proprement dit, le conditionnement de l'échantillon, ainsi que son stockage jusqu'au moment où l'eau est analysée. Chacune de ces étapes est importante pour assurer la fiabilité des résultats d'analyses.

2. MATERIELS

- Un GPS (Global Positioning System) de marque Garmin etrex, pour la prise des coordonnées géographiques des points d'eau ;
- Un appareil photo pour la prise de vues;
- Des flacons en polyéthylène non pour maintenir les échantillons d'eau à analyser ;
- Une glacière pour entreposer les échantillons d'eau afin de les transporter aux laboratoires
- Des bandelettes colorimétriques pour faire un diagnostic rapide du pH sur le terrain;
- Une multisonde HQ40d de marque HACH, pour la mesure de la conductivité électrique et de la température de l'eau sur le terrain ;
- Des logiciels (Statistica, Excel, ArcGis, Diagramme de Piper), pour le traitement et l'analyse des données

3.METHODES

Les paramètres physico-chimiques qui ont été concernés sont : pH, température, conductivité électrique, couleur, odeur, calcium, magnésium, manganèse, chlorure, sodium, potassium, aluminium, nitrite, nitrate, sulfates, dureté et alcalinité.

4.PRELEVEMENT ET CONSERVATION DES ECHANTILLONS

Étant une opération délicate, le prélèvement des échantillons d'eau a été réalisé avec le plus grand soin. Des flacons en polyéthylène non stériles ont été utilisés pour les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques.

Les flacons ont été préalablement rincés trois (3) fois avec l'eau à prélever avant leur remplissage. Chaque flacon a été rempli à ras bord sans matériel intermédiaire et bien bouché en évitant le barbotage et l'emprisonnement d'air à la fermeture.

5.TRANSPORT DES ECHANTILLONS

Les flacons ont été remplis, étiquetés et placés dans la glacière. L'ensemble des échantillons d'eau ont été transportés aux laboratoires des analyses d'eau dès que possible (délai inférieur à 12 heures). Les flacons ont été stockés à l'abri de la lumière et au frais (La température de l'échantillon ne doit jamais dépasser celle de l'eau souterraine prélevée).

6.CAMPAGNE DE COLLECTE DE DONNEES

Cette campagne a été réalisée en deux (2) étapes : la première a consisté en la collecte des données de terrain et la deuxième en la réalisation des analyses de laboratoire.

6.1. DONNEES DE TERRAIN

Les caractéristiques physiques (température, pH, conductivité électrique et TDS) pour chaque point d'eau ont été mesurées in situ à l'aide d'une multisonde. Ces paramètres ont été utilisés comme critères d'échantillonnage.

6.1.1.POTENTIEL HYDROGENE (PH)

Le pH caractérise l'acidité ou la basicité d'une solution aqueuse étant exprimée en moles par litre. L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin).

Il s'agit d'un paramètre capital pour le calcul des équilibres thermodynamiques, mais délicat à mesurer et sensible à de nombreux phénomènes comme les variations de température, le dégazage, l'oxydation, la précipitation de composés insolubles, etc. Si le pH n'est pas mesuré au moment du prélèvement et sur le site même de l'émergence, la valeur obtenue ultérieurement en laboratoire risque de perdre en signification.

6.1.2.CONDUCTIVITE(CE):

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution à conduire le courant électrique.

Elle est directement liée à la teneur en minéraux dissous ionisés. Elle augmente avec la température. Elle est l'inverse de la résistivité (σ).

La conductivité électrique standard s'exprime généralement en millisiemens par mètre (ms/m) à 20°C.

➤ **Mesure de pH et de la conductivité**

- **Principe**

La mesure de pH et de la conductivité d'une solution s'appuie sur la mesure de potentiel d'une électrode à hydrogène plongée dans la solution.

- **Appareil** : Multiparamètre (HACH USA)

- **Mode Opérateur**

Le multi paramètre (HACH USA) est étalonnée avant d'effectuer des mesures, et puis l'électrode est rincée par l'eau distillée puis plongée dans l'échantillon ; en laissant l'appareil se stabiliser, on note la première valeur de pH à l'aide d'un bouton
2 lits la 2ème valeurs de la conductivité. Affichée sur le même écran.

6.1.3.TEMPERATURE(TC):

La température de l'eau est le paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment).

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et l'évaporation de l'eau.

➤ Mesure de la température

- **Principe**

La température est mesurée par un thermomètre sur site et les valeurs obtenues sont estimées en °C.

- **Mode Opérateur**

Le thermomètre est rincé puis plongé dans l'échantillon, et on laisse l'appareil se stabiliser, puis la valeur de la température est notée.

6.2. DONNEES DE LABORATOIRE

Ces données ont concerné les résultats des analyses physico-chimiques qui ont été réalisées au laboratoire.

6.2.1.DETERMINATION DU CALCIUM (Ca^{2+})

Le calcium s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la méotorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entrainement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. On a constaté que lixiviation du calcium à partir du sol augmentait nettement avec l'acidité de l'eau.

- **Principe**

Le calcium est dosé avec une solution aqueuse d'E.D.T. A à pH entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence du Murexide, l'E.D.T.A réagit tout d'abord avec les ions calcium libres puis avec les ions calcium combinés avec l'indicateur coloré qui vire alors de la couleur rouge au violet.

- **Mode opératoire**

-Prendre 50 ml d'eau à analyser de chaque échantillon

-Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.

-Ajouter du Murexide.

-Titrer avec l'E.D.T. A jusqu'au virage (violet).

- **Expression des résultats**

La détermination de la concentration du Calcium en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ en mg/l} = V1 \times F \times 8$$

Où :

V1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur de dilution = 5.

6.2.2.DETERMINATION DU MAGNESIUM (Mg^{2+})

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. La Plus part de ses sels sont très solubles dans l'eau. Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté. Les principales sources de magnésium contenues dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires.

- **Principe**

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracique. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

- **b) Réactifs**

-Solution d'E.D.T.A (N/50)

-Noir Eriochrome T

- NH_4OH à pH=10

- **Mode opératoire**

-Prendre 50 ml d'eau à analyser de chaque échantillon

-Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.

-Ajouter du Murexide.

-Titrer avec l'E.D.T. A jusqu'au virage (violet).

- **Expression des résultats**

La détermination du Magnésium en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Mg}^{2+}] \text{ en mg/l} = (V2-V1) \times F \times 4.86$$

D'où :

V2 : Volume total d'E.D.T. A

V1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

F : Facteur de dilution = 5.

6.2.3.DOSAGE DE SODIUM ET DE POTASSIUM

- **Principe**

La photométrie de flamme permet le dosage des cations alcalins Li^+ , Na^+ et K^+ . Le photomètre de flamme est constitué de trois éléments: le brûleur, le monochromateur et d'une cellule photoélectrique; d'un amplificateur et d'un afficheur.

- **Appareil** : Photomètre à flamme

- **Mode opératoire**

-Préparation des solutions étalons

✓ Solution mère

-Préparer 100ml d'une solution mère renfermant 0.500 g/l de sodium et 1.500g/l de potassium en prélevant les masses ci-dessous:

-NaCl pur pour les analyses : 0.127g

-KCl pur les analyses: 0.286 g

-Eau distillée

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement sur l'écran en mg/l.

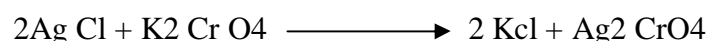
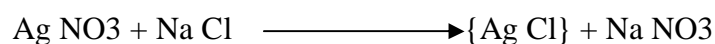
6.2.4.DETERMINATION DES CHLORURES (Cl)

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de Sodium (NaCl) et de potassium(KCl).ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement. Dans les eaux souterraines, leur concentration dépend des roches traversées.

- **Principe**

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.



- **Mode opératoire**

- Prendre 5 ml d'eau à analyser,

- Ajouter 2 gouttes de K_2CrO_4 (coloration jaunâtre).

- Titrer avec AgNO₃ (Nitrate d'argent) jusqu'à coloration brun rougeâtre qui doit persister 1 à 3 minutes.

- **Expression des résultats**

La détermination du chlorure en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Cl}^-] \text{ en mg/l} = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 \times F.$$

Avec :

V_{AgNO₃} : Volume d'AgNO₃ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

F : facteur de correction du titre d'Ag NO₃ = 0.71

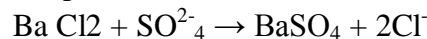
6.2.5.DETERMINATION DES SULFATES (SO₄²⁻)

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfates est l'oxydation des minerais de sulfates, la présence des schistes ou des déchets industriels.

Le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau de pluie.

- **Principe**

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de Ba Cl₂.



