



République algérienne populaire et démocratique
Ministère de l'enseignement supérieur et la
recherche scientifique
Université Larbi Tébessi - Tébessa
Faculté des sciences exactes et des sciences de la
nature et de la vie
Département des sciences de la terre et de l'univers



Mémoire de master :
Domaine: Sciences de la terre et de l'univers.
Filière : Géologie
Spécialité: hydrogéologie

Présentée par :

Khelili eloualid

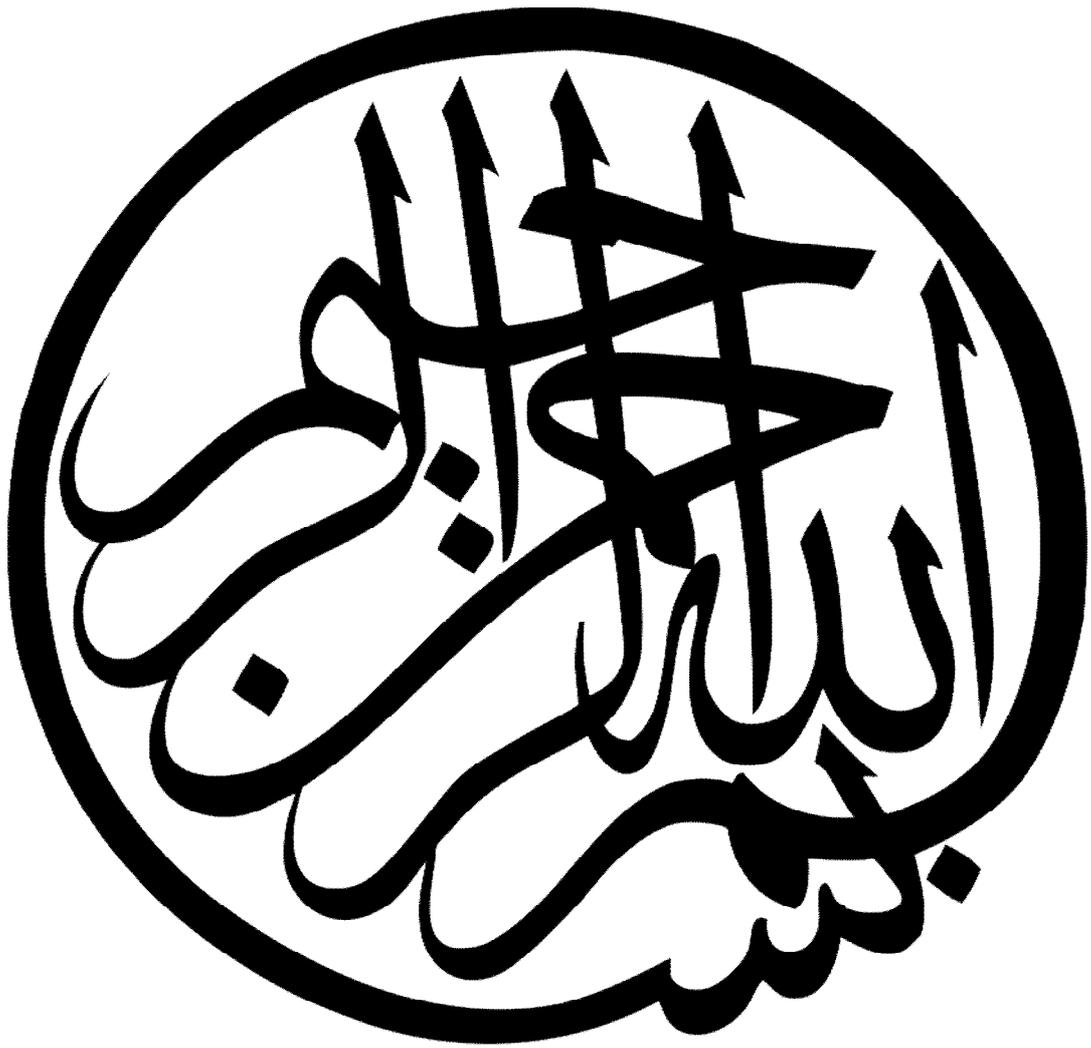
Amara abdellatif

Thème :
Etude hydrogéologique actualisée de la source
El khengha Bekkaria-Tebessa

Date de soutenance
13_06_2022
Devant le jury

Président	Benhammadi Houcine	M.C.B
Examineur	Guefaifia Omar	M.C.A
Encadreur	Seghir Karima	M.C.A

Année universitaire : **2021/2022**



Résumé

Actuellement, la demande des eaux douces de bonne qualité est devenue considérables dans les différents secteurs d'usages à savoir : domestiques, agricoles, industriels, urbains et de loisirs. Comme dans toutes les régions de l'Afrique du Nord, notamment du Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie), la région du grand bassin de Mellègue a connu au cours de ce dernier siècle une sécheresse prolongée et très intense et persistante. Cette sécheresse, caractérisée par un déficit pluviométrique considérable, a eu un impact très négatif sur les régimes d'écoulement des oueds et des sources, et par conséquent sur l'alimentation des nappes aquifères. Ce déficit hydro-pluviométrique s'est répercuté sur l'ensemble des activités socio-économiques de cette région surtout sur son développement agricole autant qu'elle est la vocation principale. La source de Bekkaria se localise à mi-chemin de la route nationale N°10 liant Tébessa-Bouchebka, à 20 km de la ville de Tébessa. Nous avons pris ce travail d'étude afin de définir les conditions hydrogéologiques l'émergence de la source de Bekkaria dite Ain El Khanga et étudier les causes de son tarissement. L'émergence de la source est due aux trois conditions d'ordre morphologique. De point de vue valeur, l'écoulement a connu un quasi constance de très faibles débits et hauteurs. Ceci peut être expliqué par l'intensification de la sécheresse qu'a vécue la région. Les eaux de la source sont toujours de qualité Bicarbonaté-Calcique, de bonne à moyenne qualité où les normes internationales sont respectées. Les calcaires fissurés du Turonien moyen jouent un rôle important dans l'évolution du chimisme de l'eau de la source.

الملخص

حالياً أصبحت الحاجة إلى الماء العذب ذو النوعية الجيدة مهمة في الكثير من القطاعات: الصناعي، الزراعي، الحضري، في المنزل و للتسليية. مثل كل مناطق شمال أفريقيا خاصة في المغرب العربي (الجزائر، المغرب، تونس) حوض ملاق الكبير شهد خلال القرن 21 جفافاً مطولاً و معتبراً. هذا الجفاف الذي كان مميزاً بالعجز و النقص في تساقط الأمطار كان له أثر جد سلبي على أنظمة التدفق في الوديان و المنابع، و كنتيجة لهذا أثرت على توريد طبقة المياه الجوفية. هذا التراجع في التساقط كان له تداعيات في النشاطات الاجتماعية الاقتصادية لهذه المنطقة خاصة على تطورها الزراعي لانه المجال الأكثر أهمية. منبع بكارية يقع منتصف الطريق الوطني رقم 10 و الذي يربط تبسة بوشبكة، ببعده 20 كم على تبسة المدينة. اخترنا هذه الدراسة بهدف معرفة الظروف الهيدروجيولوجية التي تخص منبع بكارية (عين الخنقة) و لدراسة الاسباب التي كانت وراء جفافه. الضرورة لدراسة هذا المنبع له سببين او ثلاثة أسباب مورفولوجية. من وجهة نظر قيمة، شهد التدفق ثباتاً منخفضاً للغاية في التدفق و الارتفاع. يمكن شرح هذا بالجفاف الكثيف الذي شهدته المنطقة. منبع الماء يأتي دائماً على شكل بيكربونات الكالسيوم ذو نوعية متوسطة الى جيدة اين تكون المعايير العالمية محترمة. الحجر الجيري المتشقق له دور مهم في تطور كيمياء منبع الماء.

Abstract

Currently, the need for fresh water of a good quality became important in different sectors: domestic, agricultural, industrial ,urban and leisure. As in all the regions of North Africa , especially in Algeria, Morroco, and Tunisia; during the recent century, the Mellègue large pool region witnessed a very intense, persistent and protracted drought. This drought which was characterised by a considerable rainfall deficit, had a negative impact on the flow regimes of the Oueds and sources, and consequently on the supply of aquifers. This rainfall deficit had repercussions on all the socio-economic activities of this region, especially on its agricultural development as it is the most important vocation. Bekkaria source is located midway the National road N°10 which links Tebessa to Bouchebka, 20 km far from Tebessa city. We took this study in order to define the hydrogeological conditions concerning Bekkaria source (Ain el Khanga) and to study the causes behind its drying up. The emergency of the source is two to three morphological conditions. From a value point of view, the flow experienced an almost constant of a very low flow and height. This can be explained by the intensification of the drought experienced by the region. The source water is always of calcium bicarbonate quality, of good to average quality where international standards are respected. The fissured limestones of the turonie has a vital role in the evolution of source water chemistry.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

Nos chers parents : Abdelaziz, Souad Qui n'ont jamais cessé de nous encourager et nous conseiller

Ils nous ont beaucoup aidé tout en long de notre chemin, grâce à leur amour, leur dévouement, leur compréhension et leur patience sans jamais nous quitter des yeux ni baisser les bras et leur soutien moral et matériel, on ne saurait jamais traduire ce qu'on ressent vraiment envers eux.

Nos frères et sœurs : Naim, Ahlem, Amel, Sawsen, Ahmedyamen, Pour leur indulgence en notre faveur

qu'ils touchent ici l'affection la plus intime qu'on ressent à leur égard. Nos amis et collègues : tahar zerkane, walid, Haithem, azedin, Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble

Abdellatif

Dédicace

«*DEL'EAU, NOUS AVONS SCRIE ET TOUTE CHO
SE VIVANTE*» *CORAN, XXI, 30*

«*Le voyage d'une goutte d'eau qui s'exhale de l'océan et après avoir toutanié*

A toi ma chère mère

Je dédie mon diplôme à celle qui a éclairé mon chemin et m'a aidé de tout mon temps, à ma mère, la bien-aimée de mon cœur, que Dieu ait pitié d'elle et qu'elle demeure dans les jardins de la félicité. De là, je voudrais remercier ce grand être humain qui a toujours souhaité que ses yeux reconnaissent ma vision un jour comme celui-ci à celui qui était couvert de poussière avant que son souhait ne soit exaucé. Au secret de ma lutte et de mon travail acharné, à ma mère, que Dieu ait pitié d'elle, je lui dédie mon diplôme et ma réussite.

A mon père,

*Qui peut être fier, et trouver icilerésultat de longues années de sacrifices et de privations, **M**erci pour les valeurs nobles, l'éducation et les soutient permanent venudeto.*

Dédié à ma femme et mes enfants que Dieu les garde

A mes frères et mes sœurs

Qui a me donner de l'amour et de l'encouragement durant ces années d'études.

Toute ma famille

Tous mes collègues de travail ou 'études.

ELOUALID

Abdellatif

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier madame **Seghir Karima**, notre encadreur pour avoir accepté de diriger notre mémoire. Nous lui exprimons notre profonde gratitude pour nous avoir fait bénéficier de ses grandes connaissances tant sur le plan scientifique que sur le plan industriel. Nous avons apprécié sa disponibilité et ses qualités humaines.

Nous remercions également le professeur Monsieur Guefaifia Omar d'avoir toujours été là. Il n'a jamais épargné un effort, à nous faire profiter de son expérience. Ses encouragements ont été nécessaires au bon chemin de nos travaux

Nous remercions tout autant, tous nos professeurs et enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours de Master ,

Nous remercions spécialement Mon amis **Taher zerkane** et **Haithem Hafdhallah** de leur efforts avec nous et leur humilité avec nous et les remercions des minutes que nous avons passées avec eux . En fin nous leur souhaitons plus des succès dans leur vie et leur avenir.

Enfin, nous terminons par adresser nos remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire ou à ceux qui lui accordent un intérêt, aussi minime soit-il.

Table des Matières

Remerciement.....	I
Dédicace.....	II
Sommaire.....	III
Liste des tableaux.....	IV
Liste des figures.....	V
Introduction Générale.....	1
Chapitre 01 : Situation Géographique	
* Résultats et discussion	
* Présentation de la région d'étude	
I. Situation Géographique	5
II. Le réseau hydrographique	7
III. Couverture végétale	8
Chapitre 02 : Géologie de la zone d'étude	
I. Introduction.....	11
II. DESCRIPTION LITHO-STRATIGRAPHIQUE	13
II .1. LE TRIAS :	13
II.2. CRETACE :	13
II.2.1. Aptien Inférieur et Moyen :.....	13
II.2.2. Aptien Supérieur :	13
II.2.3. Albien Inférieur :.....	14
II .2.4. Albien Supérieur :	14
II.2.5. Cénomaniens :	14
II.2.6. Turonien:.....	14
II.2.7. Emscherien - Campanien Inférieur	15
II.2.8. Campanien Supérieur et Maestrichtien :.....	15
II.3. TERTIARE :.....	15
II.3.1. Miocène :	15
II.4. QUATERNAIRE :.....	15
III. APERCUS TECTONIQUE :.....	16
Chapitre 03 : Caractéristiques hydroclimatologique De la zone d'étude	
I. Introduction	19
II. Le type de climat de la région d'étude	19
II.1. Indice d'aridité annuelle :	19
III. Etude des facteurs climatiques	20

III.1.Précipitations.....	20
III.1.1. Précipitation moyenne annuelle :.....	21
III.1.2.Répartition saisonnière des précipitations :.....	22
III.2. Température	22
III.3. Diagramme pluvio-thermique :.....	23
IV. La neige	24
V. Le vent	24
VI. Bilan hydrique	25
VI.1. Etude de l'évapotranspiration	25
VI.1.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	25
VI.1.2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	26
VI.1.3. Ruissellement (R) :	26
VI.1.4. L'infiltration(I) :.....	27
VI.1.5. Réserves facilement utilisables (R.F.U) :	27
VI.1.6. Estimation du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite :	28
VI.1.7. Interprétation des résultats du bilan hydrique (1997-1998/2017-2018) :	29
VI. Etude climatologique de la station d'el Ma el abiod :.....	30
VI.1Réseau hydro climatique:.....	30
Conclusion :.....	32

Chapitre04 : Hydrogéologie de la région et conditions d'émergence de la source De Bekkaria

I. Introduction.....	34
II. Coupe hydrogéologique	34
III. Carte piézométrique.....	35
IV. Conditions aux limites :.....	35
V. Conditions d'Emergence de la Source :.....	38
Conclusion.....	39

Chapitre 05 : Débit d'écoulement de la source Elkhanga et son variabilité dans le temps et dans l'espace

I .Etude des débits d'écoulement de la source d'Elkhanga.....	41
I.a. Variabilité Chronologique Des Données.....	43
I.a.1. Variabilité journalière des débits:	43
I.a.2. Variabilité mensuelle des débits:	44

I.b. Tarissement de la source et Vidange de la nappe:.....	44
Conclusion.....	46
Chapitre 06 : Qualité hydrochimique des eaux de la source d'Elkhanga et son évolution.	
I. Introduction	48
II. Technique Opératoire de Mesure et d'Analyse :.....	48
II-1. Technique de prélèvement et de mesure :.....	48
II .2. Technique de dosage :.....	48
II.3. Dosage des chlorures :.....	49
II.4. Dosage des bicarbonates :.....	50
II.4.1.Détermination de l'alcalinité (TA et TAC) :.....	50
II.5. Dosage de dureté hydrométrique TH :.....	51
II.6.Dosage de calcium :.....	51
II.7.Dosage de sodium et potassium :.....	52
II.8.Dosage des sulfates :	52
III. Interprétation graphique et identification des facies chimique :.....	52
III.1.Diagramme de piper :.....	53
III.2. Evolution Chronologiques:.....	56
Conclusion.....	59
CONCLUSION GENERALE.....	61
Bibliographie.....	64

Liste des figures

Chapitre 1 : Situation Géographique

Figure 01 : situation géographique de la zone d'étude	6
Figure 02 : situation de la source de Ain Bekkaria (dite El Khanga).....	7
Figure 03 : le réseau hydrographique de Tébessa (In. Gherieb .A 2011).....	8

Chapitre 2 : Géologie de la zone d'étude

Figure 04 : carte géologique de la zone d'étude.....	12
Figure 05 : Résumé schématique de la géologie de la région d'étude.....	16
Figure 06: coupe géologique.....	17

Chapitre 3 : Caractéristiques hydroclimatologique de la zone d'étude

Figure 07 Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de DE.Martone1923.(in.Debbeez M 2019).....	20
Figure 08 : Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018).....	21
Figure 09 : variation des Précipitations annuelle à la Station de Tébessa (1997-2018). (in. Debbeez M 2019).....	21
Figure 10: Répartition saisonnière des précipitations dans la station de Tébessa (1997-2018).(in. Debbeez M 2019).....	22
Figure 11: variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2017/2018). (In. Site web Nasa).....	23
Figure 12: diagramme Ombro-Thermique station de Tébessa (1997/1998-2017/2018).....	24
Figure 13: distribution des précipitations mensuelle aux station de El MA EL ABIOD et AIN EL KHANGA.....	31

Figure14: distribution de la précipitation annuelle dans la station d'el ma el abiod	31
Figure 15 : distribution annuelle de la précipitation d'AIN EL KHANGA.....	32
Chapitre 04 : Hydrogéologie de la région et conditions d'émergence de la source De Bekkaria (dite El khanga)	
Figure 16 : Coupe hydrogéologique obtenue par corrélation entre logs stratigraphiques des forages et sondages électriques.....	34
Figure 17 : Carte piézométrique de la période Hautes Eaux de l'année 1997[SEGHIR K., 1997].....	36
Figure 18 : Carte piézométrique des hautes eaux de l'année 2022 de la zone d'étude.....	37
Figure 19 : Coupe géologique [SEGHIR K. 1997].....	38
Chapitre05 : Débit d'écoulement de la source Elkhanga et son variabilité dans le temps et dans l'espace.	
Figure 20 : Variation des débits instantanés enregistrés au niveau de l'oued (1997).....	42
Figure 21: Variation des débits instantanés enregistrés au niveau de la Rigole (données 1997).....	42
Figure 22 : Variation des débits journaliers au niveau de la source de khanga (Fontaine).....	43
Figure 23 : Résultats de calcul des débits journaliers au point N°2 (rigole2010).....	45
Chapitre06 : Qualité hydrochimique des eaux de la source d'Elkhanga et son évolution.	
Figure 24 : Dosage de chlorure laboratoire de l'université Tébessa.....	49
Figure 25 : Dosage de bicarbonate laboratoire de l'université de Tébessa.....	51
Figure 26 : Diagramme de piper des eaux de la source Khanga-Bekkaria 2022 comparé avec des eaux de quelques forages et puits.....	53

Figure 27 : Diagramme Scholler-Berkalof (données 2022).....	54
Figure 28: Diagramme de Piper des eaux comparées avec les eaux de quelques forages...	55
Figure 29 : Diagramme Scholler-Berkalof (données 1997).....	56
Figure 30 : (a,b) : Variation des concentrations des éléments chimiques dans la source d'Elkhanga comparées avec les éléments chimiques de quelques forages et puits (données 2022).....	57
Figure 31 : (a,b) : Variation des concentrations des éléments chimiques dans la source d'Elkhanga comparées avec les éléments chimiques de quelques forages et puits	58

Liste des tableaux

Chapitre 03 : Caractéristiques hydroclimatologique De la zone d'étude

Tableau 01 : L'indice d'aridité annuelle D. Martonne.....	19
Tableau 02: Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2018). (in. Debbez M 2019).....	21
Tableau 03 : Bilan hydrique du l'année la plus sèche (2000-2001).(données in.Boutera M 2012).....	28
Tableau 04 : Bilan hydrique de la période de 21 ans (1997/1998-2017/2018).....	29

Chapitre 06 : Qualité hydrochimique des eaux de la source d'Elkhanga et son évolution.

Tableau 05 : Données chimiques de forage BEK3.....	52
Tableau 06: Données chimiques de forage FA7.....	52



Introduction générale



Introduction générale

L'eau est une ressource naturelle très précieuse. Actuellement, la demande des eaux douces de bonne qualité est devenue considérables dans les différents secteurs d'usages à savoirs : domestiques, agricoles, industriels, urbains et de loisirs.

L'eau est essentielle non seulement pour la croissance agricole, industrielle et économique, mais aussi elle est l'élément le plus important de l'environnement, avec un impact important sur la santé et la conservation de la nature. Actuellement, l'extension des superficies irriguées et la croissance rapide de la population, ainsi que le développement industriel ont stressés les aspects quantitatifs et qualitatifs du système naturel.

Comme dans toutes les régions de l'Afrique du Nord, notamment du Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie), la région du grand bassin de Mellègue a connu au cours de ce dernier siècle une sécheresse prolongée et très intense et persistante.

Cette sécheresse, caractérisée par un déficit pluviométrique considérable, a eu un impact très négatif sur les régimes d'écoulement des Oueds et des sources, et par conséquent sur l'alimentation des nappes aquifères. Ce déficit hydro-pluviométrique s'est répercuté sur l'ensemble des activités socio-économiques de cette région surtout sur son développement agricole autant qu'elle est la vocation principale.

Devant la gravité de cette situation qui intervient dans une période où les besoins en eau pour les différents usages sont considérablement accrus, nous avons pris ce travail d'étude afin de définir les conditions hydrogéologiques l'émergence de la source de Bekkaria dite Ain El Khanga et étudier les causes de son tarissement.

Dans cette étude nous allons essayer de faire une étude hydrogéologique actualisée de la source EL KHANGA _BEKKARIA (w. Tébessa)

Dans le cadre de présentatif de l'étude, la méthodologie adoptée se présente en trois grands chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons dans un cadre général : la situation géographique, le réseau hydrographique, et l'activité économique
- Dans le deuxième chapitre : concerne la géologie de l'ensemble de la région, la description lithologique avec une aperçue tectonique.

- Dans le troisième chapitre : concerne l'hydro climatologie qui entraîne des observations et des relevés d'un maximum de paramètres possibles telle que la température, les précipitations.
- Le quatrième chapitre concerne l'hydrogéologie et les conditions d'émergence de la source et de la région la plus proche de la source (Houidjbet).
- Dans le cinquième chapitre on à étudier le chimisme du l'eau de la source El Khanga.
- Finalement, nous donnerons une conclusion générale de cet essai d'étude dans laquelle ;

- D'une part, nous remettrons en évidence les synthèses trouvées ;

- D'autre part nous soulèverons les difficultés rencontrés en suggérant, dans le cas d'une étude approfondie, un plan de travail complémentaire.

Méthodes d'étude et Matériels

Pour atteindre les objectifs tracés dans cet étude, nous avons adopté un programme d'analyse et étude qui consiste à réaliser les points suivants :

A/ Etude de débit d'écoulement de la source de Bekkaria dite Elkhanga et son variabilité dans le temps pendant la période Hautes Eaux de cette année hydrologique 2021/2022 :

Un suivi hebdomadaire et mensuel de débit d'écoulement de la source au niveau de la fontaine captée a été réalisé sur terrain. Il faut noter que la source au niveau de la rigole et l'oued a été taris complètement et reste seulement un certain débit de très faible quantité qui s'écoule au niveau de la fontaine.

Vu ces contraintes d'acquisitions des données brutes au niveau de la zone d'étude, nous avons suivi le débit pendant trois mois allant du mois de Février jusqu'au moins d'Avril 2022 ; et nous avons pris quelques données historiques des études hydrogéologiques antérieures [SEGHIR,K. 1997] pour comparer les résultats et arriver à une compréhension claire des conditions de tarissement de cette source.

B/Etude de l'évolution et la variabilité des caractéristiques chimiques des eaux de la source de Bekkaria et les eaux de la nappe de miocène de la plaine de Houdjbet :

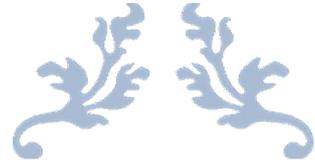
Pour atteindre cet objectif, nous avons essayé de faire quelques analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de la source et les eaux de la nappe selon la disponibilité des moyens et des réactifs au niveau du laboratoire de département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université Larbi Tébessi-Tébessa.

De même, vu le nombre limité des analyses réalisées, nous avons fait recours aux données historiques et des données des forages réalisés récemment.

C/Etude des conditions hydrogéologiques d'émergence de la source de Bekkaria : pour avoir des informations plus précises sur la relation profonde entre la nappe de miocène de la région de Houdjbet et la source d'Elkhanga (col de Bekkaria) et voir les conditions d'alimentations entre ces deux systèmes hydrogéologiques différents, nous avons fait recours aux données des forages implantés dans la plaine de Houdjbet et établir une carte piézométrique relative à cette période comparée avec des cartes piézométriques trouvées dans des études antérieures. Cette comparaison, consiste à déceler la relation naturelle et les propriétés hydrodynamiques et piézométriques entre la source et la nappe.

Résultats et discussion

Présentation de la région d'étude



Situation Géographique



I. Situation Géographique

La source de Bekkaria, connue sous le nom Ain El Khanga, est située à la zone limitrophe ; précisément à la ligne de partage des eaux, de deux grands sous bassins versant voisins

(Fig. 1):

- Le sous bassin versant de Tébessa.
- Le sous bassin versant d'El Malabiod.

Considérée comme exutoire Nord de la nappe alluviale du bassin d'El Malabiod, la source de Bekkaria se localise à mi-chemin de la route nationale N°10 liant Tébessa-Bouchebka, à 20 km de la ville de Tébessa, elle prend naissance, en amont à Ain Dokkara de la colline de Hadjra sefra, et s'allonge, en aval, sur un petit cours d'eau de 2000 m de distance pour atteindre le col de Djbel Bekkaria - Djbel Sif Bouroumane (Fig. 2).

Elle a les coordonnées Lambert :

X = 1005,15 km Y = 241.73 Km. Z = 1033m.

De point de vue usage, les eaux de la source sont captées par un long canal très étroit, en forme de rigole, de 0.50 m de largeur, pour irriguer en aval les petits champs et parcelles maraîchères de la commune de Bekkaria situé dans le sous bassin versant de Tébessa.

La zone juste limitrophe de la source en étude est nommée Elhouidjbet. Elle située au Sud-Est de la ville de Tébessa, elle se trouve sur les feuilles des cartes topographiques et géologiques des régions de : Tébessa (N°206),Elmalabiod (N°235) et Bouchebka (N°LXXXIII) à échelle 1/50000. Elle couvre une superficie de 222 Km²

De point de vue géomorphologique, la région d'étude se trouve dans les hauts plateaux et se limite :

Au Nord par Dj.Kechrid (1205m) et Dj.Bekkaria (1575m) ;

Au Sud par Dj.Ettaga (1345m), Dj.Ezaaba (1227m), et Dj.Chettabya (1311m) ;

A l'Est par le triangle frontalier d'Ain Bouderies juste derrière le poste frontalier de Bouchebka ;

A l'Ouest par Mechtatt Benmeriem, Dj.Edalaa (1308m) et Hadjra safra (1179m).

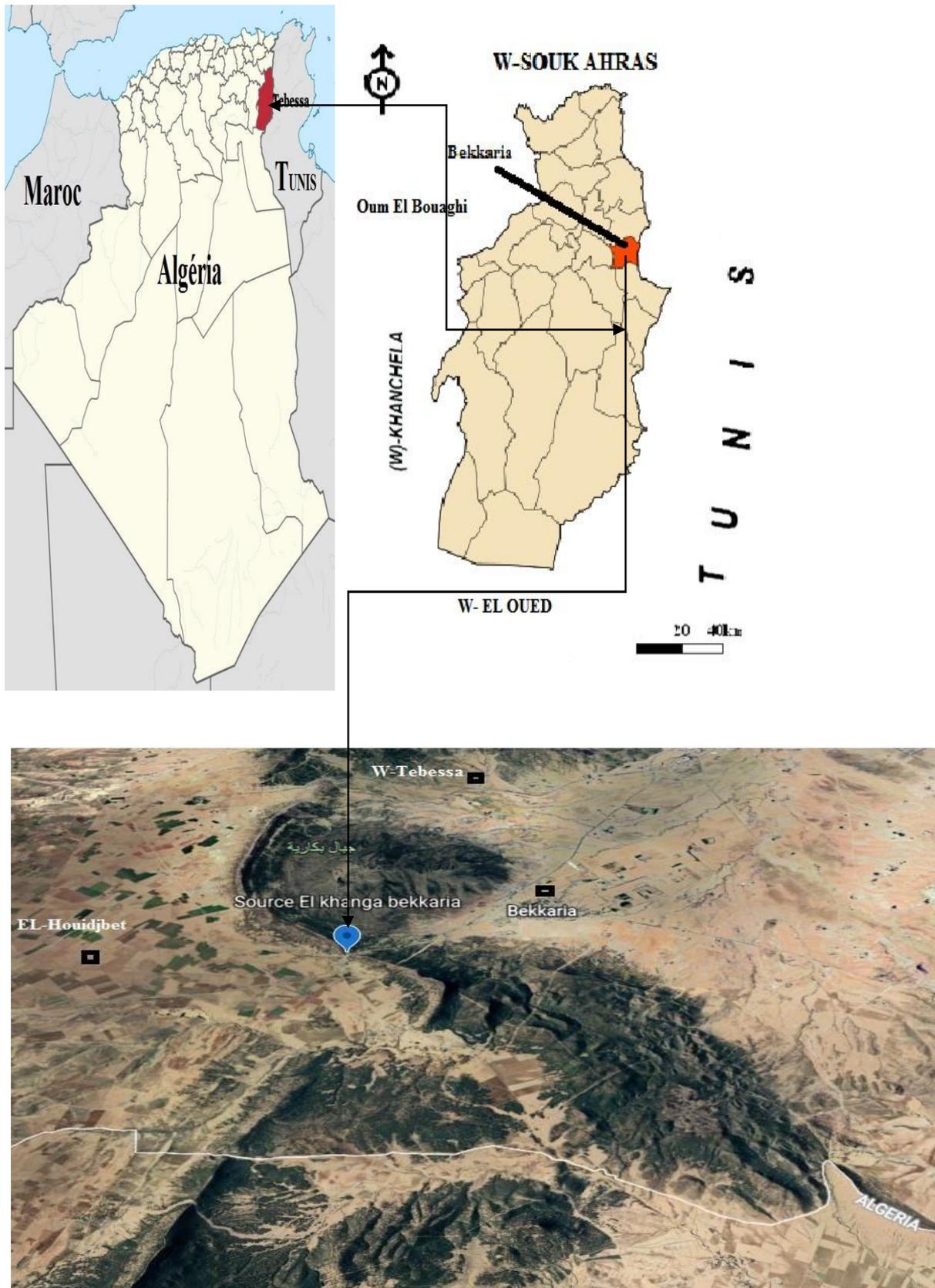


Figure 01 : Situation géographique de la zone d'étude

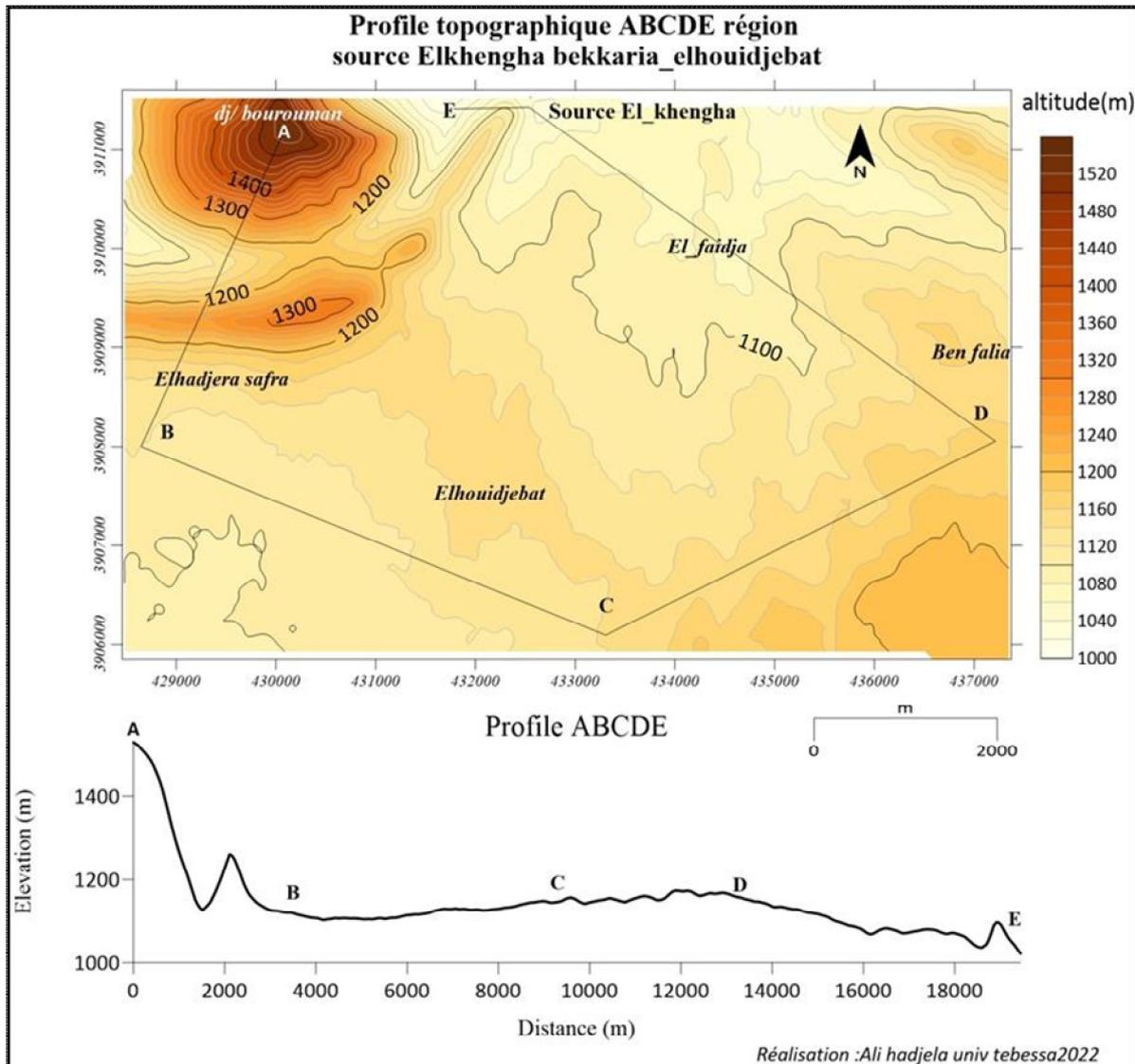


Figure 02 : Profil topographique de la source de Ain Bekkaria (dite El Khanga).

II. Le réseau hydrographique

Dans le cas de la source de Bekkaria dite Elkhanga, qui se situe dans la limite Sud-Est de deux bassins versants (Tébessa et ELma labiod), il est important de faire présenter des informations sur le réseau hydrographique des deux bassins versants. Cette présentation va nous aider de préciser le sens d'écoulement superficiel des eaux au niveau des oueds et la source en question.

Dans le bassin versant de la région de Tébessa le réseau hydrographique est très dense, toutes les eaux de surface du bassin versant encadrant la plaine sont collectées par les Oueds : Oued El Kebir, Oued Chabro ,Oued Serdies et Oued Ksob.

La plaine de Tébessa est drainée par l'Oued Kébir à écoulement vers le nord, est considéré Comme limite administrative pour plusieurs communes qui les traverse, il prend naissance à L'est de la plaine entre El-Kouif (rive nord) et Bekkaria (rive sud), au centre il traverse entre la Commune de Boulhef Eddir (rive nord) et les communes de Tébessa, Hammamet et Bir D'hab. (Rive sud). Le réseau est traversé par les grands Oueds : Oued Ksob, Oued Serdiess, Oued Bouakous, Oued Chabro. L'oued Bou Akous rejoint L'oued Ksob qui se jette dans oued Mellégue, lequel s'inscrit dans le grand bassin de Mejerda.

Alors que, dans le bassin versant de la région de Houidjbet/ Elmalabiod, le réseau hydrographique est considéré comme moins dense, le sens d'écoulement des eaux superficielles est allant du Nord au Sud. Le bassin versant est drainé par un certain nombre des oueds (Elmalassouad, Ben dahoui, Essbaikia, Benfalia,Elksob,Djebissa,Reith). En général, la morphologie du sous bassin d'ElHouidjbet-Bouchebka est constitué d'un plateau (cuvette perchée) dont l'altitude moyenne égale 1150m.

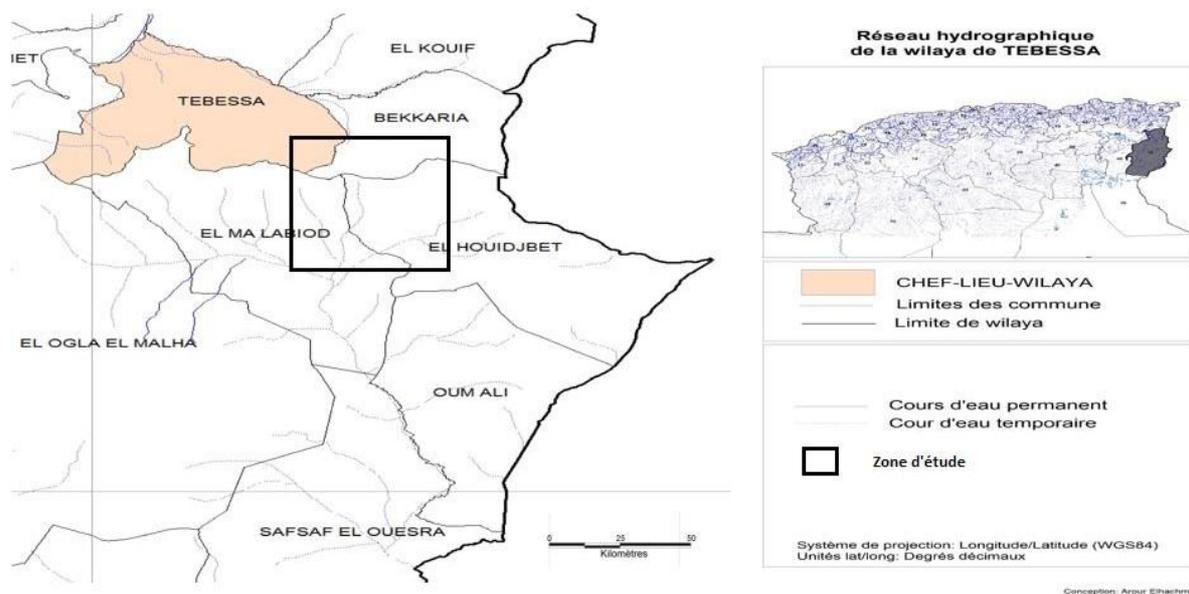
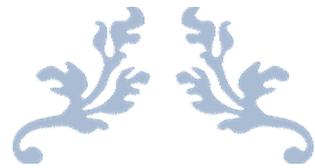


Figure 03 : le réseau hydrographique de Tébessa DHW, Tébessa)

III. Couverture végétale

Concernant le couvert végétal, la plaine de Tébessa qui appartient au sous bassin versant de Medjerda est caractérisée par une couverture végétale, caractéristique de l'étage bioclimatique dont elle appartient, les montagnes et les piedmonts en bordure de la plaine sont occupés par la ceinture verte réalisée dans le cadre du barrage vert au années 70, à dominance pin d'Alep,

suivi par des terres de parcours dans les zones caillouteuses; l'intérieur dans les terres plates et accessibles pour les machines agricoles c'est la céréaliculture qui domina.