- **Appareil** : le spectrophotomètre UV Visible

- **Réactifs**

-Solution mère de sulfate à 1g/l à partir de Na₂SO₄

-Peser 1.47g Na₂SO₄

-1000ml d'eau distillée

-Solution stabilisante

-600ml d'acide chlorhydrique

-200ml d'éthanol

-150ml de Chlorure de sodium

-1000ml d'eau distillée

-Solution de Chlorure baryum

-150g de chlorure de baryum

-5ml d'acide chlorhydrique

-1000ml d'eau distillée

- **Gamme d'étalonnage**

-Prendre 8 béchers de 25 ml

-Laver bien avec du savon et une lavette

- Rincer abondamment avec l'eau de robinet;

-Rincer avec une solution d'acide chlorhydrique ;

-Rincer avec l'eau de robinet puis avec de l'eau distillée.

- **Mode opératoire**

-Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.

-Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.

-Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.

-Agiter énergiquement pendant 1 mn.

-Passer au spectrophotomètre $\lambda = 420$ nm.

- **Expression des résultats**

$[\text{SO}_4^{2-}]$ mg/l = la valeur lue sur le spectrophotomètre x facteur de la dilution.

6.2.6.DETERMINATION DE L'ALCALINITE

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des bicarbonates, carbonates et hydroxydes. Titre alcalimétrique simple et complet (TA et TAC).

Le titre TAC exprimera l'alcalinité totale de l'eau. Il a une importance fondamentale dans la connaissance de la capacité d'entartrage de l'eau et dans le traitement des eaux des chaudières vapeur.

- **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).

- **Réactifs**

-Acides chlorhydrique (HCl) concentré à 37%

-Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01N

- **Matériels**

-pH-mètre ;

-Electrode ;

-Burette manuelle ou burette automatique ;

-Agitateur magnétique, barreaux magnétiques

-Béchers de 50 ml.

- **Mode opératoire**

Comme pour toute méthode instrumentale, la méthode d'essai est très étroitement liée aux Matériels dont on dispose, se reporter à la notice de l'appareil. Amener 100ml d'eau à analyser au pH=4.3; soit V2 le volume totale d'acide employé.

Si le pH est supérieur à 8.3 verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur. Noter le volume VI1 au dosimat. Suivre les instructions de l'utilisation du pH-mètre.

- **Mesures et calcul du résultat**

Le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC), exprimés en mg/l sont donnés respectivement par les expressions:

- TA= $(V_1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$.

- TAC= $(V_2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$.

- la concentration des bicarbonates sera :

$(\text{HCO}_3) \text{ mg/l} = V_2 \times N \times 1000$

V_2 = volume de la solution d'acide chlorhydrique à 0.01 N versé de la burette.

N est la normalité de la solution d'acide chlorhydrique = 0.01 N.

6.2.7. DOSAGE DES NITRITES (NO_2^-)

Les Nitrates NO_3^- sont généralement absents (ou à peine mesurables). leur présence est indicateur d'une pollution due à des rejets d'eau non épurée ou d'un ralentissement du processus de nitrification. ils sont toxiques à faibles doses (dose létale pour les poissons 3-5 mg/l).

- **Principe**

Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphthyléthylènediamine dichlorure donne naissance à une coloration rose. $\lambda_{\text{Max}} = 543 \text{ nm}$.

- **Réactifs**

- Solution de nettoyage

- Solution d'acide chlorhydrique (à $d = 1.12 \text{ g/cm}^3 = 25\%$)

- Solution du réactif

20g de sulfamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$) à dissoudre dans un mélange de 50ml d'acide phosphorique $d = 1.71 \text{ g/ml} = 85\%$ de masse) et 250ml d'eau distillée.

Dans cette solution, dissoudre 1g de N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorhydrate ($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{N}_2$).

Compléter avec l'eau distillée dans une fiole jaugée à un volume de 500ml, cette solution est stable pendant un mois si elle est gardée à l'obscurité (bouteille en verre marron bien fermée) et à 4°C au frigo.

➤ **Solution d'acide phosphorique**

Dans une fiole jaugée de 250ml, dissoudre 25ml d'acide phosphorique ($d = 1.71 \text{ g/ml} = 85\%$ en masse) dans 150ml d'eau distillée. Après refroidissement à la température ambiante, on complète à l'eau distillée à 250ml.

- solution standard de 100mg/l

Dissoudre 0.4926g± 0.0002 g de nitrite de sodium (NaNO_2), sécher pendant 2 heures à 105°C dans 750ml d'eau distillée compléter à 1 litre.

- **Mode opératoire**

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte
- Attendre 10mn.
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^-
- Effectuer la lecture à $\lambda=543$ nm.

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement sur l'appareil en mg/l.

6.2.8.DOSAGE DES NITRATES (NO_3^-)

Composé minéral d'azote et d'oxygène, le nitrate représente le dernier stade de nitrification

- **Principe**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage

- Solution d'hydroxyde de sodium 30% ; 30g de NaOH dans 100ml d'eau distillée.
- H_2SO_4 concentré ;
- Tartrate double de sodium et de potassium
- 400g d'Hydroxyde de sodium
- 60g de Tartrate double de sodium et de potassium
- 1000ml d'eau distillée

Laisser refroidir avant de compléter à 1000ml.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000mg/l ;
- 0.722g de Nitrate de potassium anhydre
- 1000ml d'eau distillée
- 1 ml de Chloroforme
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5mg/l

- **Mode opératoire**

- Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser. (Pour chaque échantillon)
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.
- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.

(Ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

-Reprendre le résidu avec 2 ml de HSO₄ laissé reposer 10 mn.

-Ajouter 15 ml d'eau distillée.

-Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passé au spectrophotomètre au 420 nm.

- **Expression des résultats**

Le résultat est donné directement sur l'appareil en mg/l à une longueur d'onde de 420 nm.

Multiplier par 4,43 pour obtenir le résultat en NO₃⁻

CONCLUSION

Les analyses faites au laboratoire ont été effectuées par les méthodes volumétriques et spectre-photométriques pour les paramètres physico-chimiques, le respect des règles et des principes d'échantillonnage nous a permis d'obtenir des résultats satisfaisants et représentatifs.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

INTRODUCTION

La consommation d'eau minérale et eau de source mise en bouteille a augmentée de façon significative en Algérie, devenant un facteur important à la fois sur le plan économique et sanitaire. La production d'eau souterraine en bouteille en Algérie a augmentée depuis les années 2000 avec l'apparition de plusieurs labels couvrant tout le territoire national. Cette étude a été menée dans le cadre du projet de fin d'étude de Master, visant à la caractérisation hydrogéochimique de ces eaux souterraines mise en bouteilles tant sur le plan qualitatif pour la consommation humaine que pour l'irrigation. Les résultats d'analyse sont consignés sur le tableau 1. Les valeurs de la balance ionique sont inférieures ou égales à 10% ce qui traduit la rentabilité de la campagne d'analyse (Nouar, 2016).

Tableau.12 : Composition chimique (en mg/l) des eaux mises en bouteilles

Nom	TDS	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
Ain Djemil	259	7.29	323	54	2.64	5	2	164.70	10	4	9
Ain Souda	403	7.85	533	78	16	20	3	224	23	26	9
Boglez	140	6.67	228	4.60	3.75	29	1	48.80	30	10	0.90
Youkous	395	7.40	521	77.40	14.50	13.40	4.65	218	25.70	35.30	3
Thevest	756	7.77	979	89.95	34.04	47.05	0.99	321.80	65	189	2.35
El Ma	668	7.00	853	91	37	31	2	350	55	87	15
Arwa	707	7.33	985	120	23	56	1	256	100	104	46.50
Ifri	550	7.20	729	81	24	15.80	2.10	265	72	68	15
Meliza	689	7.33	868	111	34	29	1	311	10	190	3.20
Righia	71	6.70	127	8	3	12.80	0.35	24.40	19.30	1	2.50
Benian	666	7.50	904	91	56	34	3	280	41	158	2.60
Guedila	581	7.34	750	72	39.60	29	2	317	38	81	2.59
Star	955	7.20	1291	125	35.50	96	2.20	390	150	130	26
Kantara	641	7.32	877	90	37	36	3	247	59	162	6.90
Sidi Okba	1012	7.06	1389	143	65.40	63.40	3.76	213	75	445	2.07
Batna	560	7.20	673	58	43	13	3.10	373	25	45	0
Messeghrine	520	7.20	745	52	42	45	3	250	78	50	0
Mansourah	628	7.00	792	85	37	30	1	362	48	53	12
Sfid	594	7.12	800	74	35	28	2	268	68	91	28
Mouzaia	1285	7.10	1627	136	75	145	3	671	150	85	20
Lejdar	586	7.53	736	64	27	30	4	308	41	65	47
Mont Djurjura	692	7.78	927	101	29	49	0.20	332	99	52	30
Soummam	805	7.21	1087	114	32	71	2	293	78	196	19.20
Qaniaa	619	7.24	876	111	26.97	48.22	2.48	259	92.12	66.66	12.40
Saida	715	7.50	943	68	50	58	2	376	81	65	15
Dhaya	546	7.20	739	65	40	23.50	2	263	60	62	30
Ayris	447	7.87	578	70	7	28.15	1.90	230	37	70	2.70
Texanna	390	7.00	760	30	72	11	1	60	184	32	0

1. BALANCE IONIQUE

Les compositions chimiques des Vingt-huit eaux de source mises en bouteilles (Ain Djemil, Ain Souda, Bouglez, Youkous ,Thevest,El Ma, Arwa Ifri Meliza Righia, Benian, Guedila , Star ,Kantara ,Sidi Okba, Batna, Messeghrine , Mansourah , Sfid,Mouzaia,Ledjar, Mont Djurjura, Soummam ,Qaniaa , Saida, Dhaya, Ayris, Texanna) font objet de cette étude, ont fait l'objet d'une première vérification par l'analyse de la balance ionique selon la formule suivante :

$$BI [\%] = \frac{|\Sigma r^+ - \Sigma r^-|}{\Sigma r} \times 100$$

Σr^+ : La somme des cations (unités en meq/l).