Géologie de la zone d'étude



I. Introduction

Pour bien définir les conditions géologiques de la source de Bekkaria « Ain El Khanga », il est nécessaire en premier lieu de donner un aperçu géologique général de l'ensemble de la région limitrophe.

La recherche bibliographique effectuée par nous-même a permis de montrer, à partir des anciens travaux d'exploration géologique, notamment de deux auteurs G. DUROZOY 1956, et J.M Villa 1994, que la région d'étude fait partie de la structure sédimentaire autochtone Nord aurésiennes (Aurès - Nememcha) de l'Atlas Saharien.

Elle est constituée essentiellement par

- Une formation carbonatées de très importantes couches de calcaires, de calcaire marneuse et de marnes d'âge crétacé): occupant la ligne de relief ;
- Un important dépôt alluvionnaire Mio-plio-Quaternaire qui repose au niveau de la plaine et aux pieds des versants, en discordance sur l'ensemble des formations antérieures (Fig.1);
- Une formation triasique en forme de diapirs disloquant les formations précédentes au niveau du Dj.Djebissa.

D'importants plissements ont affecté les formations carbonatées du Crétacé, en donnant une structure synclinale à la zone d'étude.

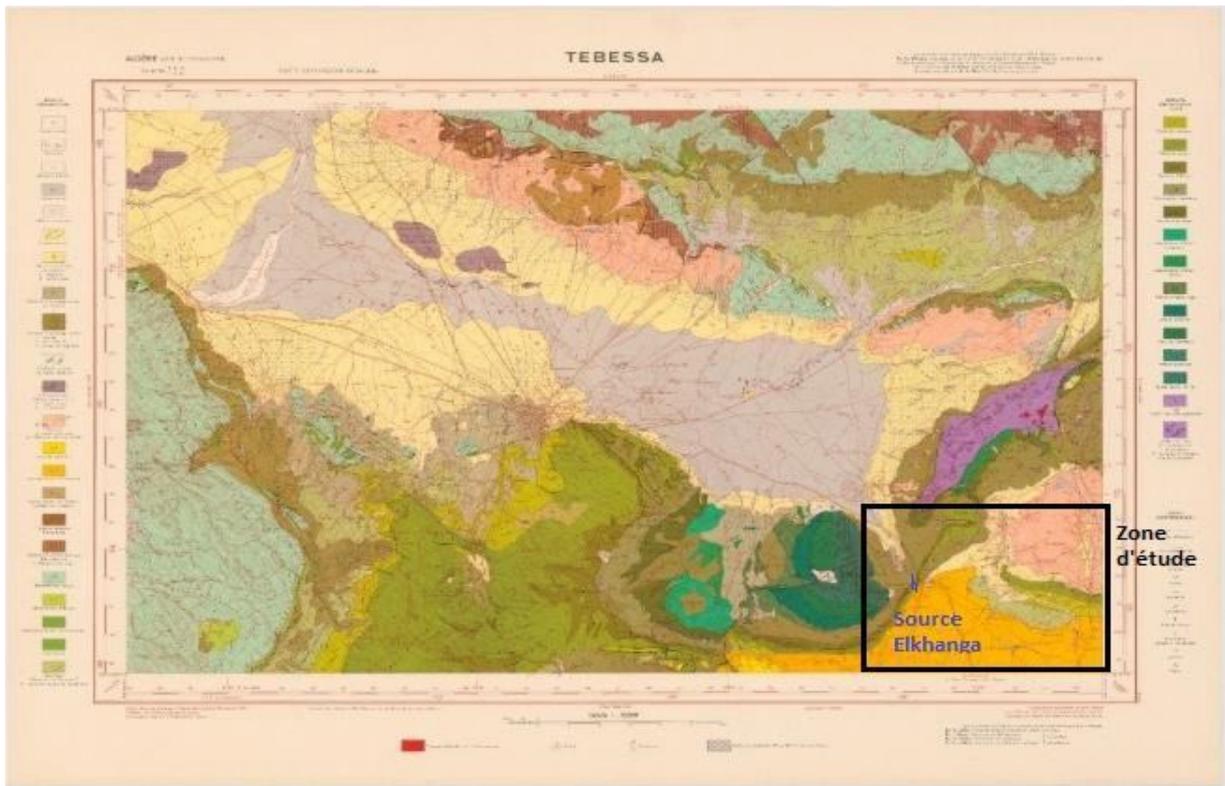


Figure 04 : Carte géologique de la région de Tébessa (N°206)1 :50000

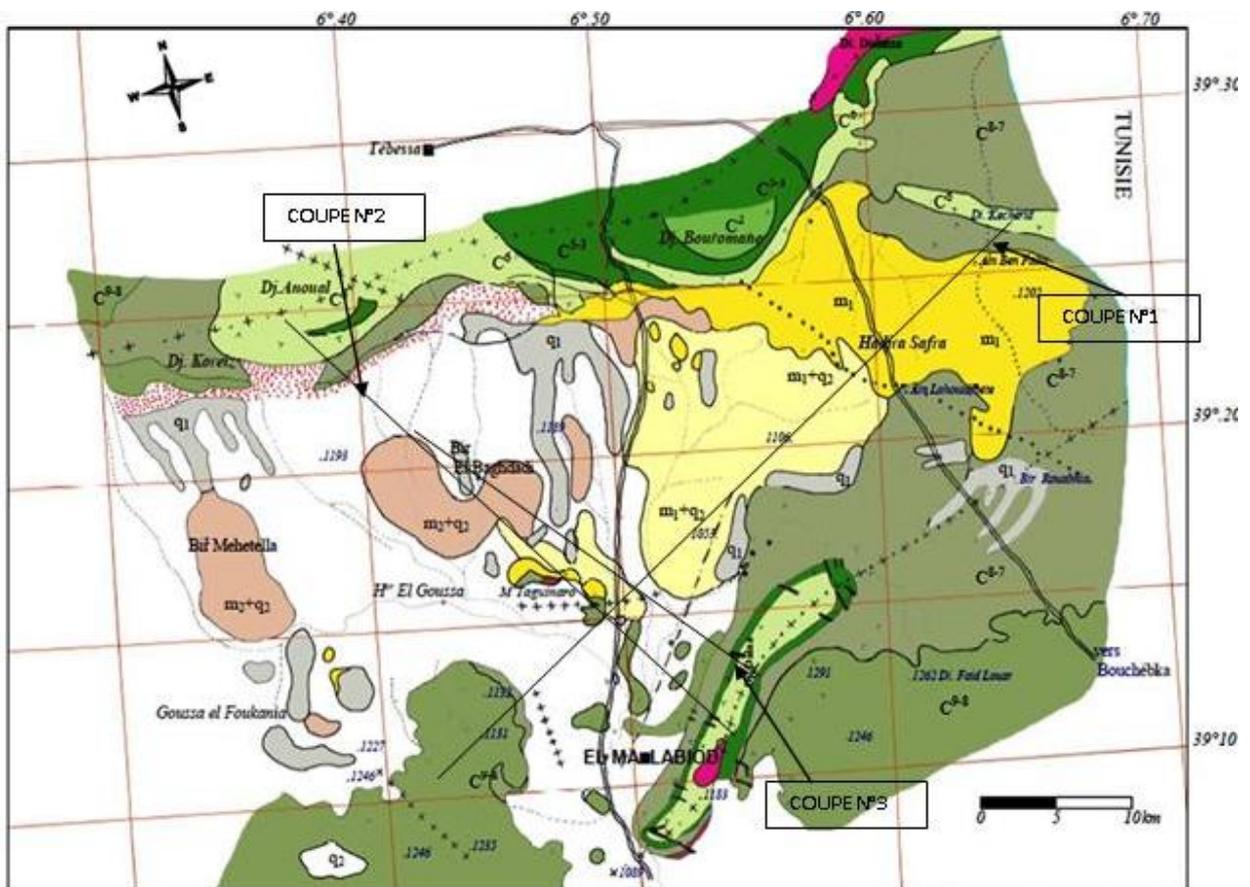


Figure 04 : Carte géologique de la région Elmalabiod (Esquisse géologique)

II. DESCRIPTION LITHO-STRATIGRAPHIQUE

De plus anciens vers le plus récent, la série stratigraphique peut être écrite comme suite (Figure03).

II.1. LE TRIAS :

Il occupe surtout le centre du Djebel Djebissa, ses affleurements médiocres montrent qu'il est composé essentiellement d'une série argilo-marneuses bariolée et des gypses saccharoïdes également bariolés. Cette série plastique enrobe des assises calcaro- dolomitiques sombres, plus au moins, bien conservées.

Le Trias apparaît en contact anormal en forme de diapirs qui recoupe :

- Au sommet du Djebel Djebissa, les calcaires, les calcaires marneux et des marnes du crétacé inférieurs (Aptien, Albien et Cénomaniens);
- Aux pieds des versants : les assises sub-verticales du Plio-Quaternaire indiquant la continuité du diapirisme jusqu'à l'actuel;

CRETACE :

Les terrains du Crétacé affleurent largement dans la région surtout au niveau des lignes de reliefs. Les différentes unités litho stratigraphiques sont les suivantes :

Aptien Inférieur et Moyen :

Au flanc Est de Djebel Bouroumane, il affleure, sur une épaisseur de 400m, sous forme d'un ensemble de calcaires et de dolomies. La partie inférieure est presque entièrement dolomitique, avec la présence des orbitolines. Dans les intercalations de calcaires rognoneux, les rudistes sont parfois présents. Par ailleurs :

- L'Aptien Inférieur se caractérise par des alternances de marnes gris-foncées, compactes, saleuses et finement pyriteuses et calcaires gris-foncés, compacts, cryptocristallins, parfois argileux, L'épaisseur est de 140m, environs.
- L'Aptien Moyen se présente sous forme de calcaires gris clairs à gris brunâtres, durs compacts, bioclastiques et pseudo-oolithiques légèrement dolomitiques avec lignes passées d'argiles vertes, grises légèrement carbonatées, souvent feuilletées. Son épaisseur est de 255m.

Aptien Supérieur :

A Djebel Bouroumane, les affleurements de cet étage sont les calcaires massifs, gris ou roux avec des intercalations de quelque mètre de marnes et marno-calcaires. L'épaisseur

moyenne est de 70m. Ces calcaires sont généralement oolithiques, bioclastiques parfois crypto-cristallins rarement argileux avec quelques intercalations d'argiles grises, noirâtres, rarement silteuses et pyriteuses.

Albien Inférieur :

Cet étage se présente aussi à DjbelBououmane sous forme de bancs de calcaires bruns, épais, très durs à ostrcalatissima, et de bancs de calcaires à rudistes. Ces affleurements atteignent une épaisseur de 80m, environs.

II .2.4. Albien Supérieur :

Il s'agit de couches carbonatées de calcaires et marno-calcaires gris en plaquettes et en petits bancs formant le bas des pentes de DjbelBouroumane. Les empreintes d'ammonites et de bélemnites sont parfois fréquentes. L'épaisseur globale est de 150 m.

Cénomaniens :

Il affleure largement dans la partie Sud Sud-Est du bassin versant de Tébessa, C'est une série de 550m, environs, de marnes jaunes parfois grises et de bancs calcaires lumachelliques. La faune est très abondante (Östrea, exogyra. Cordia).

Turonien:

Il affleure largement à la ligne de relief de sifbouroumane - Djebel Bekkaria. Il est composé :

- A la base ; du Turonien Inferieur, qui se rencontre en une série constante de 60 à 70m de calcaires marneux gris en petits bancs ;

- Au-dessus : le Turonien moyen qui se présente en une assise massive de calcaires beiges et de dolomies ou de calcaires dolomitiques. Des rognons de silex apparaissent à sa partie supérieure ;

- Au sommet, le Turonien Supérieur qui affleure à proximité de la source de Bekkaria, sur une épaisseur de 150 m, sous une succession de couches composées de:

- Des marnes noires gypsifères ;
- Des marno-calcaires gris en plaquettes ;
- Des marnes noires souvent lumachelliques et rognonneuses.

Emscherien - Campanien Inférieur

Il s'agit de marnes et d'intercalations de bancs de calcaires lumachelliques. Ces faciès affleurent largement à Djebel Kecheride (Ain BenFaliat). Des affleurements de dimensions assez réduites sont à signaler à proximité de Tnoukla.

Campanien Supérieur et Maestrichtien :

Il affleure au centre de la plaine d'El Malabiod, au Djebel M'TaguiNaro. Il est caractérisé par des calcaires et marno-calcaires blancs à incérâmes. L'épaisseur est de 100m, environs.

TERTIARE :

Miocène :

La totalité de la plaine d'El Malabiod est dominée par des un remplissage alluvionnaire Miocénique, qui se repose, en discordance, sur tous les terrains antérieurs :

a. Miocene Inférieur Et Moven (Vindobonnien Et Burdigalien):

C'est une série gréseuse blanche parfois brune, ferrugineuse sous faible couverture alluviale. Les poudingues siliceux existent par endroits, souvent ferrugineux avec des intercalations de marnes jaunes ou vertes. A HadjraSefra, les niveaux supérieurs sont très durs et conglomératiques, l'épaisseur est variable de 45m à 180m d'après les forages d'exploitation d'eau potable.

b.Miocène Supérieur :

Cet étage est représenté par des marnes rouges continentales, quelquefois bariolées de gypse. L'épaisseur est de...

QUATERNAIRE :

La formation du Quartenaire recouvre largement la totalité de la plaine. L'épaisseur est très réduite ne dépassant pas les vingtaines de mètres. Il est constitué, en général, de faciès anciens (conglomérats, croûtes calcaires) et de faciès récents (Coulis, couches limoneuses).

		ETAGE	épaisseur moyenne (m)	NATURE DES TERRAINS
QUATERNAIRE	q ²			limons
	q ¹	alluvions anciennes		caillouteux en bordure argileux au centre
	q ^{II}	épandage ancien		argile et gravier
	q ^{III}	villa frachien	supérieur à 200	argile rouge et brune à gypse conglomérat
MIOCENE	p	pliocene	0-50	argile rouge sables quartzeux blocs calcaire
	m ³	pontien	100	marnes rouges et bariolées
	m ¹⁻²	vindabénien bundigalien	150-300	grès marnes gréseuses conglomérats
EOCENE	e ^{III}	eocène moyen	60	calcaire blanc à silex
E	ec	eocène inférieur maestrichtien supérieur (danien)	300	marnes noires et jaunâtre
	c ^{9b}	maestrichtien moyen	80-200	calcaire blanc massif à inocérames
C	c ^{9a}	maestrichien inférieur	30	marnes grise
	c ⁸	campanien	60-300	marne grise calcaire marneux crayeau blanc
A	c ⁷	éménérien (santénien + coniacien)	250	marne noires et vertes + les machelles
	c ^{6c}	turonien supérieur	150	marnes noires et marnocalcaires
T	c ^{6b}	turonien moyen	100	calcaire à rudistes calcaire dolomitique
	c ^{6a}	turonien inférieur	70	calcaire marneuse
	c ^{5b}	cénomannien supérieur	200	marnes jaunes + bancs de calcaire
R	c ^{5a}	cénomannien moyen	150	marnes jaunes et noires à gypse lumachelles
	c ²⁻³	albien vraconien	200-500	calcaire et marno-calcaires marnes calcaires brun
C	c ¹	zone de clansaye	100	calcaire massif grès
	c ^{II}	aptien	400-500	calcaire massif dolomie
TRIAS	t	trias		diapir argile brèche dolomie

Figure 05 : Résumé schématique de la géologie de la région d'étude.

III. APERCUS TECTONIQUE :

La structure tectonique de l'ensemble de l'Atlas Saharien a connu deux phases Orogéniques :

Première Phase : Elle s'est manifestée dès la fin du Crétacé Supérieur et atteint son paroxysme entre le lutétien Supérieur et le Miocène inférieur. Il s'agit bien de la phase Atlasique qui constitue, certainement, la phase principale de plissement dans la région d'étude. (D'après R. Laffite).

Les plissements de couverture sont de direction SW-NE, qui donnent les grands axes anticlinaux, la faille de Tnoukla et les failles de directions NW-SE orthogonales. Le diapirisme du Trias a commencé durant cette phase tectonique primordiale.

Deuxième Phase : Elle est postérieure aux plissements précédents, et responsable d'une tectonique cassante, marquée par des mouvements du socle. L.D.Visse considère, que les grands bassins délimités par les chaînes montagneuses anticlinales, étaient soumis, certainement, à des mouvements d'affaissement.

- **Style Tectonique et Conséquences Morphologiques :**

Dans la région d'étude on reconnaît deux directions structurales dominantes qui se manifestent dans les accidents tectoniques (plissement, flexures, allongements des bassins et cassures). Elles se reflètent dans la morphologie topographique et partiellement dans l'hydrographie. Les deux directions sont SW-NE et E-W les plis sont typiques de ceux reconnus généralement dans l'Atlas Saharien. Ils sont du type isopaque, donc leur provenance est du niveau structural moyen. Ils sont souvent serrés dressés à plans verticaux. Ce genre de plis traduit un fort raccourcissement de la couverture sédimentaire. Le socle étant plus rigide n'a pu être raccourci comme la couverture. Il s'agit donc d'une tectonique de couverture.

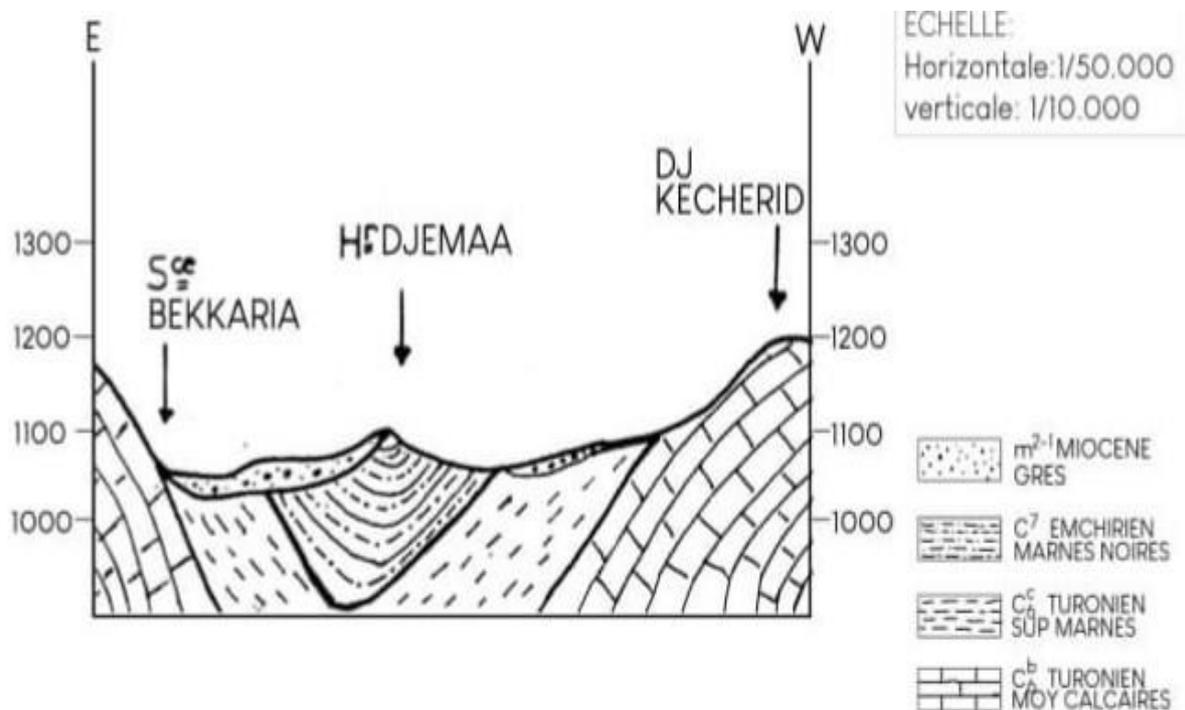


Figure 06: coupe géologique de direction E-W.



**Caractéristiques
hydroclimatologique
De la zone d'étude**



I. Introduction

L'étude des caractéristiques hydroclimatologique de l'ensemble d'un bassin versant en particulier la zone d'étude, joue un rôle important dans la reconnaissance du comportement hydrologique des cours d'eau ; les précipitations et les températures, sont les facteurs les plus importants dans l'identification du régime d'écoulement ; elles conditionnent soit la sécheresse, soit l'humidification du milieu. Concernant le secteur d'étude, l'approche hydro-climatique générale sera donnée à partir des différentes données recueillies au niveau des stations climatiques de la région de Tébessa, Elma labiod et el khanga (Bekkaria) en se basant sur des données historiques.

II. Le type de climat de la région d'étude

Indice d'aridité annuelle :

L'indice d'aridité est une formule climatologique proposé par (**De Martonne, 1923**) pour déterminer le type de climat. Définit par la formule et la classification suivantes :

$$I = P / (T + 10) \text{ où :}$$

I : indice d'aridité annuelle De. Martonne.

P : précipitations annuelles moyennes (mm)

T : températures annuelles moyennes (c°)

Dans le cas de la station de Tébessa $I = 14.8$; tel que $P = 394.98$ mm et $T = 16.6$ °C.

Selon de Martonne :

$I < 5$: climat hyperaride.

$5 < I < 7,5$: climat désertique.

$7,5 < I < 10$: climat steppique.

$10 < I < 20$: climat semi-aride.

$20 < I < 30$: climat tempère.

Tableau 01 : L'indice d'aridité annuelle D. Martonne

Station	P (mm)	T (°C)	I	Type du climat
Tébessa	394,98	16.6	14.8	Semi-aride

D'après le calcul de l'indice d'aridité (I) égale 14.8, La région de Tébessa correspondant a un climat **Semi-aride**.

MOIS	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
P (mm)	46,4	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	34.68	37,68	47,36	26,15	15 ,94	28,56

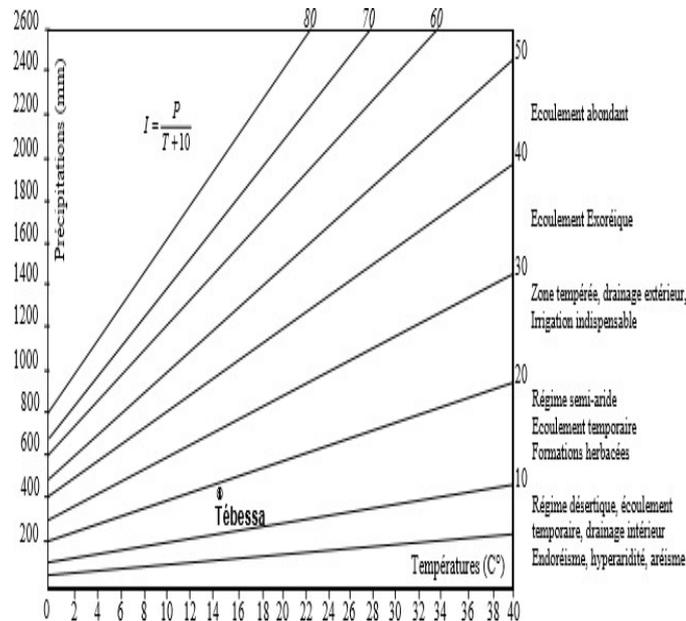


Figure 07 : Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de DE. Martone 1923. (in. Debbeez M 2019).

III. Etude des facteurs climatiques

Précipitations

La pluie est un facteur climatique très important conditionnant le régime d'écoulement des cours d'eaux, et influençant directement sur les réserves des nappes aquifères.

En se basant sur les données recueillies à la station de Tébessa durant vingt et un ans allant de 1997-2018 les valeurs moyennes mensuelles des précipitations sont représentées sur le tableau suivant :

Tableau 2: Précipitations moyenne mensuelles en (mm) de Tébessa sur la période de 21 ans (1997/1998-2017/2018) (in. Debbeez M 2019).

Les variations pluviométriques des mois (septembre –Aout) de la station de Tébessa indiquent que la valeur maximale est marquée dans le mois de Mai avec une moyenne de 47.36 et une valeur minimale pour le mois de juillet avec une moyenne de 15.94.

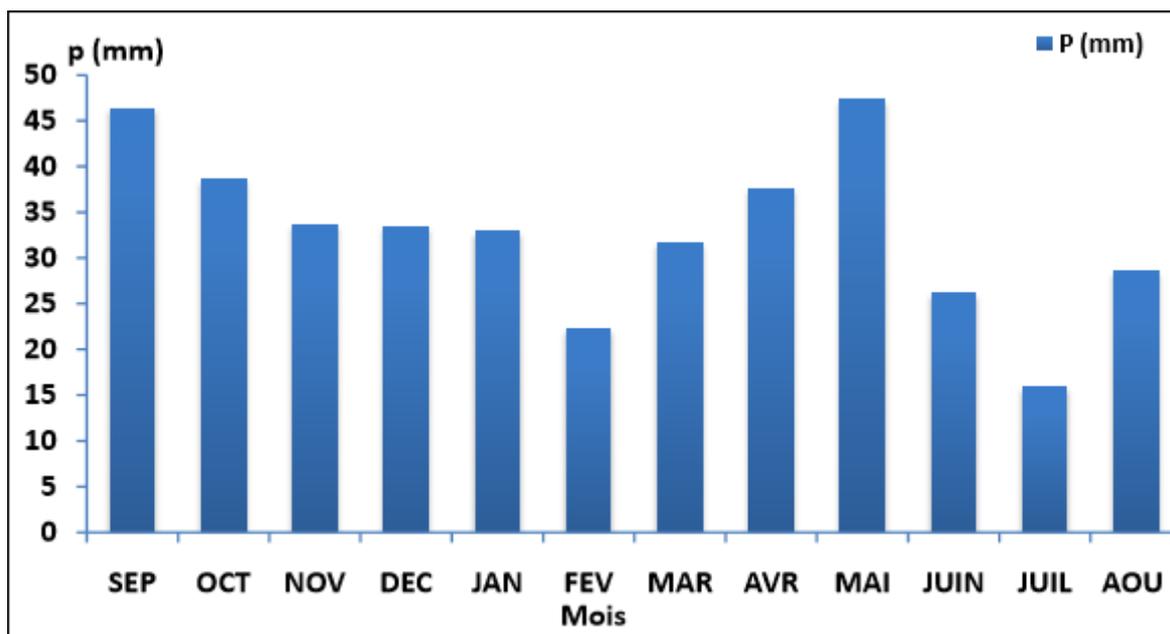


Figure 08: Variation des précipitations moyennes mensuelles (station de Tébessa 1997-2018).

Précipitation moyenne annuelle :

L'étude des précipitations inter-annuelles dans notre région montre une grande variation dans le temps à l'échelle (1997-2018) présentées dans le tableau suivant :

Tableau 02: Précipitations moyennes interannuelles (station de Tébessa 1997-2018). (in. Debbez M 2019).

Station	Minimum	Année d'observation	Maximum	Année d'observation	P Moy(mm)
Tébessa	149,1 MM	00/2001	650.44 MM	2003/2004	394,98 MM

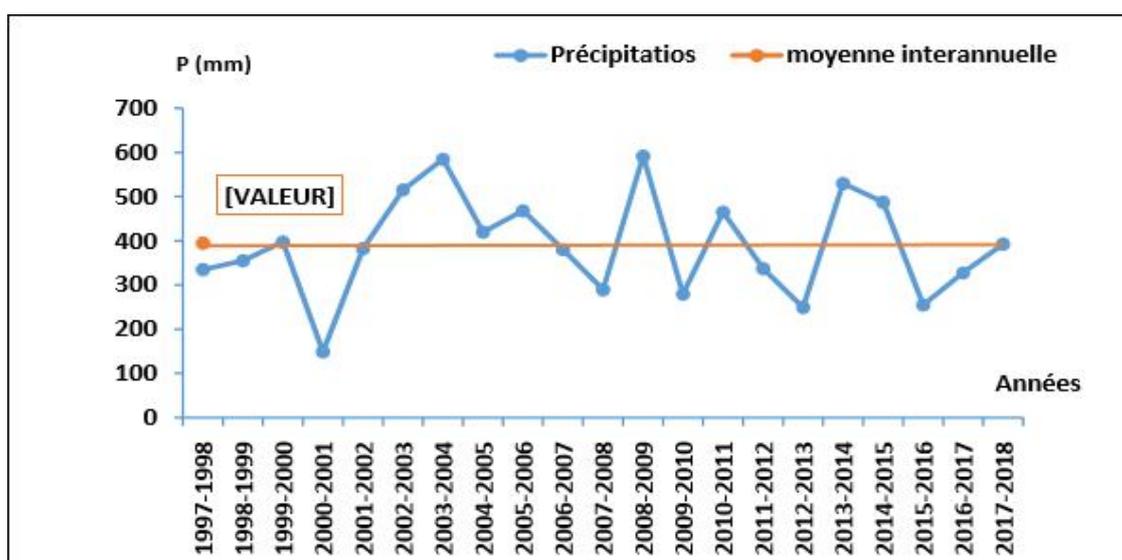


Figure 09: variation des Précipitations inter-annuelle à la Station de Tébessa (1997-2018). (in. Debbez M 2019).

Répartition saisonnière des précipitations :

Les précipitations saisonnières correspondant aux quatre saisons de l'année :

- Hiver : Décembre, Janvier, Février.
- Printemps : Mars, Avril, Mai.
- Eté : Juin, Juillet, Août.
- Automne : Septembre, Octobre, Novembre.

Le but de ces détails c'est de visualiser les saisons pour lesquelles les sources reçoivent des entrées efficaces.

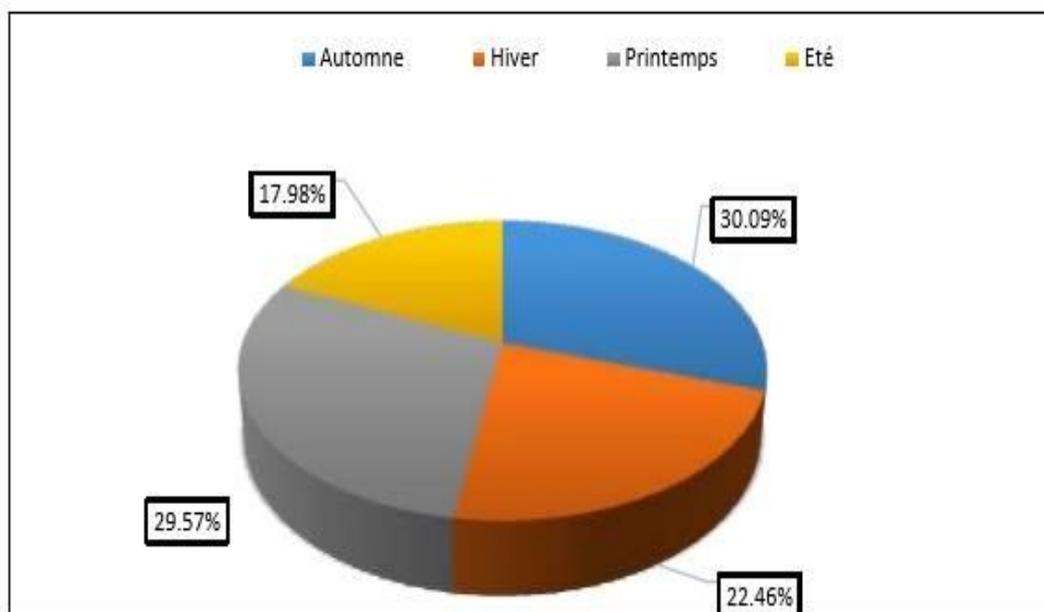


Figure 10 : Répartition saisonnière des précipitations dans la station de Tébessa (1997-2018).(in. Debbez M 2019).

Le diagramme montre une forte précipitation saisonnière enregistrée pendant l'automne avec une valeur 39.61mm qui représente 30.09%, Une faible précipitation saisonnière est enregistrée pendant l'été avec une valeur 23.55mm qui représente 17.98%

Température

La température demeure le paramètre le plus déterminant dans la caractérisation du climat. Qui joue un rôle déterminant pour le bilan hydrique nous avons pris les données de température de la station de Tébessa pour la période d'étude 1997_2018 Température moyenne mensuelle (1997/1998-2017/2018) :

Les variations des Températures moyennes mensuelles de la station de Tébessa 1997-2018 sont enregistrées dans le graphe suivant :

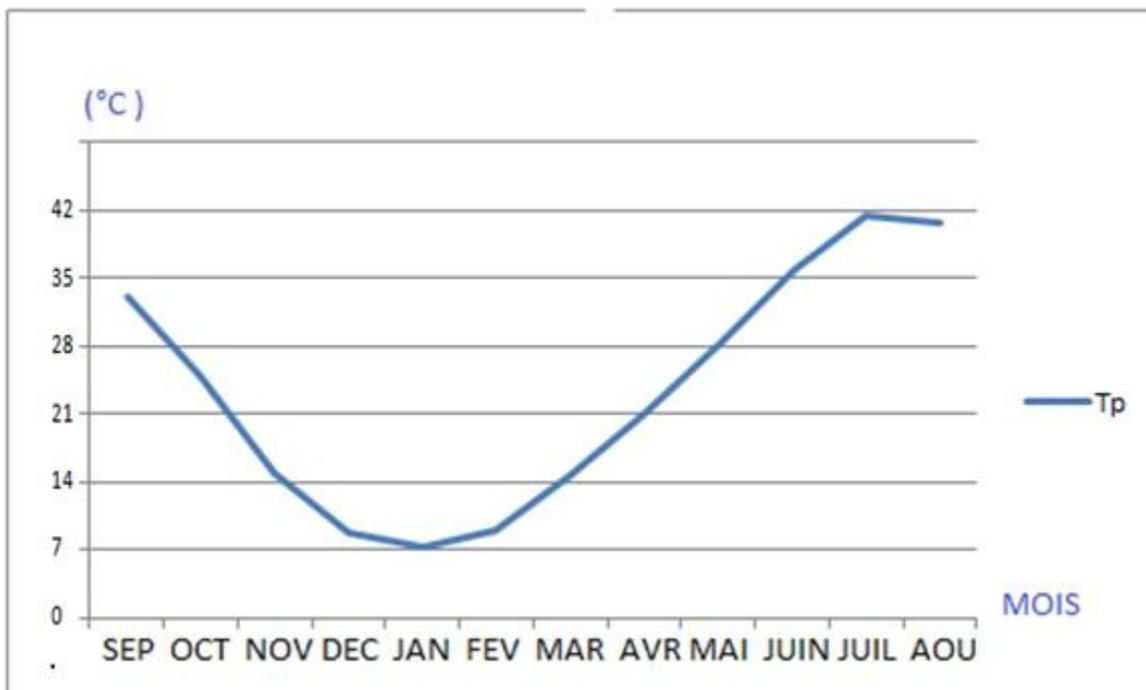


Figure 11: variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2017/2018). (In. Site web Nasa).

Le graphe indique que :

- Le mois le plus froid est le mois Janvier avec une température minimale atteint une valeur de 7.22°C.
- Le mois le plus chaud est celui de Juillet avec une température maximale atteint une valeur de 41.7°C.
- La température moyenne annuelle de cette période est de 16.6°C.

Diagramme pluvio-thermique :

Le diagramme Ombro-Thermique est établi en portant les précipitations et les températures en fonction des mois de l'année Selon (Bagnouls et Gaussen, 1953, 1957) ; le mois le plus sec est celui où le total moyen des précipitations est inférieur ou égal au double de la température moyenne.

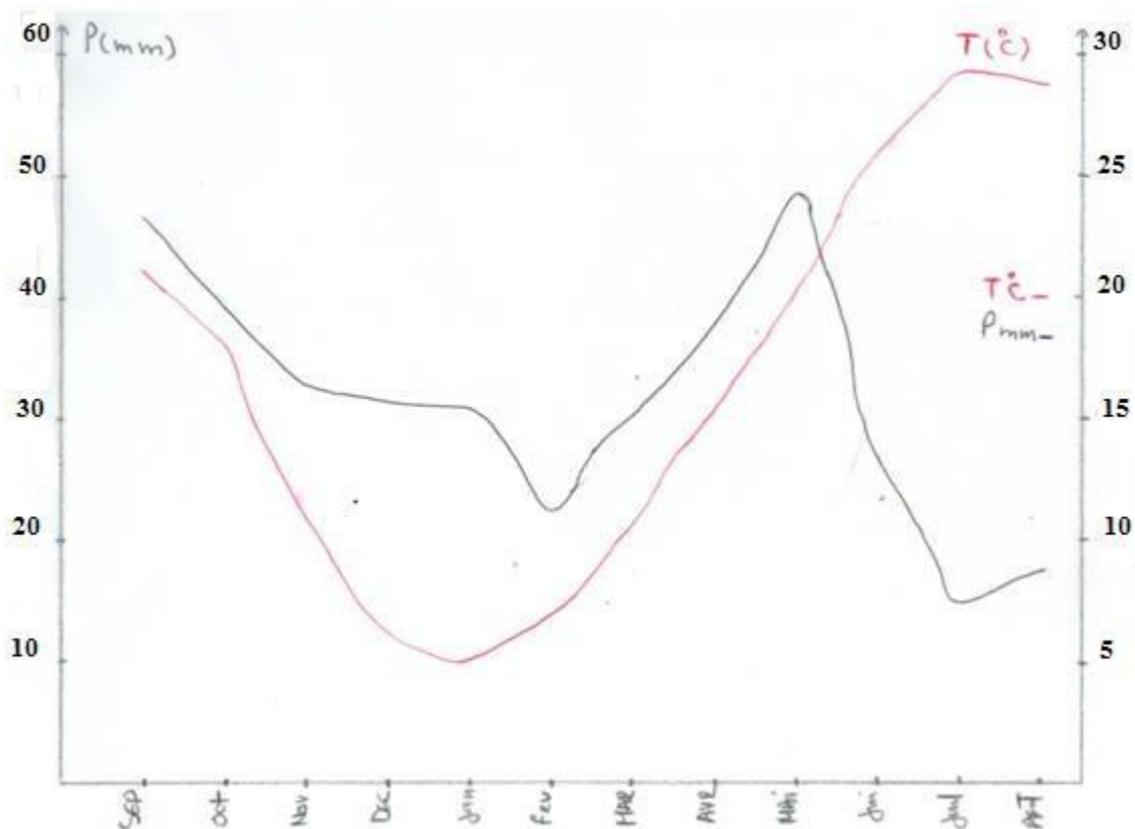


Figure 12: diagramme Ombro-Thermique station de Tébéssa (1997/1998-2017/2018).