Σr^- : La somme des anions (unités en meq/l).

Σr : La somme des cations et des anions (unités en meq/l).

Il apparait que pour les eaux de sources étudiées, les valeurs de la balance ionique sont inférieures ou égales à 10% ce qui traduit la rentabilité de la campagne d'analyse (Tableau 2).

Tableau.13: Balance ionique

ID	BI(%)
Ain Djemil	0
Ain Souda	10
Bouglez	1
Youkous	6
Thevest	8
El Ma	2
Arwa	2
Ifri	10
Meliza	1
Righia	9
Benian	8
Guedila	1
Star	1
Kantara	0
Sidi Okba	1
Batna	5
Messeghrine	5
Mansourah	0
Sfid	5
Mouzaia	6
Lejdar	10
Mont Djurjura	1
Soummam	0
Qaniaa	8
Saida	0
Dhaya	1
Ayris	8
Texanna	7

2.FACIES HYDROCHIMIQUE

Pour mieux apprécier les principaux grands traits hydrochimiques et les rapports mutuels, les résultats analytiques ont été représentés sur le Diagramme de Piper en relation avec les anions et cations (Piper, 1946).

Il en ressort de ce diagramme (Fig.6)plusieurs faciès hydrochimiques observés sont chloruro-sulfaté et calco-magnésien, bicarbonaté et calco-magnésien. Cependant, il existe un faciès mixte

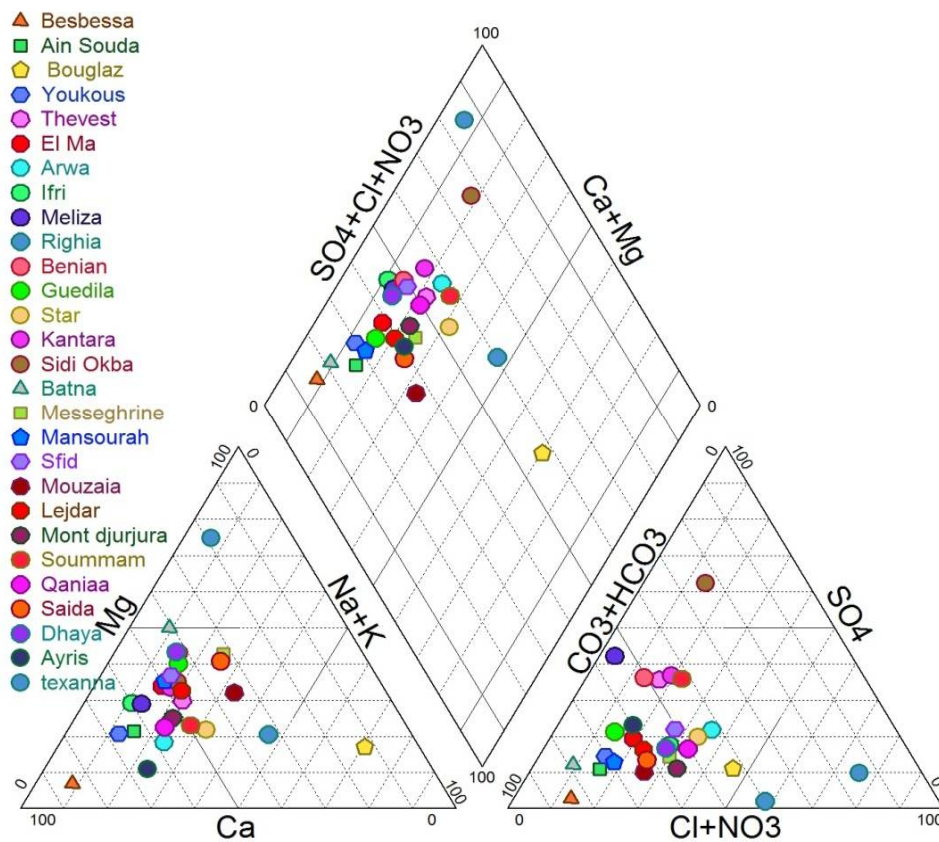


Fig.6 :Diagramme de Piper

3. MECANISME CONTROLLANT LE CHIMISME DE L'EAU

Le chimisme des eaux souterraines est un aspect majeur de la détermination de son utilisation à des fins domestiques et d'irrigation. Le chimisme des eaux souterraines est grandement contrôlé par l'interaction de l'eau souterraine avec les minéraux de l'aquifère. Les contributions de l'interaction roche/sol-eau et des influences anthropiques sur les eaux souterraines peuvent être étudiées par divers processus hydrogéochimiques (Singh et al. 2011). Pour obtenir un aperçu des processus hydrogéochimiques, Gibbs (1970) a proposé un diagramme de dispersion illustrant trois mécanismes naturels importants contrôlant le chimisme des ions majeurs de l'eau souterraine; l'interaction eau-roche, l'évaporation et la précipitation atmosphérique.

Les concentrations de TDS ont été représentées en fonction des rapports de $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$ pour les cations et $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ pour les anions (fig.7). Il a été constaté que la majorité des échantillons prélevés au niveau des sources, sont dominés par la dissolution des roches. Cela a reflété l'importance des interactions eau-roche en tant que principale source d'ions dissous contrôlant la composition chimique de ces eaux (Li et al., 2015, Raju et al., 2015). Après la dominance de la dissolution des roches, un échantillon d'eau souterraine est tombé dans la zone d'évaporation dominante, ce qui indique le rôle de l'évaporation sur le chimisme des eaux souterraines peu profondes.

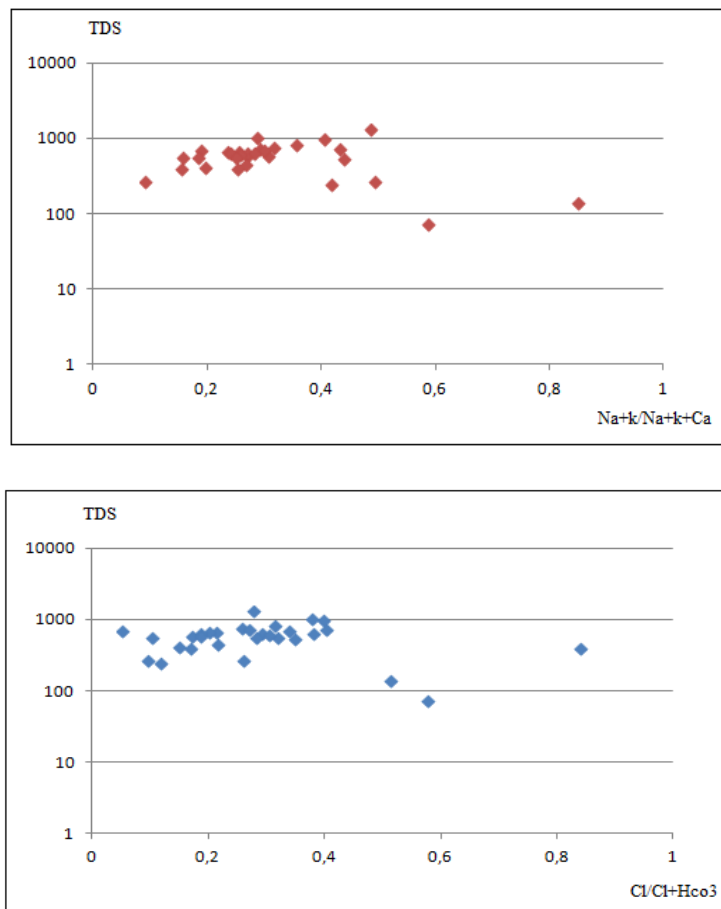


Fig.7 Diagramme de Gibbs pour le mécanisme contrôlant le chimisme des eaux

4. INDICE DE SATURATION ET PRESSION PARTIELLE DE CO₂ (pCO₂)

La modélisation géochimique a été réalisée par le logiciel Diagramme incorporant le Phreeq pour (évaluer les indices de saturation minérale. L'indice de saturation est important pour déterminer le degré d'équilibre entre l'eau et les minéraux ; et pour reconnaître la dissolution des minéraux et les processus de précipitation dans les aquifères (Redwan et al.2016). L'équation suivante est utilisée pour calculer l'indice de saturation :

$$IS = \text{Log APAI} / K_{sp}$$

Où PAI est le produit d'activité ionique et K_{sp} est la constante du produit de solubilité.

Le minéral est saturé ou sursaturé par rapport à la solution lorsque l'indice de saturation est positif et sa tendance à se précipiter dans les eaux souterraines. La valeur négative de IS suggère que l'eau est sous-saturée par rapport au minéral indiquant la dissolution de ce dernier. Le minéral est en équilibre avec les eaux souterraines, si la valeur IS est nulle et n'a pas tendance à précipiter ou à se dissoudre les minéraux. L'évaluation de l'IS pourrait être utile pour comprendre les processus géochimiques survenant et serait en mesure de déterminer l'origine des ions dissous dans les eaux souterraines (Kumar et Singh, 2015). Les valeurs de IS pour les minéraux d'Aragonite, Calcite et Dolomite sont sursaturées dans les aquifères et incapables de dissoudre plus de minéraux. Des facteurs tels que l'altération incongrue des minéraux carbonatés et des minéraux silicatés, l'effet des ions communs et l'évaporation, la température et l'ex solution du dioxyde de carbone, l'infiltration des eaux usées et les retours. Par contre les valeurs d'IS pour l'Anhydrite et le Gypse sont sous-saturés.

Selon Tableau 14 Les indices de saturations obtenues pour l'Aragonite varient de -2.48 à 0.68, suivi par celui de la Calcite qui varie de -2,33 à 0,83 et enfin celui de la dolomite varie de -5,30 à 0.91. Tous les points ont atteint les degrés de saturation c'est-à-dire que l'eau ne plus dissoudre l'aragonite ni la calcite ni la dolomite d'où l'appauvrissement en calcium et magnésium.

- les degrés de saturation de l'anhydrite enregistrent des indices qui varient de -4,45 à -0,84 (où tous les points d'eau analysés n'ont pas atteint le degré de saturation), suivi de gypse dont l'indice varie entre -4,23 jusqu'à -0,62 traduisant le degré de sous-saturation ce qui implique que l'eau peut dissoudre ces deux minéraux (appauvrissement en calcium et sulfates).

Les valeurs de PCO₂ varient entre 0,02198.10⁻² et 5.762.10⁻² sont supérieures a celle de la pression atmosphérique ce qui signifie que les eaux des aquifères sont en contacte avec le CO₂ du sol.

Tableau .14: Indice de saturation de quelques minéraux et pCO₂

Nom	Anhydrite CaSO ₄	Aragonite CaCO ₃	Calcite CaCO ₃	Dolomite (Mg, Ca)CO ₃	Gypse CaSO ₄ ·2H ₂ O	PCO ₂ 10-2atm
Ain Djemil	-3.11	-0.30	-0.15	-1.82	-2.89	0.913
Ain Souda	-2.20	0.52	0.66	0.43	-1.98	0.34
Bouglez	-3.73	-2.47	-2.33	-4.95	-3.51	1.129
Youkous	-2.07	0.05	0.20	-0.54	-1.85	0.937
Thevest	-1.35	0.60	0.74	0.86	-1.13	0.588
El Ma	-1.66	-0.12	0.03	-0.54	-1.44	3.784
Arwa	-1.48	0.19	0.33	-0.25	-1.26	01.293
Ifri	-1.79	-0.07	0.07	-0.58	-1.57	1.807
Meliza	-1.25	0.23	0.38	0.04	-1.03	1.571
Righia	-4.45	-2.48	-2.33	-5.30	-4.23	0.527
Benian	-1.42	0.27	0.41	0.42	-1.20	0.955
Guedila	-1.78	0.09	0.23	0.01	-1.56	1.65
Star	-1.39	0.23	0.38	0.01	-1.17	2.59
Kantara	-1.40	0.04	0.18	-0.22	-1.18	1.77
Sidi Okba	-0.84	-0.15	0	-0.54	-0.62	2.006
Batna	-2.12	-0.06	0.08	-0.17	-1.90	2.543
Messeghrine	-2.12	-0.29	-0.14	-0.58	-1.9	1.05
Mansourah	-1.90	-0.13	0.02	-0.52	-1.68	3.14
Sfid	-1.72	-0.19	-0.05	-0.62	-1.50	0,02198
Mouzaia	-1.58	0.37	0.52	0.58	-1.36	5.762
Lejdar	-1.91	0.23	0,37	0.17	-1.69	0.981
Mont Djurjura	-1.84	0.68	0.83	0.91	-1.62	0.593
Soummam	-1.24	0.09	0.23	-0.29	-1.02	1.952
Qaniaa	-1.69	0.08	0.22	-0.37	-1.47	1.16
Saida	-1.92	0.28	0.43	0.52	-1.70	1.283
Dhaya	-1.93	-0.17	-0.03	-0.46	-1.71	1.793
Ayris	-1.81	0.50	0.64	0.09	-1.59	0.333
Texanna	-2.33	-1.35	-1.20	-2.23	-2.33	0.575

5.ÉTUDE DES PRINCIPAUX CATIONS ET ANIONS

➤ LES CATIONS

Les cations analysés sont le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium.

-Le calcium (Ca^{2+})

Les teneurs en calcium des eaux de source sont comprises entre 4.6 mg/l (Bouglez) et 143 mg/l (Sidi Okba) ; avec une moyenne 80.85 mg/l. le calcium dans les eaux de source est présent principalement dans les roches carbonatées mais aussi se rencontre également dans certains minéraux des roches ignées.

-Le Magnésium (Mg^{+})

Les concentrations en magnésium sont comprises entre 2.64mg/l (Ain Djemil) et 75mg/l (Mouzaia) avec une moyenne 33.62 mg/l .La dissolution des roches carbonatées et des minéraux magnésiens et l'échange cationique sont à l' origine la plus probable du magnésium dans les eaux de source.

-Le Sodium (Na^{+})

Le Sodium est soumis aux mêmes processus d'adsorption/désorption que le calcium et le magnésium. Sa mise en solution présente donc une complexité comparable. Les teneurs en sodium sont comprises entre 5 mg/l (Ain Djemil) et 145mg/l (Mouzaia) avec une moyenne 39.19 mg/l.

-Le Potassium (K^{+})

Le Potassium est un élément principalement rencontré dans les roches ignées et les argiles. D'une manière générale, les eaux souterraines présentent rarement des teneurs en Potassium supérieures à 10 mg/l (Parizot, 2008). Les concentrations en Potassium observées dans les eaux de source sont faibles ;

Elles sont comprises entre 0,20(Mont djurjura) et 4.65 mg/l (Youkous) avec une moyenne de 2.13 mg/l.

➤ LES ANIONS

Les anions analysés sont les bicarbonates, les chlorures, les sulfates et les Nitrates.

-Les Bicarbonates (HCO_3^-)

Les teneurs en Bicarbonates dans les eaux de source sont compris entre 24.40 mg/l (Righia) et 671 mg/l (Mouzaia) avec une moyenne 268.84 mg/l .La dissolution des minéraux carbonates et l'action du CO_2 des eaux météoriques et du sol sont, d'une manière générale, à l' origine des Bicarbonates.

-Les Chlorures (Cl^-)

Les concentrations des chlorures varient de 10 (Ain Djemil , Meliza) au 184 mg/l (Texanna) avec une moyenne de 64.79 mg/l. Les Chlorures dans les eaux de source peuvent avoir de multiples origines, en particulier les interactions eau-roches ignées.

-Les Sulfates (SO²⁻₄)

Les concentrations en sulfates dans les eaux de source sont comprises entre 1 (Righia) et 455 mg/l (Sidi Okba), leur présence peut avoir plusieurs origines :

1. L'oxydation des minéraux riches en soufre ; les teneurs mesurées sont alors de quelques mg/l à quelques dizaines de mg/l ;
2. Le lessivage de formations évaporitiques ; les teneurs sont alors de l'ordre de la centaine ou du millier de mg/l.