L'établissement de diagramme pluvio-thermique pour la station de Tébéssa mentionné dans la figure 6, met en évidence deux périodes bien distincts :

- La Période de sécheresse s'étale du mois Mai jusqu'au mois d'juillet.
- La période humide s'étale du mois de novembre jusqu'au mois de Mai.

IV. La neige

Les sommets de la bordure sud du bassin versant de Tébéssa sont enneigés en ligne droite Est-ouest depuis le djebel Dokkane, Mestiri et Tazbent, Bouroumane, Dj.Bekkaria et leurs prolongements. Ces précipitations neigeuses peuvent être parfois importantes. Ce phénomène a un rôle important si l'on considère la superficie des montagnes bordant la zone d'étude. Les précipitations neigeuses suivies par une lente fonte favorisant aux débits des exurgences (sources) bordant le sous bassin sont fortement influencés.

V. Le vent

Les vents sont caractérisés par leur vitesse et leur intensité. Les vents prédominants sont de direction Ouest Nord – Nord-Ouest et jouent un rôle important dans les précipitations en hiver. Les vents du Nord-Ouest sont souvent secs et froids. En été les vents du Sud sont

fréquents (le sirocco) qui peuvent être chaud et sec d'où l'augmentation de l'évaporation, et une sécheresse qui diminue l'humidité et augmente le déficit d'écoulement.

VI. Bilan hydrique

Le bilan hydrique exprime le processus que peut suivre une quantité d'eau arrivant au sol par précipitation avant de retourner à l'atmosphère. Il permet le calcul de la répartition des précipitations reçues par la surface du sol (Castany G. 1968). Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que cette réserve d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de l'ordre de 100 mm en moyenne (Laborde, 2000).

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

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

ETR : l'évapotranspiration annuelle (mm).

I : infiltration.

P : précipitation (mm).

R : ruissellement.

Etude de l'évapotranspiration

L'évaporation représente le processus au cours duquel l'eau se transforme en vapeur. L'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration est connu sous le nom d'évapotranspiration. Cette dernière est l'une des composantes fondamentales du cycle hydrologique. Les facteurs qui conditionnent l'évapotranspiration sont nombreux et mal connus on en citera quelques-uns, à savoir les facteurs climatiques :

- La température de l'air. - La vitesse et turbulence du vent. - Le degré d'insolation. - L'humidité relative de l'air. - Les facteurs géographiques. - L'état de la surface évaporant du sol.

Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Défini comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants. Pour estimer ce facteur climatique nous avons utilisé la méthode de THORANTWAITE :

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

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm

T : Température moyenne mensuelle en °C.

K : Coefficient d'ajustement.

a : indice lié à la température.

$$a = (1.6/100). I + 0.5$$

I: indice thermique annuel.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_i = (T/5) 1.514$$

Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Définir par la somme des quantités de vapeur d'eau évaporées par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes à un stade de développement physiologique et sanitaire réel. Pour estimer ce facteur climatique nous avons utilisé les deux méthodes **Turc** et **Thornthwaite**.

A. Formule de Turc :

Cette formule permet d'évaluer directement l'ETR annuelle d'un bassin à partir de la hauteur annuelle de pluie et de la température moyenne annuelle.

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

$$L = 300 + 25T + 0.05 T \text{ (Facteur qui tient compte des échanges de chaleur).}$$

B. Formule de Thornthwaite :

Pour l'établissement du bilan mensuel on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne par la méthode de C.W. Thornthwaite.

Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

$$\text{Si : } P - ETP > 0 ; \text{ c'est-à-dire } P > ETP \Rightarrow ETR = ETP$$

Si : $P - ETP < 0$; c'est-à-dire $P < ETP$; ce cas est subdivisé en deux cas :

$$\text{.Si : } P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP.$$

$$\text{. Si : } P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU.$$

Ruissellement (R) :

Le ruissellement est donné par la formule empirique de TIXERONT BERKALOFF qui s'appliquerait beaucoup plus aux grands bassins hydrologiques en climat semi-aride à aride. Cette formule est basée sur la relation :

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

Avec :

R : Ruissellement en m.

P : Précipitation moyenne mensuelle en m.

ETP : L'évapotranspiration.

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude sont inférieures à 600 mm, la formule utilisée est celle de **TixerontBerkalof** modifiée par **Romant chouk (1974)**.

La lame d'eau ruisselée des précipitations de la station de Tébessa est comme suivie :

$$P = 0.3599 \text{ m}, ETP = 1.18231 \text{ m}, R = 0.111 \text{ m (Période 1997/1998-2017/2018)}.$$

L'infiltration(I) :

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 connus. Selon la méthode de Thornthwaite :

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

Selon la méthode rationnelle :

$$P = ETR+R+I \text{ Avec :}$$

I : L'infiltration (mm).

Si $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.

Si $I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

Réserves facilement utilisables (R.F.U) :

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle. - La profondeur du niveau piézométrique de la nappe aquifère. - Le climat de la région. - Le type de la couverture végétale. Donnée par la formule de (**J. Richard 1979**) :

$$RFU = 1/3(Da. He .P) \text{ Où:}$$

R.F.U : Réserve facilement utilisable.

Da : Densité apparente du sol.

He : Profondeur de la couche de la terre par courrier par les racines en (mm).

Estimation du bilan hydrologique selon la méthode de C.W.Thornthwaite :

Pour établir un bilan hydrique mensuel on base sur les données d'évapotranspiration potentielle (ETP) et évapotranspiration réelle (ETR) moyenne et les précipitations (P). La quantité d'eau stockée dans la RFU sont bornées par 0 (la RFU vide) et RFU max (capacité maximale de la RFU qui est de l'ordre de 0 à 200 mm suivant les sols et sous-sols considérés, avec une moyenne de l'ordre de 100 mm). On admet que la satisfaction de l'Etp a la priorité Sur l'écoulement, c'est-à-dire qu'avant qu'il n'y ait d'écoulement, il faut avoir satisfait le pouvoir évaporant (Etp = Etr). Par ailleurs, la complétion de la RFU est également prioritaire Sur l'écoulement (**J.P. Laborde, 2000**).

Résultats de calculs du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :

Tableau 3 : Bilan hydrique du l'année la plus sèche (2000-2001).(données in.Bouterraa M2012).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
P (mm)	55	18,3	17	14	27,1	15,8	15,1	2.7	49,3	2,4	7,6	1,4	225,7
T	22.1	15.9	12.8	9.4	8	7.5	15.6	14	19.6	25	28.4	27.1	205.4
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	12.35
ETP	99,1	51,3	30,7	16,5	13,2	11,5	52,6	46.2	93,6	146,9	188,3	161,7	911,5
ETR	55	18,3	17	14	13,2	11,5	33,3	2.7	49,3	2,4	7,6	1,4	225,7
RFU	0	0	0	0	13,9	18,2	0	0	0	0	0	0	32,1
DEF	44,1	33	13,7	2,5	0	0	19,3	5	44,3	4,5	180,7	0,3	685,8
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Vérification du bilan :

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EX \quad 225.7 = 225.7 + 0.$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA \quad 911.5 = 225 + 685.8.$$

Tableau 4 : Bilan hydrique de la période de 21 ans (1997/1998-2017/2018)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	12.35
T(C)	23.6	17.8	10.6	6.2	5.22	6.4	10.5	15.04	20.2	25.6	29.7	29.1	199.96
I	10.5	6.8	3.1	1.4	1.1	1.4	3.1	5.3	8.3	11.8	14.8	14.4	82
P	46,4	38,64	33,75	33,49	32,94	22,28	31,75	37,68	47,36	26,15	15,94	28,56	394.98
ETP	110.5	62.6	21.8	7.8	6.2	8.7	25.7	52.4	98.1	151.5	201.2	181.4	927.9
ETR	46.4	38.64	21.8	7.8	6.2	8.7	25.7	52.4	61.64	26.15	15.94	28.56	339.93
RFU	0	0	12.01	29	29	29	29	14.28	0	0	0	0	142.29
DA	64.1	23.96	0	0	0	0	0	0	36.46	125.35	185.26	152.84	587.97
EXC	0	0	0	8.7	26.74	13.58	6.05	0	0	0	0	0	55.05

Vérification du bilan hydrique :

$$\Sigma P = \Sigma ETR + \Sigma EX \quad 339.93 + 55.05 = 394.98.$$

$$\Sigma ETP = \Sigma ETR + \Sigma DA \quad 339.93 + 587.97 = 927.9.$$

Interprétation des résultats du bilan hydrique (1997-1998/2017-2018) :

L'établissement du bilan hydrique a pour but de comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface.

D'après le bilan établit on a pu tirer les quelques conclusions qui suivent :

-Les hauteurs de précipitation atteignent leur maximum au mois de Mai (47.36mm) où l'ETP atteint en Janvier un minimum (6.2 mm)

-L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (201.2 mm) où les précipitations atteignent (15.4 mm).

-Le déficit agricole coïncide avec la période sèche de l'année ; marqué durant les mois Septembre et Octobre ; et à partir du mois Mai jusqu'à le mois d'Août avec une valeur totale de 587.97 mm, l'excédent est estimé par une valeur totale de 55.05mm.

- les réserves sont saturées au mois de décembre, Janvier, Février et Mars les demandes pour l'irrigation sont satisfaisantes.

Le bilan hydrique est déficitaire, c'est-à-dire que les précipitations qui tombent finiront par retourner à l'atmosphère sous forme d'évapotranspiration, induisant un déficit agricole important.

VI. Etude climatologique de la station d'el Ma el abiod :

Caractéristiques hydro climatique :

Le bassin d'ELAbiod se situe au nord-est de territoire algérien, se localisant à mi-chemin entre la méditerranée et le début du domaine saharien ce qui caractérisant par un régime semi-aride, peu pluvieux en hiver et très chaud et sec en été avec des vents parfois violents.

VI.1Réseau hydro climatique:

L'étude des paramètres hydroclimatiques nécessite un traitement détaillé des observations hydro climatologique, tels que la température la précipitation et des paramètres calculés par différentes formules empiriques.

a.Neige :

Selon p.seltzer notre région se trouve incluse dans la zone d'enneigement moyen au sol de cinq à dix jours par ans en effet tous les massifs cernant de surplombant le bassin ,en particulier le versant nord des relief et notamment les monts de Djebel Doukkane connaissent des quantités considérables de neige.

b.Pluviométrie :

L'étude pluviométrique présente un intérêt considérable en hydro climatologie car elle permet de décrire le régime d'écoulement, en outre leur contrôle et leur enregistrement est indispensable pour toute tentative d'estimation de lames d'eau encaissées, à l'échelle de l'impluvium et en déduire par la suite les diverse franges écoulement superficielle et souterraine. Sur le bassin d'elma labiod et au niveau de la source Elkhanga (col de Bekkaria) les précipitations sont marquées par une irrégularité et une variabilité saisonnières et annuelle typique des régions semi- aride (Figure 7, Figure 8 et 9)

b1.Variation mensuelle des précipitations :

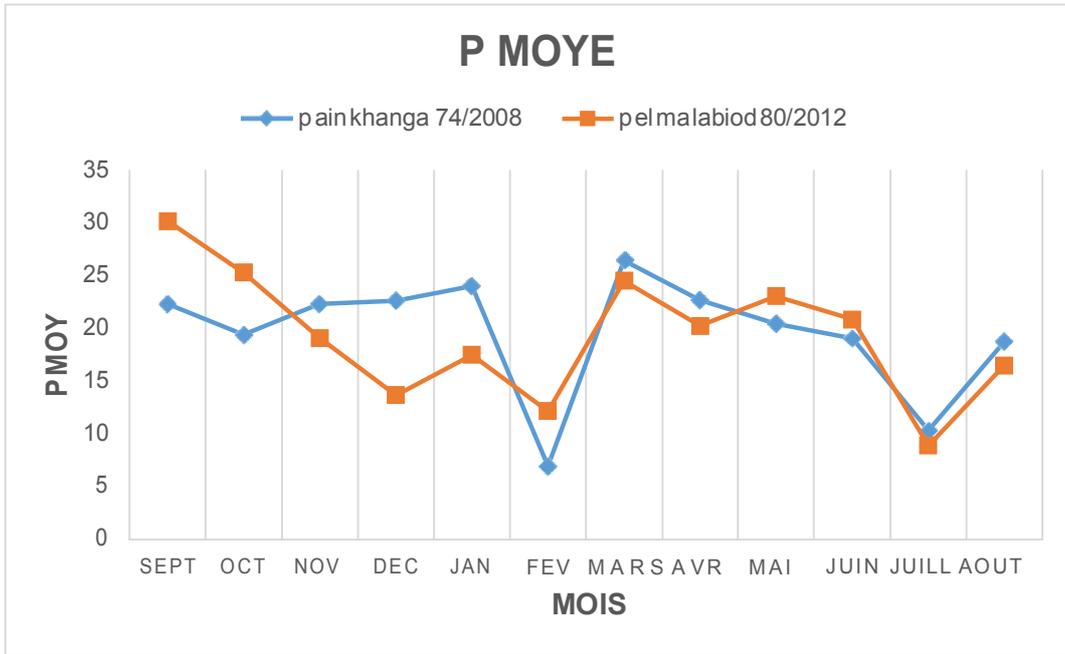


Figure 13: distribution des précipitations mensuelles aux station de El MA EL ABIOD et AIN EL KHANGA.

b2.Variation annuelle des précipitations :

- Station d’El Ma El Abiod :

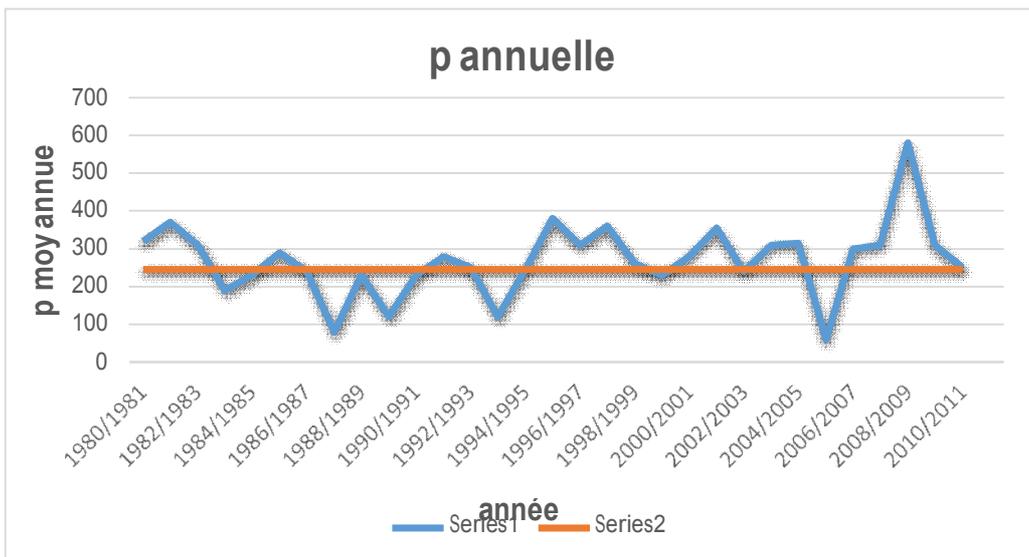


Figure 14: distribution de la précipitation annuelle dans la station d’el ma el abiod période de (1980/2011)

- **AIn el khanga**

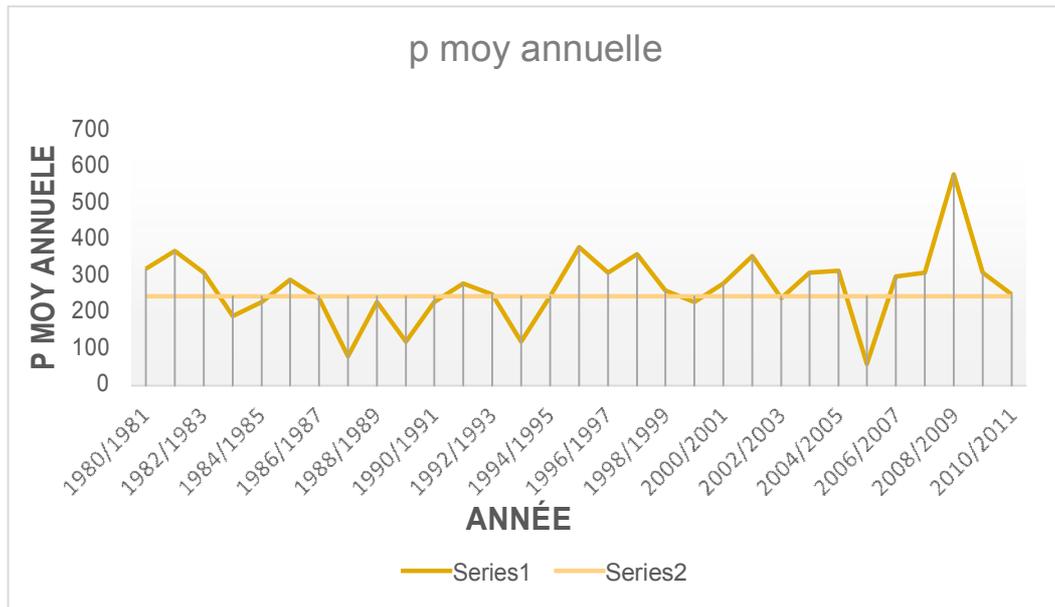


Figure 15 : distribution annuelle de la précipitation de AIN EL KHANGA.

Conclusion :

L'observation et l'étude des paramètres climatiques de l'ensemble des bassins versants de la région d'étude ont montré une variabilité importante dans l'espace et dans le temps. Ces irrégularités des précipitations ont des effets négatifs sur le comportement hydrologique des cours d'eau et par conséquent sur le régime d'écoulement des sources d'eau dans la région.

En moyenne les précipitations varient entre 500mm sur les crêtes et environ 400mm sur les plaines. Elles sont sous forme des pluies orageuses très violentes.

La région de Bekkaria a une durée d'enneigement de 6à8 jours/an avec une intensité plus élevée sur les parties très élevée des versants.