-Les Nitrates (NO⁻₃)

Les eaux de source présentent des teneurs en nitrates variant de 00 mg/l (Batna, Messeghirine, Texanna) jusqu'à 47 mg/l (Ledjar) avec une moyenne de 12.69 mg/l.

Les sources naturelles principales de nitrate sont les pluies et les interactions du sol avec la végétation. Les sources anthropiques sont par ailleurs nombreuses, le plus souvent liées au lessivage d'engrais, à l'élevage et aux rejets domestiques et industriels.

6.MATRICE DE CORRELATION

L'analyse statistique des données physico-chimiques des échantillons (Tableau 15) a montrée des valeurs de corrélation positives allant de 0,44 à 0.98. Il y avait une corrélation hautement significative entre TDS-CE (r = 0.98), TDS-Ca (r = 0.88), TDS-Na (r = 0.84), TDS-HCO⁻₃ (r = 0.82), Des valeurs de corrélation élevées ont été observées entre Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO⁻₃, Cl⁻, SO²⁻₄ avec des valeurs allant de 0,040 à 0.88, ce qui indique la prévalence de la dissolution des roches

Tableau.15 : Matrice de corrélation

Variables	TDS	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO3	Cl	SO4	NO3
TDS	1,00	0,16	0,98	0,88	0,69	0,84	0,23	0,82	0,53	0,62	0,31
pH	0,16	1,00	0,12	0,29	-0,10	-0,01	0,16	0,25	-0,12	0,05	0,14
CE	0,98	0,12	1,00	0,86	0,74	0,83	0,20	0,74	0,64	0,64	0,29
Ca	0,88	0,29	0,86	1,00	0,40	0,66	0,24	0,66	0,34	0,66	0,32
Mg	0,69	-0,10	0,74	0,40	1,00	0,48	0,21	0,49	0,61	0,44	-0,04
Na	0,84	-0,01	0,83	0,66	0,48	1,00	0,10	0,70	0,61	0,36	0,30
K	0,23	0,16	0,20	0,24	0,21	0,10	1,00	0,23	-0,12	0,22	-0,04
HCO3	0,82	0,25	0,74	0,66	0,49	0,70	0,23	1,00	0,29	0,16	0,32
Cl	0,53	-0,12	0,64	0,34	0,61	0,61	-0,12	0,29	1,00	0,11	0,29
SO4	0,62	0,05	0,64	0,66	0,44	0,36	0,22	0,16	0,11	1,00	-0,07
NO3	0,31	0,14	0,29	0,32	-0,04	0,30	-0,04	0,32	0,29	-0,07	1,00

7.ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE

Afin d'évaluer les paramètres significatifs de la qualité de l'eau évaluation et les différents processus qui influent sur l'évolution de l'hydrogéochimie des eaux des différentes sources. Une analyse en composantes principales (ACP) a été pratiquée. ACP est une méthode qui comprend la réduction du nombre total de variables à un plus petit nombre, sans perdre l'information essentielle. Il convertit la matrice de données dans un nouvel ensemble de composants principaux sur la base de la matrice de variance-covariance (Nouar, 2016; Thivya et al. 2013; Yidana et al. 2008; Kim et al. 2005). Les résultats de l'analyse multivariée indiquent que 75,6448 % des la variance cumulative est acceptable pour expliquer la chimie des eaux des sources étudiées (Tableaux 16). L'axe factoriel 1 explique 50,02% de la variance totale porté par TDS, CE, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} . Cet axe discrimine la minéralisation des eaux. L'axe factoriel 2 (13.36% de la variance) est représenté négativement par pH et K^+ dans sa partie positive et s'oppose aux Cl^- . L'axe factoriel 2 semble rendre compte de l'origine de K^+ et Cl^- (Tableau 17)

Tableau.16: Valeurs propres, variance et variance cumulative en pourcentage

	F1	F2	F3
Valeur propre	5.025	1.4702	1.3483
Variance (%)	50.0227	13.3651	12.2570
Variance cumulée%	50.0227	63.3878	75.6448

Tableau 17 : ACP des analyses physico-chimiques des sources

	F1	F2	F3
TDS	0.99	0.05	-0.01
pH	0.15	0.69	0.38
CE	0.99	-0.05	-0.06
Ca	0.87	0.28	0.05
Mg	0.72	-0.27	-0.40
Na	0,85	-0,19	0,12
K	0,25	0,57	-0,30
HCO ₃	0,78	0,15	0,27
Cl	0,61	-0,62	0,10
SO ₄	0,59	0,24	-0,53
NO ₃	0,33	-0,05	0,76

8. APTITUDE DE L'EAU A LA CONSOMMATION HUMAINE

8.1. LE TITRE HYDROTIMETRIQUE

La dureté est définie comme l'inhibition de l'action du savon dans l'eau en raison de la précipitation de magnésium et sels de calcium. Elle peut être temporaire ou permanente. Une eau dure provoque l'obstruction des canalisations par le dépôt de tarte (sels) et peut nuire à la santé humaine en provoquant des maladies telles que l'insuffisance rénale. Elle est calculée par la formule suivante (Sawyer et McCarty, 1967) :

$$TH_{\text{CaCO}_3} \text{ (mg/l)} = (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) * 50$$

Avec (Ca^{2+}) et (Mg^{2+}) en meq/l

Selon le tableau 19, la valeur maximale de TH est de 652.50 mg/l au niveau de la source Mouzaia, la valeur minimale observée au niveau de la source de Bouglez (27.12 mg/l). Selon la classification de Sawyer et McCarty, les eaux sont dures à très dures (Tableau 18).

Tableau.18 : Classification de TH d'après Sawyer et McCarty (1967)

Concentration	qualité
<75 mg/l	Eau douce
75-150 mg/l	Eau moyennement dure
150-300 mg/l	Eau dure
>300 mg/l	Eau très dure

Tableau.19 : Valeurs de TH

ID	TH _{CaCO3} (mg/l)	Observations
Ain Djemil	146	Eau moyennement dure
Ain Souda	261.66	Eau dure
Bouglez	27.12	Eau douce
Youkous	253.91	Eau dure
Thevest	366.70	Eau très dure
El Ma	381.66	Eau très dure
Arwa	395.83	Eau très dure
Ifri	302.5	Eau très dure
Meliza	419.16	Eau très dure
Righia	32.5	Eau douce
Benian	460.83	Eau très dure
Guedila	345	Eau douce
Star	460.41	Eau douce
Kantara	379.16	Eau très dure
Sidi Okba	630.00	Eau très dure
Batna	324.16	Eau très dure
Messeghrine	305	Eau très dure
Mansourah	366.66	Eau très dure
Sfid	330.83	Eau très dure
Mouzaia	652.50	Eau très dure
Lejdar	272.50	Eau dure
Mont Djurjura	373.33	Eau très dure
Soummam	418.33	Eau très dure
Qaniaa	389.87	Eau très dure
Saida	378.33	Eau très dure
Dhaya	329.16	Eau très dure
Ayris	204.16	Eau dure
texanna	375	Eau dure

8.2.COMPARAISON DES PARAMETRES AVEC LES NORMES DE L'OMS

Les résultats des analyses des eaux mises en bouteilles sont comparés avec les normes de l'OMS (2011).

Tableau.20: Comparaison des résultats avec les normes de l'OMS (2011)

Désignation	Minimum	Maximum	C Mini et Max	Observation
PH	6.70	7.87	6.50-8.50	Néant
CE (µS/cm)	127	1627	1500	Sauf Ain Djemil ,Youkous ,Righia qui ne sont pas dans la norme
TDS	71	1285	1500	Néant
Ca ²⁺	4.6	143	200	Néant
Na ⁺	5	145	200	Néant
Mg ²⁺	2.64	75	150	Néant
K ⁺	0.20	4.65	12	Néant
Cl ⁻	10	184	250	Néant
NO ₃ ⁻	00	47	50	Néant
SO ₄ ²⁻	1	445	250	Sauf Sidi Okba qui n'est pas dans la norme
HCO ₃ ⁻	24.40	671	600	Sauf Mouzaia qui n'est pas dans la norme

Selon le tableau cidessus ont peut dire que les eaux sont aptes à la consommation humaine.

9.APTITUDE DE L'EAU A L'IRRIGATION

9.1.CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

Elle mesure la capacité de la substance ou de la solution à conduire le courant électrique. La Conductivité électrique des eaux souterraines augmente avec l'augmentation de la température et varie avec la quantité de TDS. La conductivité dans les échantillons d'eau sources étudiées varie de 127 à 1627 Us / cm à 25°C indiquant une bonne catégorie d'eau d'irrigation.

Les conductivités des nos eaux mises en bouteilles, sont résumées dans le tableau 12, Il en ressort de ce tableau que les conductivités électriques appartiennent aux classes (C1 ,C2 et C3), ce qui traduit que sont aptes à l'irrigation.

Tableau.21 : classification de la conductivité selon Richards (1954)

Classe	ID	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C)	Observation
C1	Boglez, Righia	$0 < C < 250$	-Faible minéralisation de l'eau - utilisation sur la plupart des cultures des sols
C2	Ain Djemil ,Ain Souda ,youkous ,ifri ,Guedila ,Batna , Messeghirine , Lejdar , ,Dhaya , Ayris	$250 < C < 750$	-Minéralisation moyenne – Utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel.
C3	Thevest , El Ma , Arwa ,Meliza ,Benian , Star ,Kantara , Sidi Okba ,Mansourah , Sfid ,Mouzaia , Mont djurjura , Soummam Qaniaa,Saida, Texanna.	$750 < C < 2250$	Eau salée-utilisation sur sol bien drainé et plantes tolérantes au sol- contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire.

9.2.LE POURCENTAGE DE SODIUM (Na%)

Pourcentage en Sodium (Na%) est un paramètre important pour classer les échantillons d'eau souterraine à des fins d'irrigation. Il est calculé par la formule proposée par Doneen (1962);

$$\text{Na \%} = \frac{(\text{Na}+\text{k})}{(\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Na}+\text{K})} \times 100$$

Avec Na^+ , k^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont en meq/l.

La présence du sodium avec les carbonates forme un sol alcalin; tandis que le sodium avec les chlorures forme un sol salin; les deux cas ne tolèrent pas la croissance des plantes. La classification de la qualité de l'eau d'irrigation basée sur les valeurs du pourcentage de sodium proposées par Wilcox (1955). Les valeurs du pourcentage en sodium varient entre 6.13 et 70.33% (Tableau 22).

Selon le Tableau 23 la classification de Wilcox (1955) suggère que les eaux de sources étudiées reparties en 3 classes:

-Classe 1 :regroupe les sources Ain Djemil, Ain Souda, Youkous, El Ma, Ifri, Meliza, Benian, Guedila,Kantara ,Sidi Okba, Batna, Mansourah ,Sfid, Dhaya ,Texanna ou les valeurs de Na% sont inférieures à 20% (eaux excellentes pour l'irrigation).

-Classe2 : regroupe les sources Thevest, Arwa, Star, Messeghrine, Mouzaia, Lejdar, Mont Djurjura ,Soummam, Qaniaa, Saida, Ayris ou les valeurs de Na% compris entre 20 et 40% (des eaux bonnes pour l'irrigation)

-Classe3 : regroupe par les sources Bouglez, Righia, ou les valeurs de Na% sont supérieures à 60% (des eaux médiocres).

Tableau.22: valeurs de Na%

ID	Na %
Ain Djemil	8.17
Ain Souda	15.18
Bouglez	70.33
Youkous	12.14
Thevest	22.92
El Ma	15.57
Arwa	23.68
Ifri	10.88
Meliza	13.29
Righia	64.19
Benian	14.37
Guedila	15.96
Star	31.44
Kantara	17.69
Sidi Okba	18.39
Batna	8.86
Messeghrine	24.87
Mansourah	15.26
Sfid	16.01
Mouzaia	32.80
Lejdar	20.43
Mont Djurjura	22.25
Soummam	27.24
Qaniaa	21.62
Saida	25.37
Dhaya	13.98
Ayris	23.51
texanna	6.13

Tableau.23 :Classification de Wilcox.

paramètre	Classe1 Excellente	Classe 2 Bonne	Classe 3 Admissible	Classe 4 Médiocre	Classe 5 mauvaise
Na%	<20	20 - 40	40 - 60	60 - 80	>80

La combinaison du taux de sodium et conductivité électrique nous a permis d'élaborer le diagramme de Wilcox (1955). Il en ressort de ce diagramme que les eaux sont classées dans la catégorie des eaux excellentes à bonnes donc aptes pour l'irrigation (Fig.8)

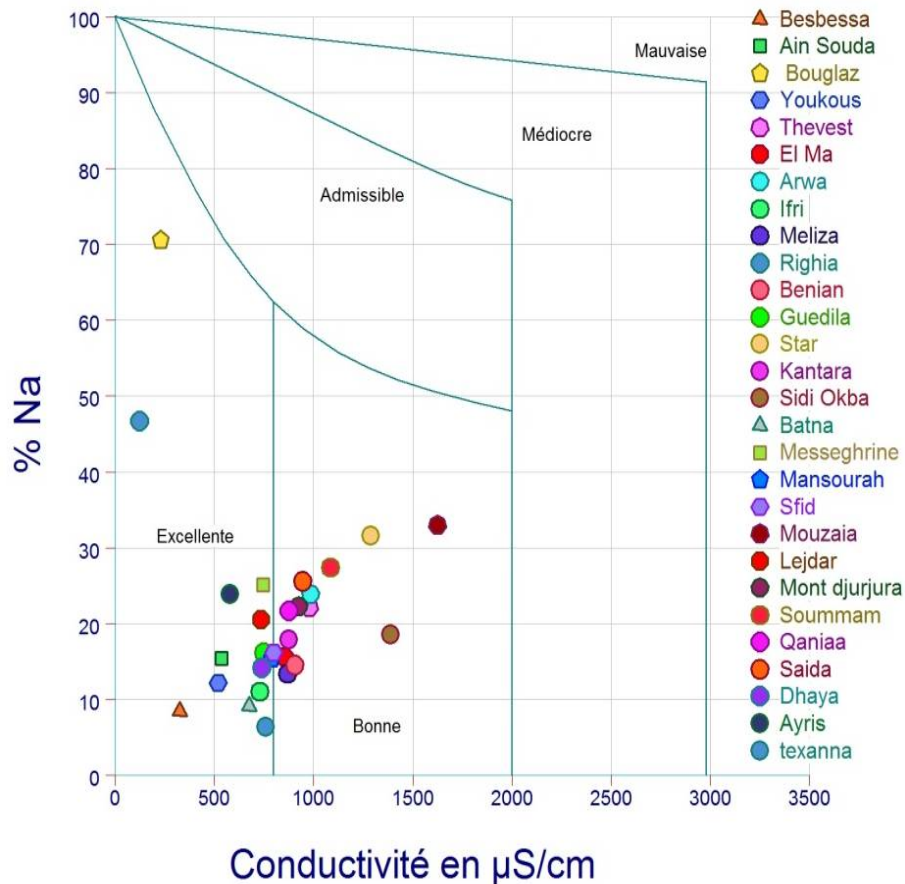


Fig.8 :Diagramme de Wilcox

9.3 SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR)

Le degré auquel l'eau d'irrigation a tendance à entrer dans la réaction d'échange de cations dans le sol peut être indiquée par le rapport d'adsorption de sodium (Richards 1954). Puisque le sodium remplace le calcium adsorbé et le magnésium dans le sol, il est donc exprimé comme suit :

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

Avec Na^+ ; K^+ ; Ca^{2+} et Mg^{2+} sont en méq/l.

L'excès de sodium dans les eaux souterraines s'adsorbe sur les particules du sol, modifiant ainsi les propriétés du sol et réduisant également la perméabilité du sol (Ayers et Bronson, 1975). Selon la classification de Wilcox (1955), l'eau avec $SAR \leq 10$ est considérée comme excellente, entre 10 et 18 est bonne; entre 18 et 26 médiocre et supérieur à 26 est considéré

comme impropre à l'irrigation dans sa forme naturelle. Comme montre le Tableau 24, L'ensemble des échantillons ont un SAR <10; donc excellente pour l'irrigation.

Tableau.24 : Valeurs de SAR

ID	SAR
Ain Djemil	0.22
Ain Souda	0.57
Bouglez	0.67
Youkous	0.43
Thevest	1.07
El Ma	0.71
Arwa	1.23
Ifri	0.42
Meliza	0.62
Righia	0.98
Benian	0.71
Guedila	0.70
Star	1.97
Kantara	0.84
Sidi Okba	1.13
Batna	0.35
Messeghrine	1.16
Mansourah	0.69
Sfid	0.69
Mouzaia	2.49
Lejdar	0.85
Mont Djurjura	1.10
Soummam	1.53
Qaniaa	1.09
Saida	1.32
Dhaya	0.59
Ayris	0.88
Texanna	0.25

Le diagramme de Richards (1954) combine la conductivité et la valeur du SAR. Cette combinaison, nous a permis d'élaborer le diagramme suivant (Fig.9). Les seize classes du diagramme indiquent la mesure dans laquelle les eaux peuvent affecter le sol en termes de risque de salinité. Ces classes sont: faible salinité (C1), moyenne (C2), haute (C3) et très forte salinité (C4) et danger de sodium similaire faible (S1), moyen (S2), élevé (S3) et très élevé (S4).