Le bilan hydrique établi sur une période de vingt et un an (1997-2018) montre une irrégularité importante et un déficit important en eau. Cette situation alarmante de sécheresse nous laisse confirmer les causes de réduction des débits d'écoulement et le tarissement de la source en question.



**Hydrogéologie
de la région et conditions
d'émergence de la source De
Bekkaria (dite El khanga)**



I. Introduction

Les travaux d'exploration et les études hydrogéologiques effectués sur le bassin versant d'ElMalabiod et ElHouidjbet ont montré la présence d'un grand système aquifère alluvionnaire du Miocène occupant la totalité de la plaine d'Elma labiod et Houidjbet [SEGHIR K., 1997]

Ce réservoir de grande potentialité aquifère est caractérisé par une morphologie piézométrique très variable suivant la variabilité des paramètres hydrodynamiques et la morphologie du substratum imperméable.

II. Coupe hydrogéologique

L'étude des données géologiques et géophysiques de la région de Houidjbet-Benfaliat-Hadjra safra jusqu'au frontières Algéro-Tunisienne au niveau de la région de Bouchebka, a permis de dresser des coupes hydrogéologiques (Figure 1) :

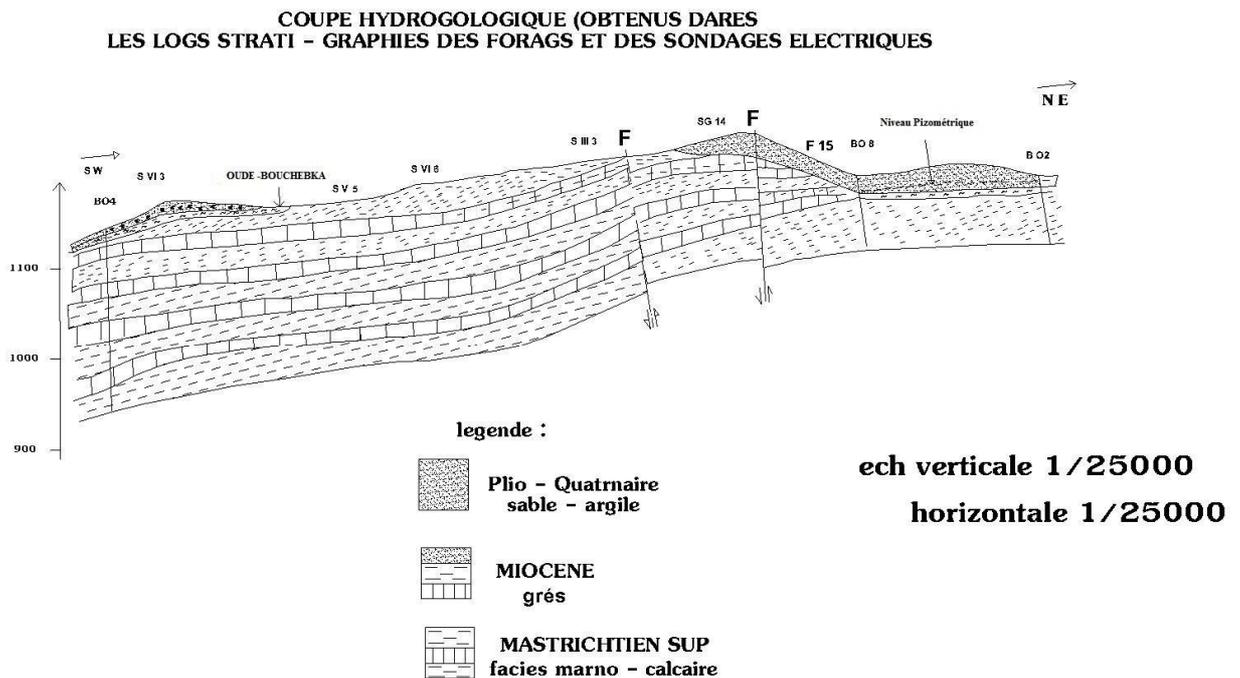


Figure 16 : Coupe hydrogéologique obtenue par corrélation entre logs stratigraphiques des forages et sondages électriques

La coupe a permis de montrer la présence de deux grands systèmes aquifères dont la nature lithologique est variable, ce sont respectivement :

- Aquifère à porosité d'interstice du remplissage d'âge Moi-plio-quaternaire ; composé par des gros grains qui prédomine dans la partie Nord et au centre de la zone. La couche superficielle qui s'étend sur la majorité de la zone de Bouchebka et sur la zone d'effondrement de Ain boudries avec une faible puissance ne dépassent pas les 45m d'épaisseur, composé des dépôts conglomératiques, sables, argiles, graviers, et des caoullitis de calcaire formant la nappe phréatique.
- Aquifère profond à porosité de fissure composé par des marnes et marno-calcaires du Crétacé (Emscherien inférieur jusqu'au Maestrichien) ; qui se situe à une grande profondeur et composé par des bancs marneux, calcaires et marno-calcaires, sa puissance dépasse 170m et formant des nappes semi-captives et captives.

III. Carte piézométrique

Selon des études antérieures de la région de Houdjbet [Boukerrit K. et al. 1996], une carte piézométrique a été dressée par des données piézométriques d'une campagne d'inventaire. Cette carte piézométrique a montré l'existence des deux zones hydrogéologiques séparées par une ligne de partage des eaux de direction préférentielle Sud-Nord (Figure 2), ce sont :

- **Zone Nord-Ouest** : dans cette zone l'écoulement des eaux souterraines est de direction Ouest au Nord, les courbes piézométriques fermées et serrées traduisant un cône de dépression piézométrique due à l'exploitation intensive de la nappe. Le gradient hydraulique est fort de l'ordre de 0,02 ce qui indique que les débits sont appréciables et la perméabilité est faible. A l'ouest, les courbes présentent une faible concavité vers l'amont d'un axe principale d'écoulement, et sont un peu espacées formant un gradient hydraulique faible de l'ordre de 0,02 à 0,009 impliquant une perméabilité forte.
- **Zone Est** : dans cette zone l'écoulement des eaux souterraines se fait vers l'Est, les courbes iso pièzes sont très espacées traduisant un gradient hydraulique faible de l'ordre de 0,006 et une forte perméabilité.

IV. Conditions aux limites :

La région d'étude ne dispose pas d'un grand nombre des sondages électriques et forages. Les phénomènes tectoniques ne permet pas de procéder à la délimitation des couches, cette situation géologique et géophysique nous laisse penser de l'existence probable des nappes discontinues.

Dans les bordures Nord, proche de la région de Bekkaria, les forages (A89bis, A87, Z1) montre qu'il y a des alluvions de quaternaires (sable et sable argileux), le niveau statique varie entre 26 et 35m et forme une limite perméable à flux entrant.

Dans les bordures Sud de Ain Taga à Chatabiya et Ain Tif, existe le forage (AT1) et plusieurs puits et sources où les niveaux statiques est inférieur à 10m, il présente une série stratigraphique du Miocène au campanien et forme une limite imperméable.

Dans les bordures Est, il y a une limite à flux sortant, les forages (BO2,BO3) situés à Bouchebka présentent des formations géologiques d'âge Miocène moyen et inférieur (formé des grès)

Dans les bordures Ouest : une limite à flux sortant est déterminée, le forage HS1 située à l'Houidjbet rencontre des formations géologiques sableuses et le niveau statique des puits atteint 10 à 20m.

Cette carte piézométrique nous a montré qu'il existe deux limites à flux sortant situées à l'Est et à l'Ouest de la région d'elHouidjbet et une limite à flux entrant située au Nord et une limite étanche imperméable au Sud.

Pour notre étude qui concerne la source de Bekkaria dite El khanga, une campagne piézométrique effectuée sur 22 points d'eau, sur la zone de Ben Faliat - El Houidjebet a permis de dresser une carte piézométrique actualisée (Figure 3) [SEGHIR K. 1997]

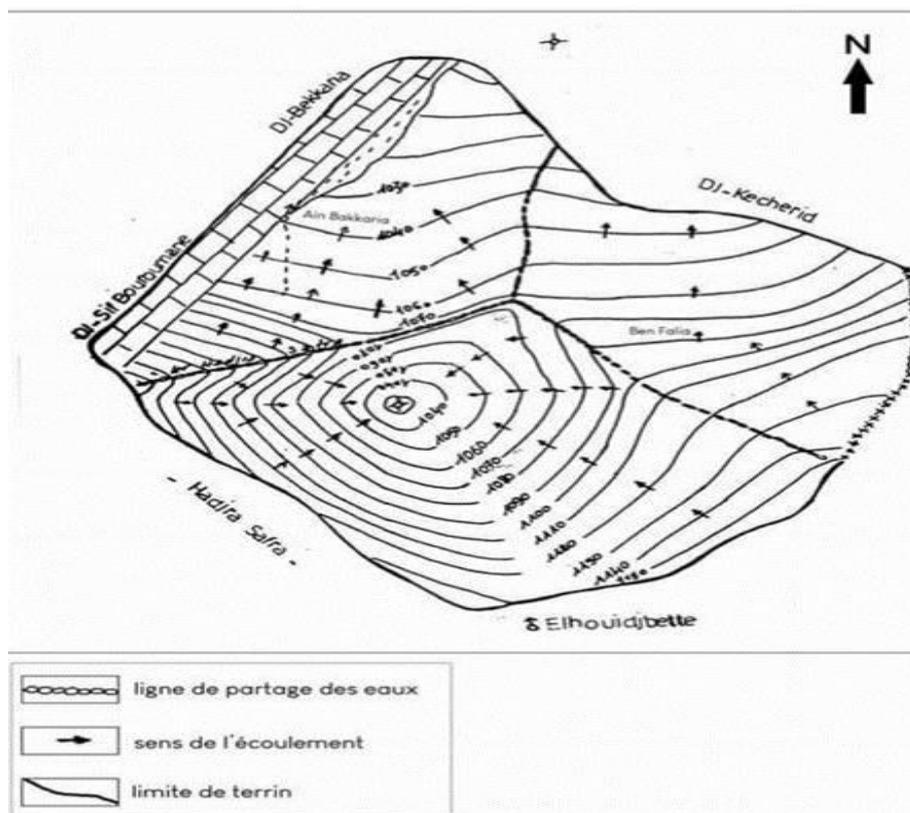


Figure 17 : Carte piézométrique de la période Hautes Eaux de l'année 1997[SEGHIR K., 1997]

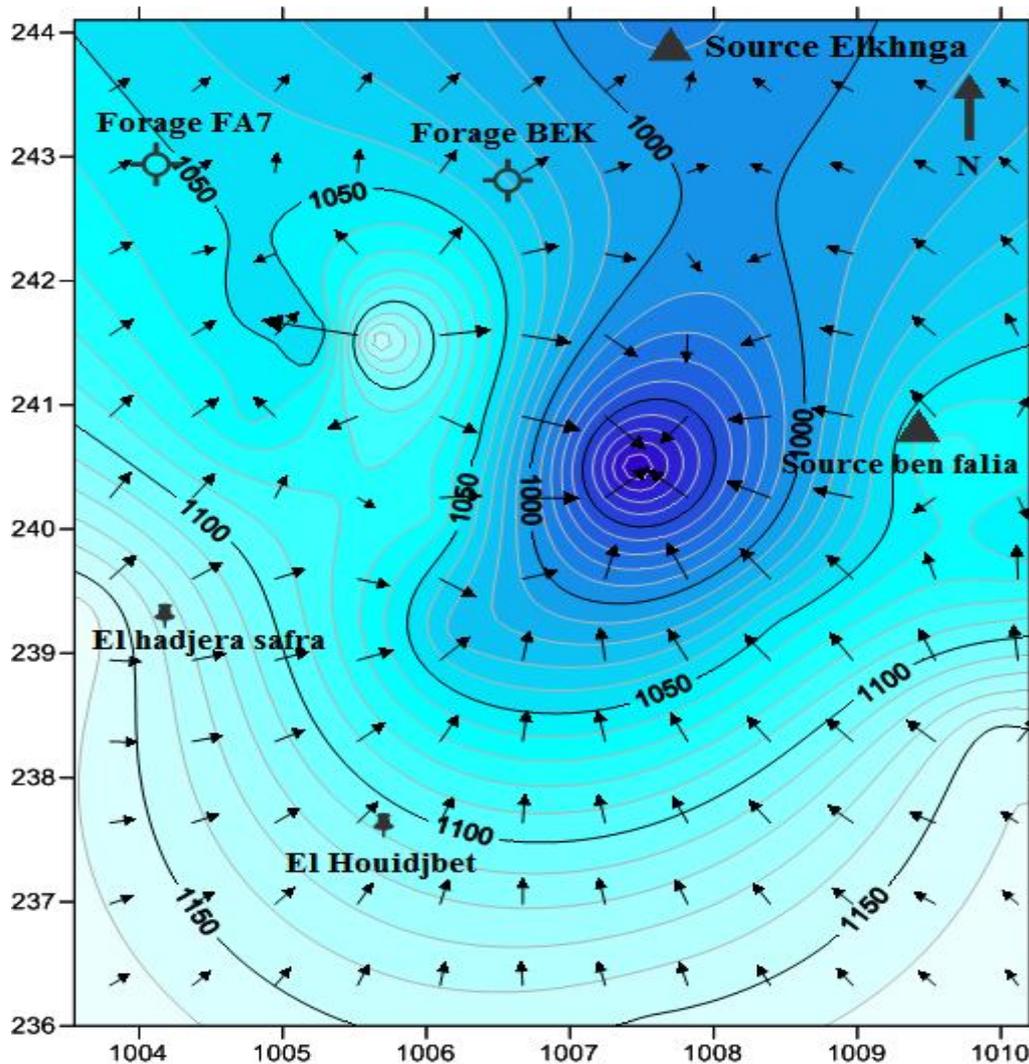


Figure 18 : Carte piézométrique des hautes eaux de l'année 2022 de la zone d'étude.

- L'analyse du levé piézométrique révèle la présence de trois sous bassins hydrogéologiques séparés, au niveau d'El Hadjra Sefra et M^{at} Ben Faliat, par deux lignes de partage des eaux. La morphologie piézométrique coïncidé avec celle de la topographie.

Ces sous bassins sont :

1. Le Sous bassin Hydrogéologique Sud d'El Hadjra Sefra;
2. Le Sous bassin Hydrogéologique Est de Ben Faliat;
3. Le Sous bassin Hydrogéologique Nord de la source de Bekkaria.

1. Sous bassin hydrogéologique d'El Hadjra Sefra:

La morphologie piézométrique nous révèle que l'écoulement souterrain de la nappe est convergeant, au niveau du forage HS1, marquant, en parallèle du substratum imperméable, une dépression piézométrique de 45 m de profondeur. Le gradient hydraulique est faible, au centre Est, à la zone de drainage et très fort dans la zone d'alimentation.

2. Le Sous bassin Hydrogéologique de Ben Faliat:

De même analyse, l'écoulement souterrain est radial, de direction préférentielle Sud Nord. La nappe est drainée, en aval, à Djebel Kecherid, par les calcaires du Turonien moyen.

3 Le Sous bassin Hydrogéologique de la source de Bekkaria:

Le levé piézométrique de cette zone montre aussi un écoulement convergeant, avec un drainage en surface au niveau de la source d'El Khangha L'axe de drainage est orienté suivant une direction préférentielle Nord-Ouest - Sud Est Le gradient hydraulique est fort au Sud, à la zone d'alimentation, et faible au Nord à la zone de drainage. Ceci est dû, principalement, au changement de la morphologie du substratum imperméable.

V. Conditions d'Emergence de la Source :

Afin d'identifier les conditions d'émergence de la source de Bekkaria (El Khangha), nous avons établi deux coupes hydrogéologiques (Figure 3), passant par les forages HSI, ZI, P3, A89, SD et la source.

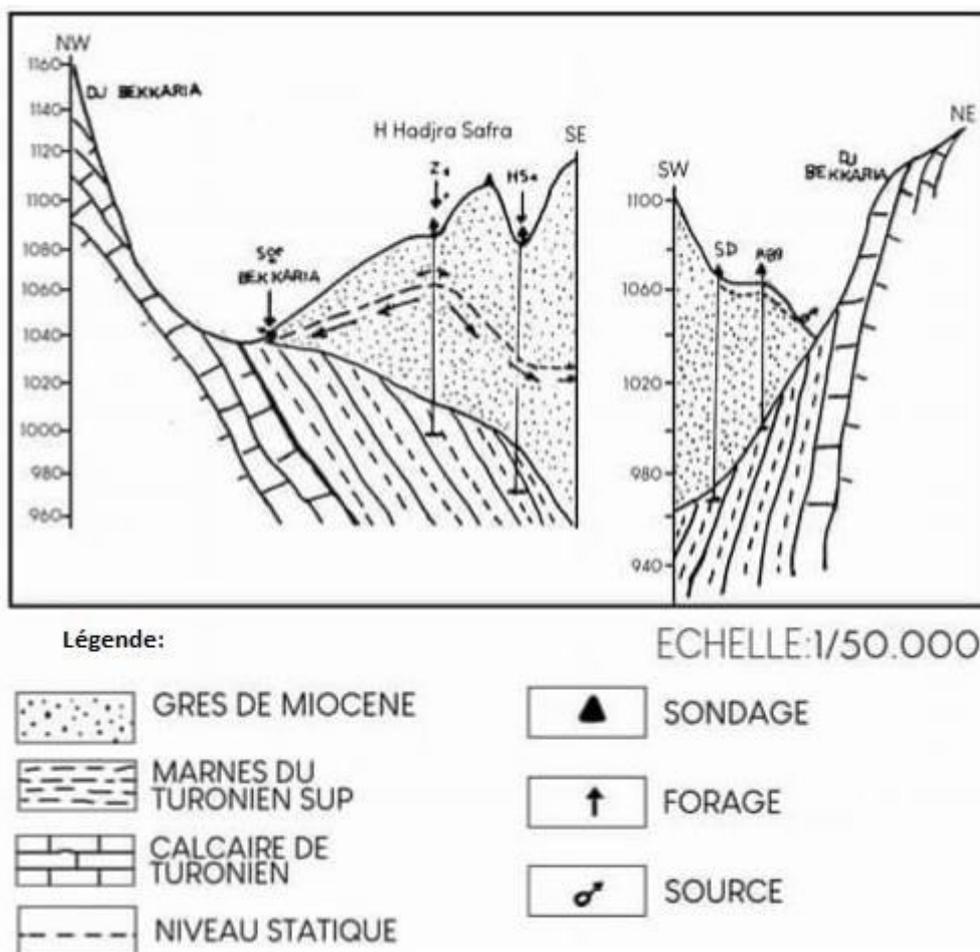


Figure 19 : Coupe géologique [SEGHIR K. 1997]

Conclusion

Les deux coupes hydrogéologiques montrent que l'émergence d'Ain Bekkaria est due à trois conditions d'ordre morphologique :

1. La surélévation, en sub - vertical du substratum imperméable marneux du Turonien et Emscherien;
2. Un levé topographique, en forme de dépression en donnant le col de Bekkaria;
3. Un levé piézométrique convergeant au niveau de la source et divergeant au niveau de hennchir El Hadjra Es Safra.