L'observation de la figure 4 montre que les eaux se répartissent au niveau des classes suivantes: C1S1, C2S1, C3S1, Dans le détail et on se référant à l'interprétation globale de la méthode, nous pouvons réaliser les constatations suivantes :

- C1S1: caractérise des eaux d'excellente qualité, pouvant être utilisées sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes et sur la plupart des sols.
- C2S1 désignent des eaux de bonne qualité convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels.
- C3S1, désignent des eaux médiocres, utilisables seulement pour l'irrigation de cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité, avec une salinité qui doit être contrôlée.

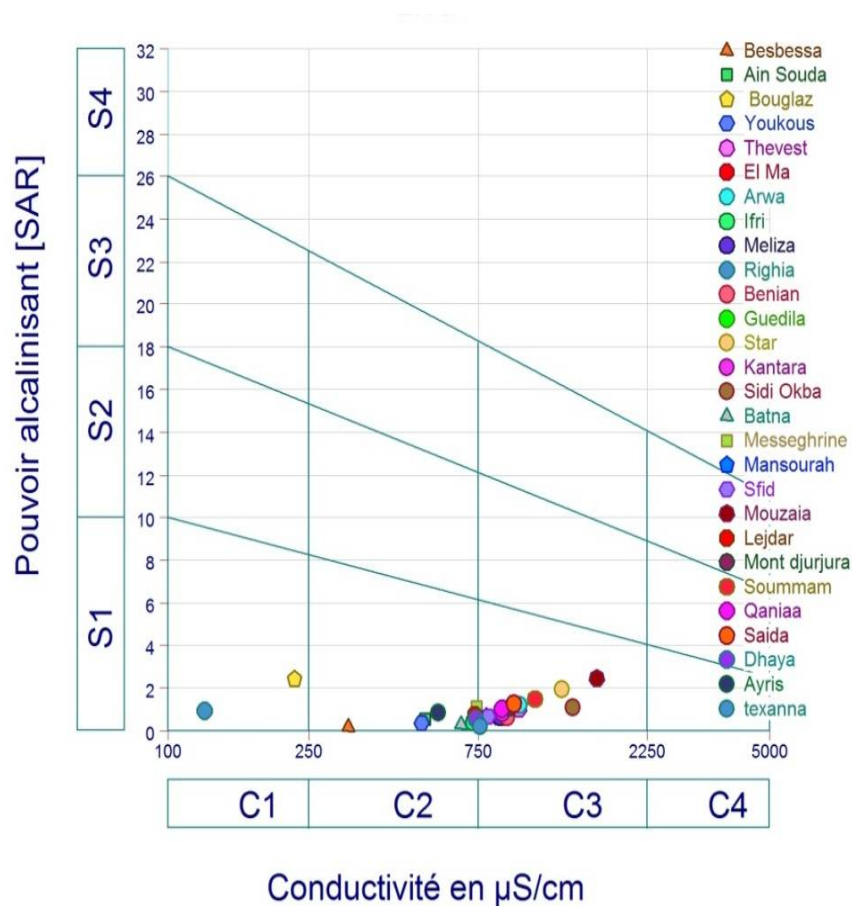


Fig.9 : Diagramme de Richards

9.4.SALINITE POTENTIELLE DU SOL (PS)

La salinité potentielle du sol est calculée en utilisant la formule suivante :

$$PS = Cl^- + \sqrt{SO_4^{2-}}$$

Cl⁻ et SO₄²⁻ sont exprimés en meq/l

Selon le Tableau 26 Les valeurs de PS des sources d'eaux varient de 0.57 à 6.00. Sur 28 D'échantillons, 24 sont excellentes à bonnes les quatre restantes sont bonnes à médiocres (Tableau 25).

Tableau.25: Classification de l'eau selon la Salinité Potentielle du sol

Classe	Potentiel de salinité du sol	N°. d'échantillons
Excellente à Bonne	<5	24
Bonne à Mediocre	5-10	4
Mediocre à Mauvaise	>10	0

Tableau.26: Valeurs de SP

ID	SP
Ain Djemil	0.57
Ain Souda	1.38
Boglez	1.30
Youkous	1.58
Thevest	3.81
El Ma	2.89
Arwa	4.29
Ifri	3.22
Meliza	4.27
Righia	0.68
Benian	2.97
Guedila	2.37
Star	5.87
Kantara	3.50
Sidi Okba	5.15
Batna	1.67
Messeghrine	3.22
Mansourah	2.40
Sfid	3.29
Mouzaia	5.56
Lejdar	2.31
Mont Djurjura	3.83
Soummam	4.22
Qaniaa	3.77
Saida	3.44
Dhaya	2.82
Ayris	2.25
Texanna	6.00

9.5. CARBONATE DE SODIUM RESIDUEL (RSC)

Il se réfère à l'alcalinité résiduelle. Une valeur élevée de RSC entraîne une augmentation de l'adsorption de Na^+ dans le sol ce qui réduit la perméabilité du sol et ne favorise pas la croissance des plantes (Rao, 2012) et calculé pour l'eau d'irrigation par la formule suivante :

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^- \times 0.0333) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Où HCO_3^- est exprimé en mg/l et Ca^{2+} et Mg^{2+} sont en méq/l

Selon le Tableau 25 Les valeurs calculées du RSC varie entre -5.50 et 9.29 méq/l et sont classées comme suit :

- Les sources Bouglez, Arwa, Righia, Benian, Kantara, Sidi Okba, Qaniaa et Texanna représentent des valeurs de $\text{RSC} < 1.25$ qui sont apte à l'irrigation.
- Les sources Ain Souda, Youkous, Meliza Messeghirine, Sfid, Soummam et Dhaya ont des valeurs de RSC comprises entre 1.25 et 2.5 qui sont marquées à l'irrigation.
- Les sources Ain Djemil, Thevest, El Ma Ifri, Guedila, Star, Mansourah, Ledjar, Mont Djurjura, Saida et Ayris ont des valeurs de RSC comprises entre 2.5 et 5 qui sont médiocres pour l'irrigation.
- Les sources Batna et Mouzaia représentent des valeurs de RSC supérieures à 5 qui sont nuisibles à la croissance de plantes adaptées à des fins d'irrigation.

Tableau.27 : valeurs de RSC

ID	RSC
Ain Djemil	2.56
Ain Souda	2.22
Boglez	1.08
Youkous	2.18
Thevest	3.39
El Ma	4.02
Arwa	0.61
Ifri	2.77
Meliza	1.97
Righia	0.16
Benian	0.11
Guedila	3.65
Star	3.78
Kantara	0.64
Sidi Okba	-5.50
Batna	5.94
Messeghrine	2.22
Mansourah	4.72
Sfid	2.31
Mouzaia	9.29
Lejdar	4.80
Mont Djurjura	3.59
Soummam	1.39
Qaniaa	0.83
Saida	4.96
Dhaya	2.17
Ayris	3.57
Texanna	-5.50

9.6.INDICE DE KELLEY (KR)

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de Na^+ et la somme de Ca^{2+} et Mg^{2+} . Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation. Une grande concentration en Na^+ dans l'eau d'irrigation est considérée comme inappropriée pour son utilisation. Il est donné par la relation suivante (Doneen, 1962) :

$$\text{KR} = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$$

- Si $\text{KR} < 1$: l'eau est apte pour l'irrigation ;
- Si $\text{KR} > 3$: l'eau est inapte pour l'irrigation ;

L'indice de Kelley (KR) a été calculé pour tous les échantillons d'eau (tableau 28). Il varie de 0,06 à 2.34 indiquant que tous les eaux de sources étudiées sont appropriées à l'irrigation.

Tableau.28 : Valeurs de Kelly Ratio

ID	KR
Ain Djemil	0.07
Ain Souda	0.16
Bouglez	2.33
Youkous	0.11
Thevest	0.27
El Ma	0.17
Arwa	0.30
Ifri	0.11
Meliza	0.15
Righia	0.84
Benian	0.15
Guedila	0.18
Star	0.45
Kantara	0.20
Sidi Okba	0.21
Batna	0.08
Messeghrine	0.31
Mansourah	0.17
Sfid	0.18
Mouzaia	0.48
Lejdar	0.23
Mont Djurjura	0.28
Soummam	0.36
Qaniaa	0.26
Saida	0.33
Dhaya	0.15
Ayris	0.29
texanna	0.06

9.7.INDICE DE PERMEABILITE (IP)

Des études récentes ont indiquées que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tels que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de perméabilité (IP) défini par (Doneen, 1961) comme suit :

$$IP = \frac{Na^+ + \sqrt{Hco_3^-}}{Ca+Mg+Na} \times 100$$

Si :

- $PI > 75\%$: l'eau est bonne pour l'irrigation.
- $25\% < PI < 75\%$: l'eau est admissible sous certaines conditions pour son utilisation.
- $PI < 25\%$: l'eau n'est plus utilisable.

Les échantillons d'eau en provenance des différentes sources présentent des valeurs qui varient entre 18.60 et 119.79 avec une moyenne de 48.63% (Tableau 29) De ces valeurs on peut classer les eaux de la manière suivante (Donneen, 1964) :

- Première classe : comprend les sources de Bouglez et Righiya ou leurs PI sont supérieurs à 75%. Ce qui traduit que leurs eaux sont bonnes pour l'irrigation.
- Deuxième classe : regroupe les d' Ain Djemil ,Ain Souda, Youkous, Thevest, El Ma ,Arwa, Ifri, Meliza ,Benian ,Guedila, Star, Kantara ,Sidi Okba, Batna ,Messeghirine, Mansourah, Sfid, Mouzaia, Ledjar, Mont Djurjura ,Soummam ,Qaniaa ,Saida Dhaya et Ayris ou leurs PI sont compris entre 25-75%.Ce qui traduit que ces eaux sont admissibles pour l'irrigation.
- Troisième classe : représentée par la source de Texanna avec PI est inférieur à 25%.Danc cette eau n'est plus utilisable pour l'irrigation.

Tableau 29: Valeurs de IP

ID	IP %
Ain Djemil	59.45
Ain Souda	45.83
Bouglez	119.79
Youkous	43.86
Thevest	46.51
El Ma	41.90
Arwa	43.34
Ifri	41.33
Meliza	36.66
Righia	98.86
Benian	34.07
Guedila	43.64
Star	50.27
Kantara	39.31
Sidi Okba	30.28
Batna	43.41
Messeghrine	49.71
Mansourah	43.54
Sfid	42.53
Mouzaia	49.95
Lejdar	52.84
Mont Djurjura	46.70
Soummam	46.27
Qaniaa	42.18
Saida	49.90
Dhaya	40.99
Ayris	59.98
Texanna	18.60

9.8. MAGNESIUM RATIO (MR)

En générale, le calcium et le magnésium sont à l'état d'équilibre dans l'eau, le taux élevé de magnésium dans l'eau influe sur la qualité, où il devient de nature alcaline. Il est exprimé par la formule suivante :

$$\text{Mg ratio} = 100(\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

Avec Ca^{2+} , Mg^{2+} sont exprimés en meq/l.

Si le magnésium Ratio est supérieur à 50%, il est considéré comme inapproprié pour l'irrigation (Palliwal, 1972). Dans notre cas les valeurs du magnésium ratio oscillent entre 7.53 et 80%. Danc 75 pour cent des échantillons sont bonnes pour l'irrigation, tandis que 25 pour cent ne conviennent pas (Tableau 30).

Tableau.30 :valeurs de Mg ratio

ID	MR %
Ain Djemil	7.53
Ain Souda	25.43
Boglez	57.40
Youkous	23.66
Thevest	38.66
El Ma	40.36
Arwa	24.14
Ifri	33.05
Meliza	33.77
Righia	38.46
Benian	50.59
Guedila	47.82
Star	32.06
Kantara	40.63
Sidi Okba	43.25
Batna	55.24
Messeghrine	57.37
Mansourah	42.01
Sfid	44.02
Mouzaia	47.89
Lejdar	41.28
Mont Djurjura	32.30
Soummam	31.81
Qaniaa	28.75
Saida	55.02
Dhaya	50.60
Ayris	14.21
texanna	80.00

CONCLUSION

L'étude hydrochimique des eaux sources mises en bouteille montre que les eaux sont d'une manière générale, chloruro-sulfaté et calco-magnésien, bicarbonatée et calco-magnésien.

Du point de vu, qualitative, les eaux étudiées sont aptes à la consommation humaine ils présentent des teneurs assez faible des éléments majeurs que sauf pour les Bicarbonates et les sulfates qui dépassent en certains points respectivement les 600 et 250 mg/l autorisé par l'OMS.

L'estimation de la qualité des eaux de source à des fins d'irrigation par l'utilisation des indices tels CE, Na%, SAR, PI, RSC et Mg montre que ces sont aptes à l'usage agricole.

CONCLUSION GENERALE

La région d'étude est située dans l'atlas tellien et saharien de l'Algérie. Cette région est connue par des potentialités hydriques importantes caractérisée surtout par les eaux souterraines (sources et nappes). Les eaux souterraines proviennent des forages, puits et sources qui sont captées pour satisfaire la demande en eau de la population.

Du point de vue géologique, cette zone fortement tectonisée et fracturée, du point de vue hydrochimique, les eaux de la nappe présentent plusieurs facies qu'ils sont liés aux contextes géologiques.

Les valeurs obtenues de l'indice de saturation pour la calcite, la dolomite, l'anhydrite et le gypse ainsi que la pression partielle de CO_2 , montrent que les eaux mises en bouteilles étudiées sont sursaturées en aragonite, calcite et dolomites; et sous saturées en anhydrite et gypse.

Les valeurs obtenues de la pression partielle en CO_2 sont supérieures a celle de la pression atmosphérique ce qui suggère la communication de l'aquifère avec l'extérieur.

Les analyses physico-chimiques ont montré que les eaux sont aptes à la consommation humaine et à l'usage domestique en raison des faibles quantités de cations et d'anions, sauf pour les Bicarbonates et les sulfates qui dépassent en certains points respectivement les 600 et 250 mg/l autorisé par le standard de l'OMS. Selon les valeurs de CE, Na%, SAR, IP, RSC et Mg, la plupart de ces eaux sont adaptées à l'irrigation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ayers. R.S and Bronson, 1975: Guidelines for interpretation of water quality for agriculture University of California, Extension Mimeographed, 13 p.
- Doneen, LD (1962) : The influence of crop and soil on percolating water. Proc. 1961 Biennial conference on Groundwater Recharge, p 156-163.
- Doneen, LD (1964) Notes on water quality in agriculture. Published as a water science and engineering paper 4001, Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis, p 48
- Gibbs, R. (1970). Mechanism controlling world river water chemistry. Science 170:1088–1090.
- Kim JH, Kim RH, Lee JH, Cheong TJ, Yum BW, Chang HW (2005) Multivariate statistical analysis to identify the major factors governing groundwater quality in the coastal area of Kimje. SKorea Hydrol Process 19(6):1261–1276.
- Majour ; H ; (1996) Utilisation de l'analyse statistique pour l'étude du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique du réservoir cristallin de l'Edough (Nord-Est Algérien). Mémoire de magister, 116 p.
- Nouar, T. et al. (2016). Hydrochemistry of water springs of the travertine aquifer of Guelma in north-east of Algeria. IJAR ISSN 2320-5407, volume 6, DOI: 10.21474/IJAR01/2184.
- Paliwal, K.V. (1972). Irrigation with saline water. Monogram No. 2 (New series), IARI, New Delhi, p 198.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A. (1999). User's guide to PHREEQC (version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. US Geological Survey Water-Resources Investigation Report. US Geological Survey, Reston, pp 99–4259.
- Piper, A.M. (1944). A graphical procedure in the chemical interpretation of groundwater analysis. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, 914-928.
- Rao, N.S., Rao, P.S., Reddy, G.V., Nagamani, M., Vidyasagar, G., and Satyanarayana, N.L. (2012). Chemical characteristics of groundwater and assessment of groundwater quality in Varaha River Basin, Visakhapatnam District, Andhra Pradesh, India. Environ Monit Assess 184 (8), 5189-214. doi: 10.1007/s10661-011-2333-y
- Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils, US Department of Agriculture Handbook.
- Sawyer, G.N., McCarty, D.L. (1967). Chemistry of sanitary engineers, 2nd edn. McGraw Hill, New York. Simler, R. (2003). Diagram: hydrochemistry software. Avignon, France

Références Bibliographiques

- SOGREAH (Société française d'ingénierie). (1989): Etude intégrée de la wilaya de Guelma. DHW Guelma, 182 p.

- Thivya C, Chidambaram S, Thilagavathi R, Prasanna MV, Singaraja C, Nepolian M, Sundararajan M (2013) Identification of the geochemical processes in groundwater by factor analysis in hard rock aquifers of Madurai District. South India Arab J Geosci 1–11

- Thorthwaite C.W (1948): An approach towards a rational classification of climate. Geographical review 38,p 55-596

- Vila, J.M. (1980). La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. PhD of Science, University Pierre et Marie Curie, Paris VI. 21.

- Yidana SM, Ophori D, Banoeng-Yakubob B (2008) A multivariate statistical analysis of surface water chemistry data—the Ankobra Basin. Ghana J Environ Manag 88:697–707

- Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation waters. US Dept Agric Circ, Washington, DC, p 969. 22.

- WHO. (2011). Guidelines for drinking water quality, 4th edn. World Health Organization, Geneva.