**Débit d'écoulement de la
source Elkhanga et son
variabilité dans le temps et
dans l'espace**



I .Etude des débits d'écoulement de la source d'Elkhanga

L'étude du régime d'écoulement d'un cours d'eau ou d'une source exige de connaître à chaque instant la variation de débit car il varie continuellement dans le temps et dans l'espace.

Dans le cadre de l'étude actualisée de la source Elkhanga, qui consistait à définir, en cette situation de sécheresse prolongée et généralisée dans la région d'étude, les conditions d'émergence de la source de Ain Bekkaria dite El Khanga, l'identification de l'écoulement des eaux dans les cours d'eau et au niveau de la source et sa variabilité en fonction des conditions climatiques principales surtout de la fluctuation anarchique des précipitations nécessitent théoriquement un suivi rigoureux sur plusieurs cycles hydrologiques.

Le manque d'une station hydrométrique dans la région et l'indisponibilité du temps nécessaire, nous ont obligé de se limiter à une reconnaissance périodique et préliminaire d'écoulement de la dite source à travers des données de mesure in-situ hebdomadaire durant trois mois (Février et Avril 2022) et prendre l'historique des données enregistrées des quatre mois de la période des hautes eaux de l'année 1996 / 1997 (du mois de Février au mois de Mai)[SEGHIR K. 1997] où:

- Des mesures hebdomadaires qui ont été réalisés en utilisant un moulinet ou un micro-moulinet dans deux sections d'écoulement de la source (au niveau de l'oued et la rigole) :

- La première section: en amont, à l'intérieur du remplissage gréseux-sableux de Miocène:

- La seconde section: en aval, juste à la ligne de partage des eaux ou le cours d'eau est aménagé sous forme d'une rigole de 0,50 m de largeur, et les calcaires du Turonien moyen affleurent en surface.

- Un suivi journalier de débit d'eau écoulée au niveau de la source Elkhanga au niveau de son captage situé dans le col de Bekkaria. Nous avons pris l'historique des données enregistrées en 1997 et un suivi mensuel a été réalisé par les étudiants durant les mois de Février-Avril 2022.

Les résultats obtenus de débits par jaugeage hebdomadaire, de deux sections ainsi que les données de mesure de cet année sont représentés dans les courbes suivantes (Figure 1, 2, 3) :

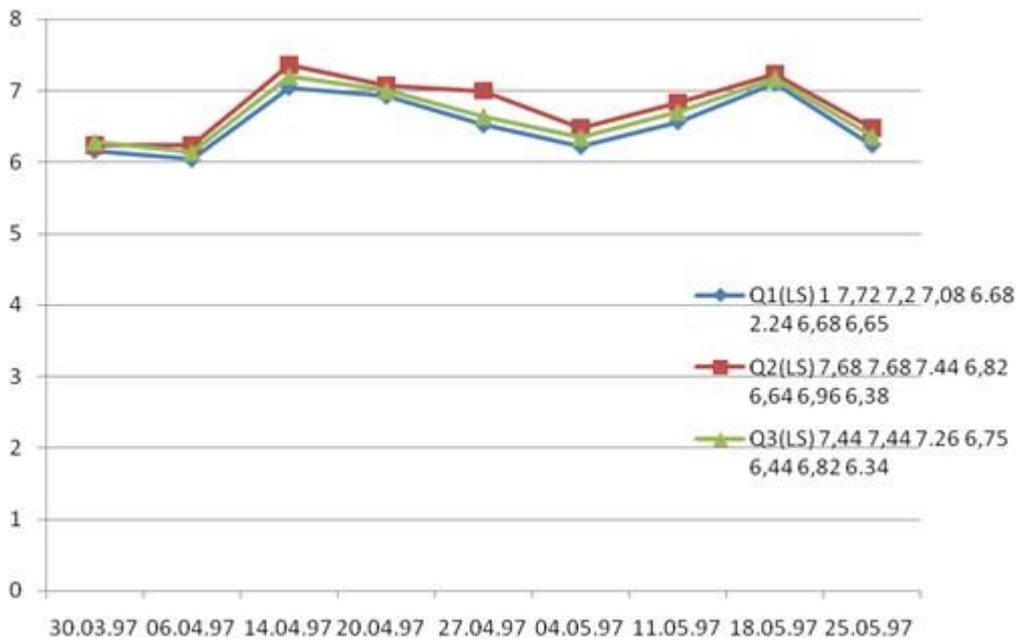


Figure 20 : Variation des débits instantanés enregistrés au niveau de l'oued (1997)



Figure 21: Variation des débits instantanés enregistrés au niveau de la Rigole (données 1997)

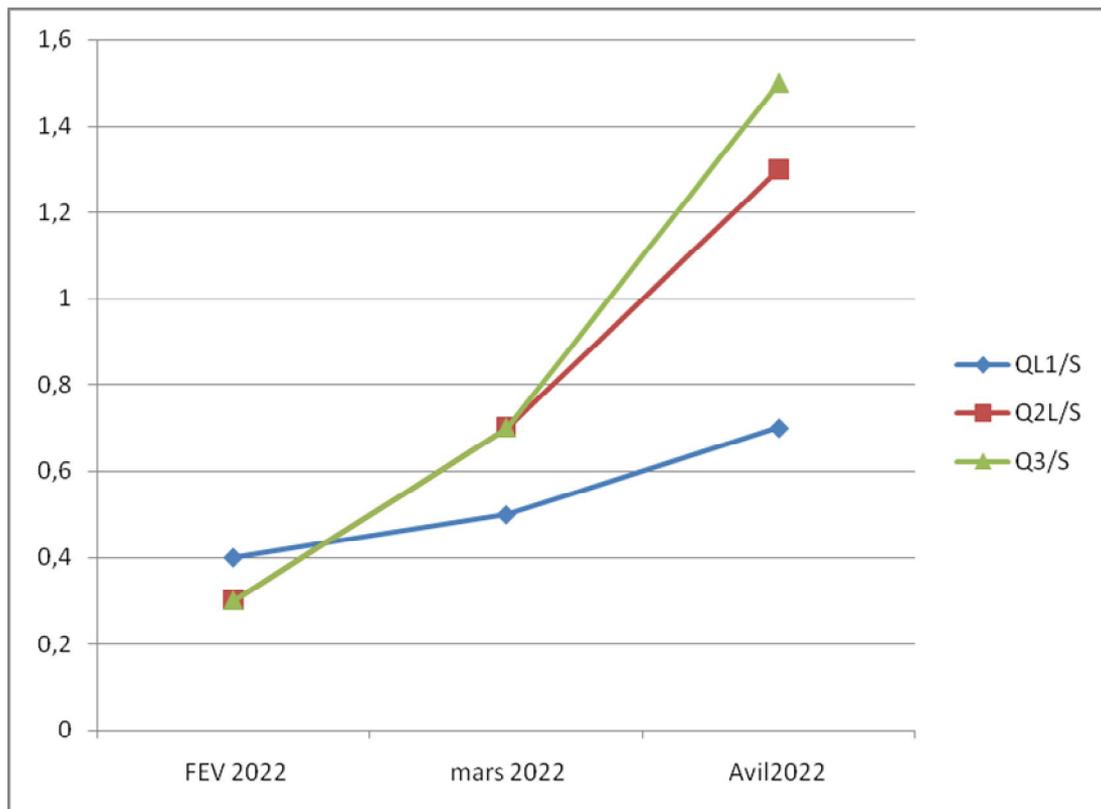


Figure 22 : Variation des débits journaliers au niveau de la source de khanga (Fontaine)

Variabilité Chronologique Des Données

Variabilité journalière des débits:

Sur la base des données de débits journaliers, nous avons établi la courbe d'évolution d'écoulement de la source de Ain Bekkaria en fonction de temps (Figure 1,2,3),

De point de vue valeur d'écoulement, un quasi constance de faible débit et hauteur a été nettement visualisé durant ces périodes d'observation que se soit en 1997 ou durant cette année hydrologique.

En 1997, la hauteur d'eau écoulee a connu une légère fluctuation entre 3.1 et 5 cm, au niveau de la rigole et l'oued qui correspond un volume d'eau varie entre 6.5 et 8.131/s. malheureusement, cette situation n'est pas continu dans le temps et actuellement nous avons constaté que l'écoulement des eaux au niveau de la rigole et l'oued est devenu nul, sauf, au niveau de la source (fontaine) où un certain débit faible qui s'écoule. Ceci est dû évidemment à la sécheresse de la région, en cette période d'année, où la pluviosité totale n'a pas dépassé les 80mm. Par ailleurs, aucune crue n'a été enregistrée durant ces périodes d'observation.

Variabilité mensuelle des débits:

Les calculs des débits de chaque mois et leur présentation graphique ont permis de mieux confirmer les déductions précédentes et l'écoulement reste toujours dépendant de la situation climatique qui règne actuellement sur notre pays.

Alors l'impact du phénomène de sécheresse est très remarquable sur l'écoulement de la source de Bekkaria et prend une grande ampleur dans la dégradation des réserves en eaux souterraines et le tarissement des sources en général.

Tarissement de la source et Vidange de la nappe:

On appelle tarissement d'une rivière, la décroissance des débits correspondant à la vidange des nappes qui l'alimente, en dehors de toute précipitation. La courbe de tarissement ou de décrue représente la vidange des nappes en régime non influence (absence des pluies).

L'expression de Maillet ($Q_t = Q_0 e^{-at}$)

est la loi de tarissement d'un cours d'eau avec:

Q_t : Débit à l'instant t (m^3/s).

Q_0 : Débit à l'instant $t = 0$.

a : Coefficient de décrue (pente moyenne de la courbe de tarissement).

t_0 : Temps suivant lequel on prend une origine ($t_0 = 0$).

t : Temps écoulé depuis l'origine.

L'intégration de l'expression de Maillet est une résolution graphique sur un papier semi-log avec le temps à échelle logarithmique et le débit à échelle arithmétique.

L'établissement de la courbe a permis de mettre en évidence une continuité du tarissement de la source de Bekkaria et la vidange de la nappe alluvionnaire du Miocène, malgré qu'on est en période des hautes eaux, ceci est dû à l'insuffisance des précipitations.

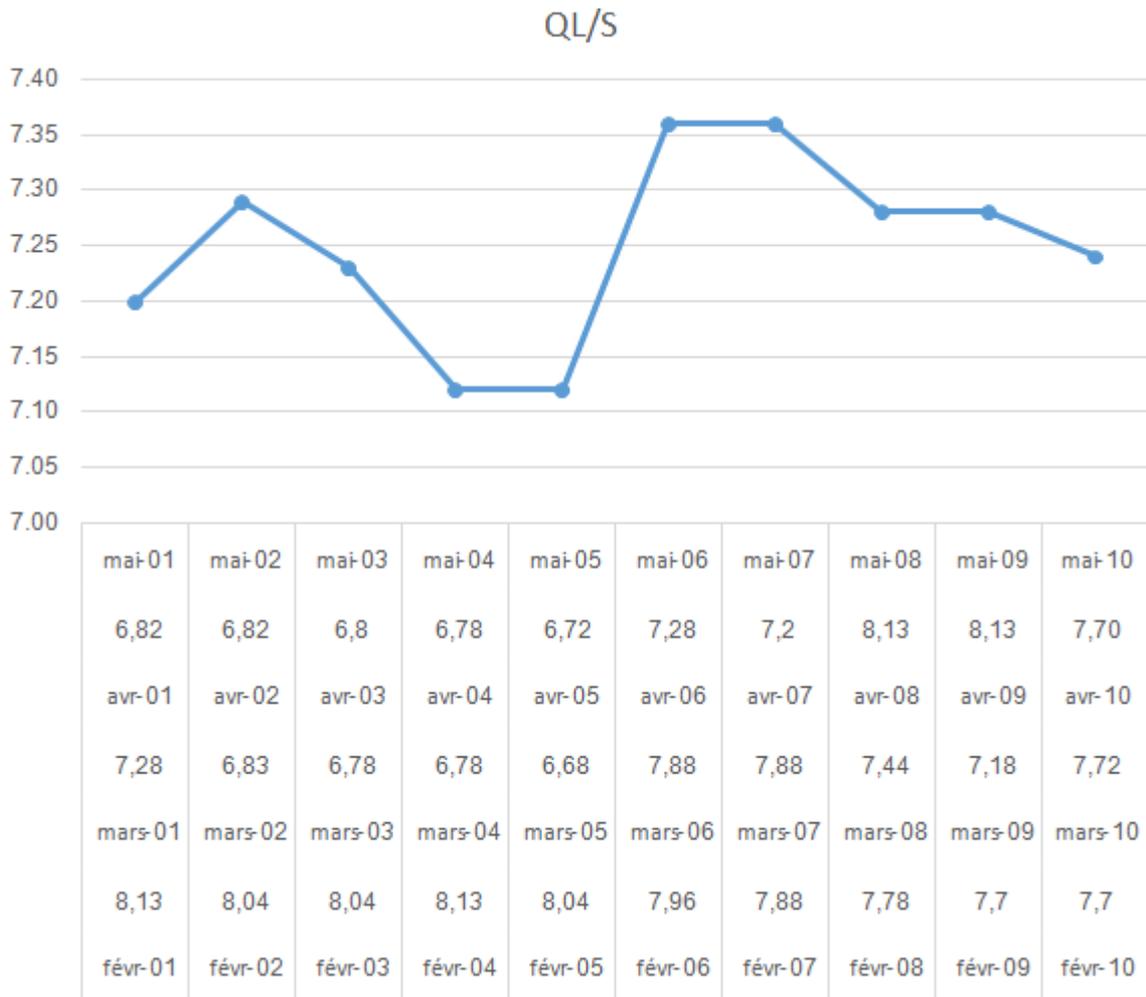


Figure 23 : Résultats de calcul des débits journaliers au point N°2 (rigole2010)

Les pluies parasites tombées aux mois d'Avril et Mai n'ont pas beaucoup influencé l'allure hydrométrique. La capacité de vidange est de 475 m / jour, avec un volume total sur la période d'observation de 22809.6 m³ [SEGHIR K., 1997].

D'après notre visite de la source on a trouvé que le débit de cette source est très faible nous ne pouvons pas effectuer un jaugeage parce que l'Oued qui draine la nappe passe par une période de sécheresse, ce dernier ne peut pas drainer l'eau à la source.

Alors l'impact du phénomène de sécheresse est très remarquable sur l'écoulement de la source de Bekkaria et prend une grande ampleur dans la dégradation des réserves en eaux souterraines et le tarissement des sources en général.

Conclusion

L'analyse des données des débits d'écoulement de la source de Bekkaria dite Elkhanga a révélé que :

L'écoulement des eaux au niveau de la source et la rigole est irrégulier et dépend d'une façon étroite des précipitations et leurs ampleurs; sur laquelle nous constatons que l'écoulement est généralement soutenu par les précipitations avec un régime d'oscillation journalier très irrégulier.

Le débit d'écoulement a connu une quasi constance de très faibles débits et hauteurs, voire nul durant ces dernières années. Ceci est du certainement à l'intensification de la sécheresse qu'à vécu la région ;

Cette situation a marqué un tarissement très sévère avec une vidange considérable de la nappe alluvionnaire du Miocène ;

Il faut noter, qu'au niveau de la région aucune crue n'a été enregistrée durant toutes ces périodes d'observation.

En comparant les débits enregistrés dans quelques points distants de l'amont vers l'aval (du Nord au Sud) par rapport à la source en question, nous avons constaté une augmentation de débit vers les reliefs (partie Nord) où les calcaires Turonien Moyen affleurent en surface. Ceci peut être expliqué par la surélévation du substratum imperméable des marnes de Turonien Supérieur au sens Sud-Nord de l'écoulement souterrain et aux apports d'alimentation en eau provenant des dernières formations.



Qualité

**hydrochimique des eaux de
la source d'Elkhanga et son
évolution.**



I- Introduction

Les paramètres physico-chimiques des eaux sont considérés comme indicateurs naturels des circulations souterraines. Leur étude de variation dans le temps et dans l'espace permet de compléter les informations déjà obtenues sur la nature lithologique du terrain traversé et surtout les conditions d'émergence des sources.

Afin de comprendre le comportement hydro chimique de la source d'Elkhanga de la région de Bekkaria, en période des Hautes eaux, nous avons pu prélever 3 échantillons des eaux de la fontaine pour faire les analyses des paramètres physico-chimiques.

Les analyses chimiques ont été effectuées, par nous-mêmes, au laboratoire des sciences da la terre et univers de l'université de Tébessa.

Ces analyses ont porté sur :

- Le dosage des éléments chimiques, à savoir :
 - **Cations** : Calcium (Ca^{+2}), Magnésium (Mg^{+2}), Sodium (Na^+), Potassium (K^+),
 - **Anions** : Chlorures (Cl^-), Sulfates (So_4^{-2}), Bicarbonates (Hco_3^-)

Cependant par le manque des réactifs, le dosage des nitrates (No_3^-) n'a pas été fait.

- La mesure des paramètres physiques (PH, conductivité électrique et la Température de l'eau) a été faite au laboratoire

II. Technique Opératoire de Mesure et d'Analyse :

Technique de prélèvement et de mesure :

Tous les échantillons d'eau sont prélevés à l'aide des flacons en plastiques stérilisés, numérotés de couleur blanche.

- Le PH et la température sont mesurés directement après prélèvements en utilisant respectivement un PH mètre et un thermomètre de précision de laboratoire de l'université de Tébessa.
- A la fin d'échantillonnage, les flacons sont emportés avec soin et prudence directement au laboratoire de l'université pour qu'ils soient rapidement analysés.

II .2. Technique de dosage :

Comme nous l'avons indiqué précédemment, tous les analyses des échantillons ont été effectués par nous-même, au laboratoire de l'université en utilisant les méthodes bien appropriées suivantes :

Dosage des chlorures :

Méthode Mohr:

Principe :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent, en présence de bichromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition du teint rouge, caractéristique du bichromate d'argent.

Mode opératoire :

Introduire 50ml d'eau à analyser préalablement filtrée dans un becher. Ajouter 1 ml de bichromate de potassium, puis verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent (N/10) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre soit V le nombre de ml de nitrate d'argent (0.1,N) utilisé .

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai en chlorures 50 ml la teneur exprimer en mg/l

V1=chute de burette.

V2=prise d'essai.



Figure 24 : Dosage de chlorure laboratoire de l'université Tébessa .

Dosage des bicarbonates :

Détermination de l'alcalinité (TA et TAC) :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bicarbonates chromate et hydroxydes.

Méthode volumétrique :

Principe :

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minérale dilué, en présence d'un indicateur coloré.

Mode opératoire :

A/Détermination du TA :

Le titre alcalimétrique simple mesure la teneur de l'eau en alcalin libre et en carbonate alcalins .introduire 100ml d'eau à analyser dans Bécher ajouter 2 à 3 gouttes de solution alcoolique de phenolphtaleine à 0.5% une coloration rose doit se développer (dans le cas contraire le TA est nul) , verser en suite doucement l'acide (HCL N/50)dans un Bécher à l'aide d'une durette ,en agitant jusqu'à décoloration complète de la solution soit v1 le nombre de ml de l'acide HCL (N/50) utilisé pour obtenir le virage.Dans notre échantillon le TA est nul =0.

B/Détermination de TAC

TAC ou le titre alcalimétrique complet correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonate et bicarbonate. Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration, ajouter 2 à 3 gouttes de solution IL'hélianthine une coloration jaune au jaune orange (PH=4.3) s'assuré qu'une goutte d'acide en excès provoque le passage de la coloration du jaune orange en rose orange (PH=4) soit v2 le nombre de ml d'HCL utilisé retranche de ce volume 0.5 ml quantité de HCL nécessaire pour le virage de l'indicateur qui est un peu plus faible que le PH neutralisation exacte du bicarbonate



Figure 25 : Dosage de bicarbonate laboratoire de l'université de Tébessa

Dosage de dureté hydrométrique TH :

Méthode par complexométrie à EDTA : la dureté totale hydrotimétrique TH correspond à la somme des concentrations calcique et magnésique.

Principe :

Cette méthode est utilisée lorsque l'indicateur donne avec le cation à doser un complexe trop peu stable qui conduit à un virage peu net il est alors possible de sensibiliser le virage de l'indicateur en ajoutant une trace de complexomate d'un autre cation qui donne un complexe plus stable avec l'indicateur.

Mode opératoire :

Dans un Bécher, introduire 50 ml d'eau à analyser, 50 mL de solution de tampon ammoniacale, 1ml de complexomate de magnésium à 1 %, 3 gouttes de NET chauffé à une température de 70-80°C.

si la solution est bleue : TH = 0 . L'eau est adoucie ou non-dure.

si la solution est violette : doser le mélange par la liqueur hydrotimétrique (solution d'EDTA N/25). Ajouter jusqu'au virage du violet au bleu :

soit V(ml) volume de coulée d'où : $TH = V (ml) \times 4 \text{ } ^\circ F$

Dosage de calcium :

Cette analyse se fait par le spectrophotomètre à flamme :

0.01 ppm = 0.4008 mg/l .

Dosage de sodium et potassium :

Cette analyse se fait par le spectrophotomètre à flamme.

K=164 Ppm

K=2.97 mg/l.

NA= 190 Ppm

NA =41.17mg/l.

Dosage des sulfates :

On fait appelle à la méthode spectrophotométrique.

So₄⁻ = 0.041 Ppm. So₄⁻ = 29.97 mg/l

Paramétré physique :

- conductivité :1094 mhos/cm.
- Salinité : 0.4
- TDS : 601.
- PH : 7.43

Analyse chimique des forages :

Les différents teneurs chimiques ne dépassent pas les teneurs maximum admissible fixé par L'OMS, l'eau de ce forage et chimiquement potable.

Tableau 05 : Données chimiques de forage BEK3

Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	So ₄ (mg/l)	Hco ₃ (mg/l)	No ₃ (mg/l)	pH	C mhos/cm	R.S M (mg/l)	Q (L/S)
138.9	39.36	3	114	110	328	256.20	29	7.09	1410	920	05

Tableau 06: Données chimiques de forage FA7

Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Cl (mg/l)	So ₄ (mg/l)	Hco ₃ (mg/l)	No ₃ (mg/l)	pH	C mohs/cm	R.S M (mg/l)	Q (L/S)
78	27.61	2	106	60	128	341.60	19	7.49.	980	646	25

Les différents teneurs des éléments chimique ne dépassent pas les teneurs maximum admissibles fixés par l'OMS l'eau de se forage est potable et d'un facies chimique bicarbonaté –sulfaté –sodique.

III. Interprétation graphique et identification des facies chimique :

Les résultats des analyses chimique sont portés sur des graphiques permettent de voir rapidement des eaux de même nature et qualité chimique et de classée les différents facies chimiques.

Diagramme de piper :

Le diagramme de Piper est une représentation graphique de la chimie d'un ou plusieurs échantillons d'eau de forme triangulaire, il est subdivisé en trois zones de faciès. Les nuages de points concentrés dans une zone, représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le but d'utilisation de ce diagramme c'est pour représenter les différents faciès des eaux souterraines en utilisant les éléments majeurs. Les valeurs utilisées sont exprimées en %.

Dans le cadre d'une analyse comparative inter-éléments en donnant leur processus de transfert dans le temps et dans l'espace, nous avons reporté les résultats d'analyses de tous les points d'eau sur le diagramme de piper (les données récentes date de Février/Mars 2022 et des données historiques des études antérieurs date de 1997).

Diagramme de Piper source khanga Bekkaria Anne 2022

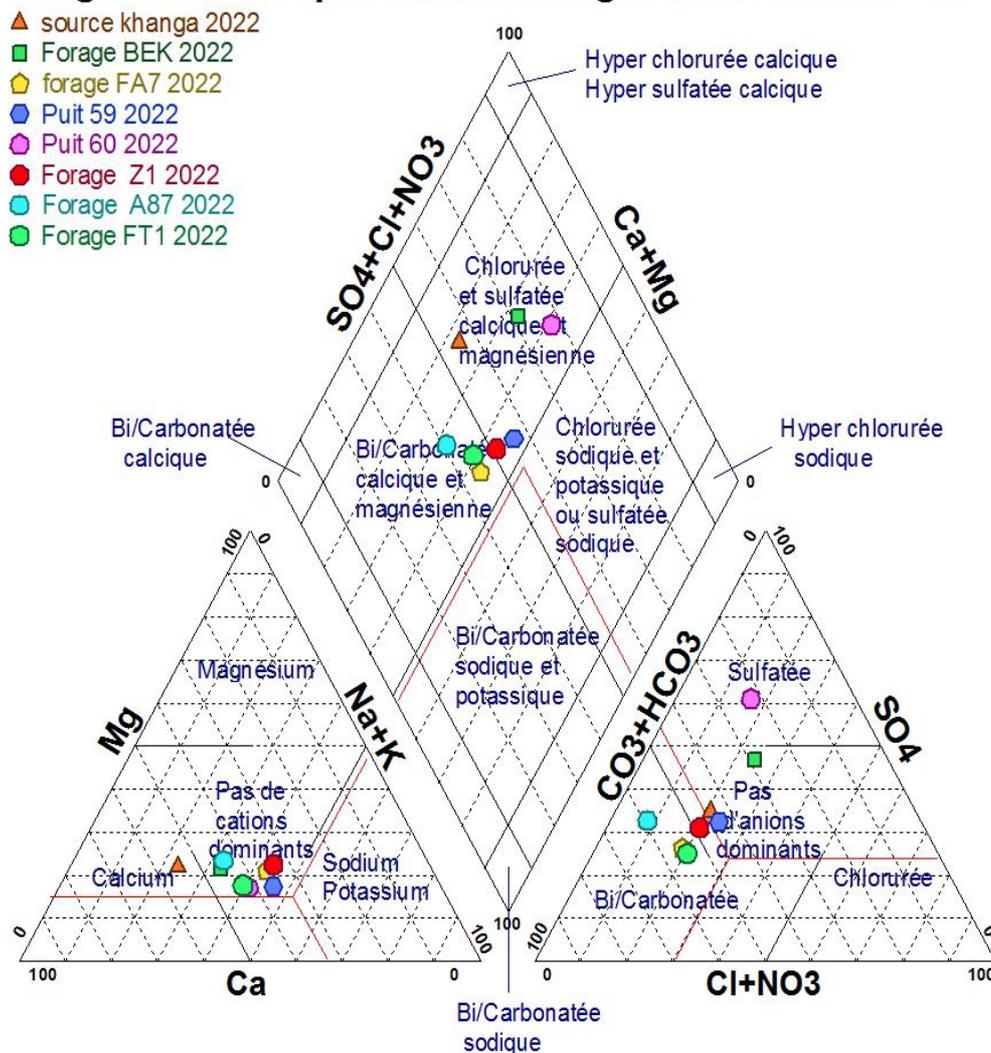


Figure 26 : Diagramme de piper des eaux de la source Khanga-Bekkaria 2022 comparé avec des eaux de quelques forages et puits.

Source khanga Bakkaria Anne 2022

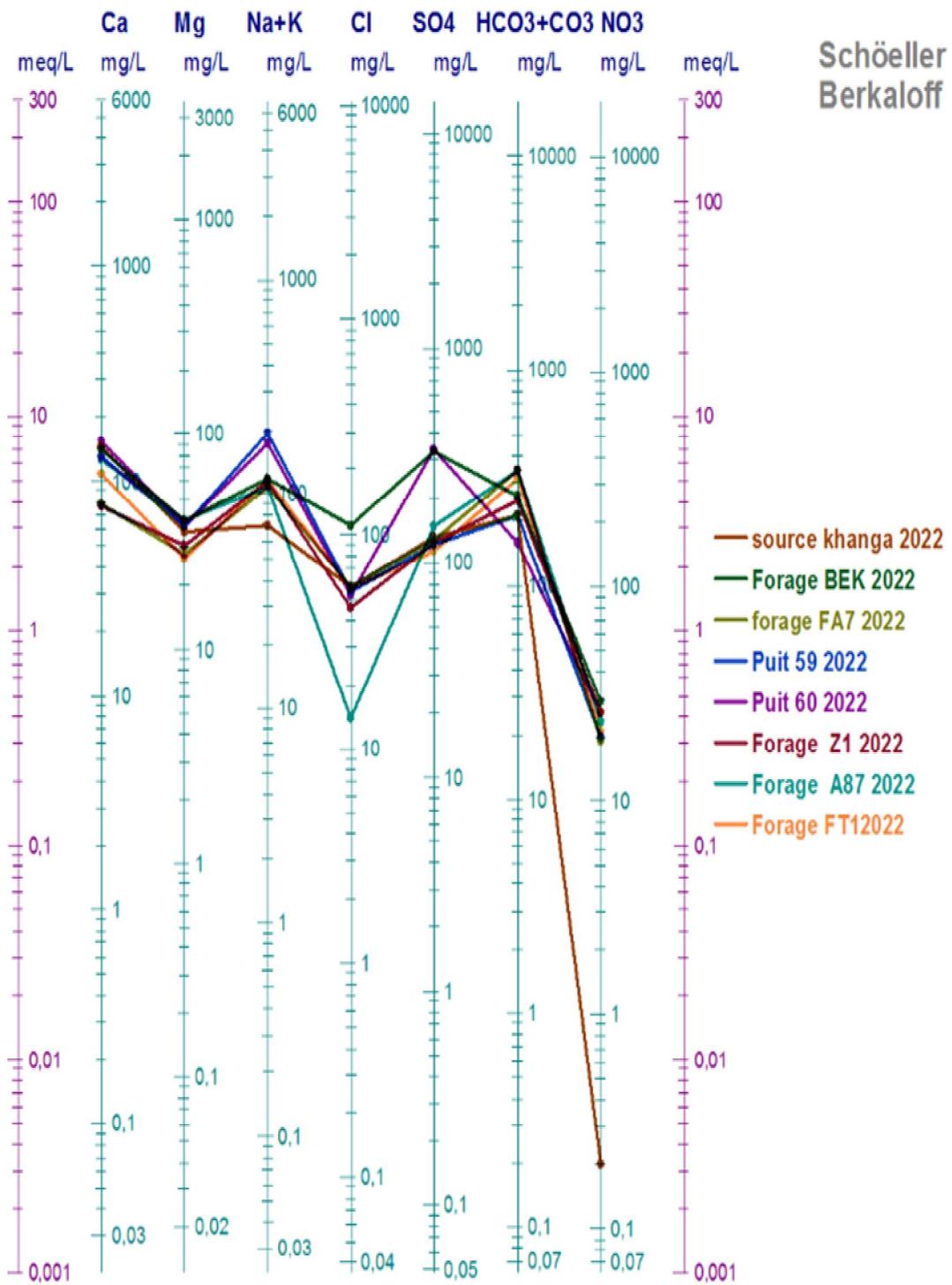


Figure 27 : Diagramme Scholler-Berkaloff (données 2022)

Diagramme de Piper SOURCE KHANGA BAKKARIA (1997)

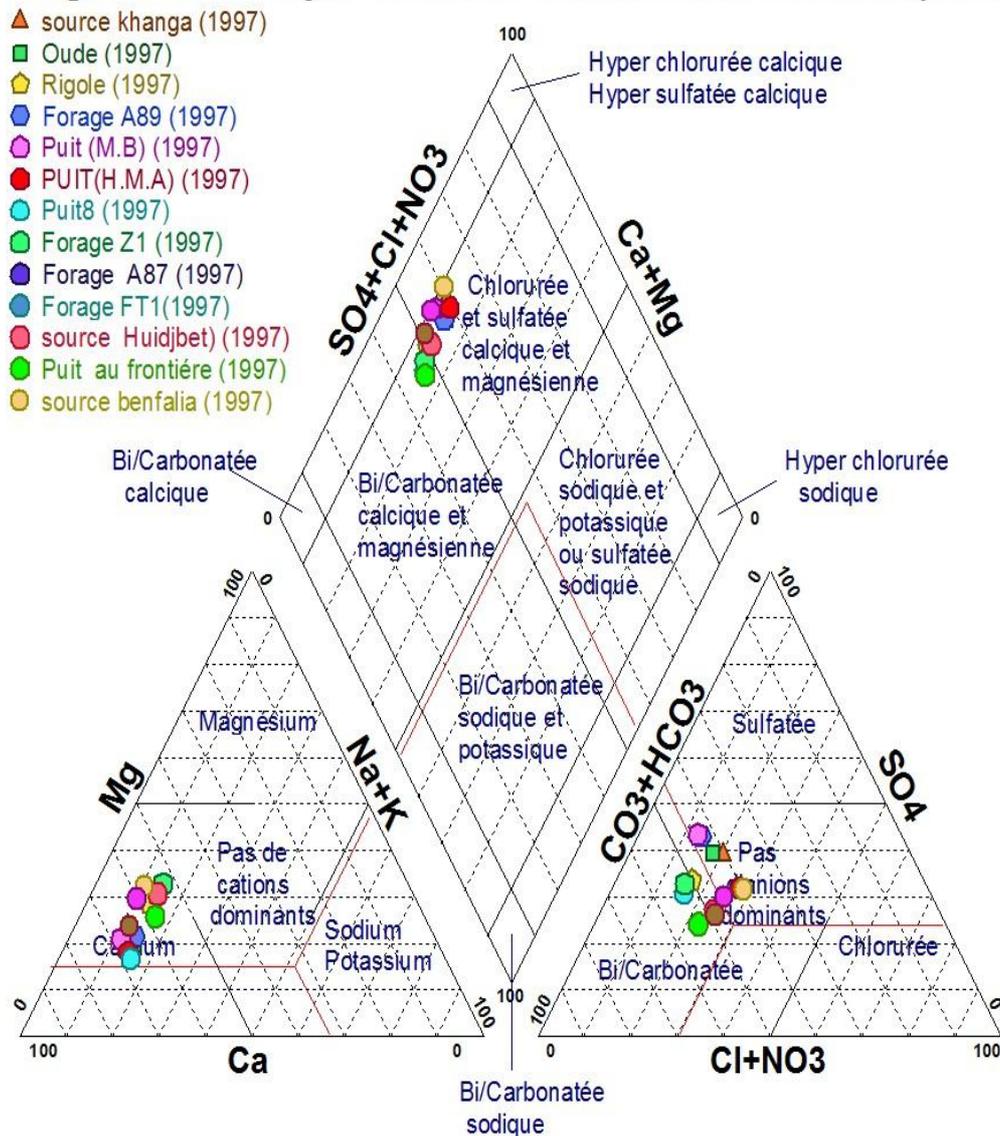


Figure 28: Diagramme de Piper des eaux de la source Khanga-Bekkaria comparées avec les eaux de quelques forages et puits (Seghir, K.,1997)

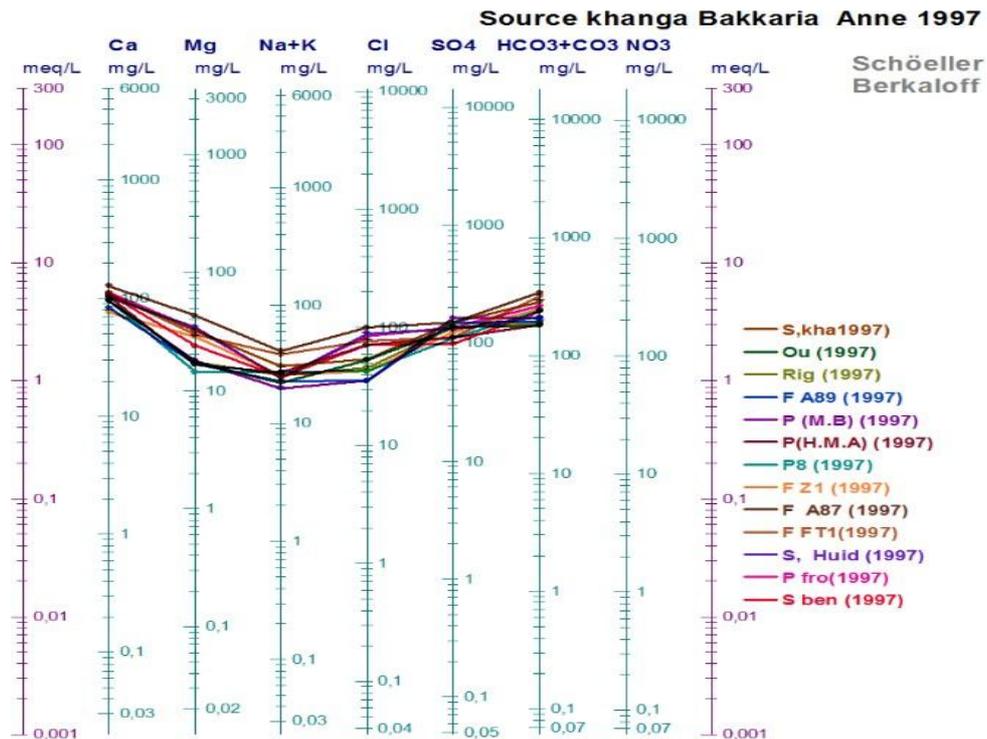


Figure 29 : Diagramme Scholler-Berkaloff (données 1997)

Ces diagrammes ont permis de mettre en évidence :

- **Comme Cations** : La dominance du pôle calcique avec une tendance de transfert croissante de l'amont, au niveau du forage A89, vers l'aval, au niveau de la fontaine
- **Comme Anions** : Une relation mixte du forage A89 à la rigole avec un changement anionique au niveau de la fontaine où le pôle bicarbonaté sera le plus dominant.

Ce processus de transfert cationique et anionique est certainement dû au changement de faciès géologique où les calcaires de Turonien affleurent en surface, au niveau de la fontaine et de la rigole, et le remplissage gréseux du Miocène devient puissant, au niveau du forage A89.

Evolution Chronologiques:

Afin de comprendre l'évolution des différents éléments physico-chimiques dans le temps, nous avons établi à échelle arithmétique des courbes chronologiques hebdomadaires qui nous ont permis de mettre en évidence :

- En général, de la même manière que l'écoulement (débit), un régime chimique très irrégulier avec une variabilité anarchique :
- Une eau de forte minéralisation et chargée en Bicarbonates en calcium en magnésium, en chlorures, en sodium et en potassium;
- Les concentrations sont plus au moins importantes durant les jours de faibles débits ;

- Une eau riche en sulfates et en Sodium. Notons que les eaux de la source et les eaux de la nappe d'Elhouidjbet contiennent des concentrations importantes en silice (SiO₂).

Les courbes suivantes montrent bien ces constatations importantes et nous confirme bien qu'il existe une relation chimique étroite entre la source et la nappe.

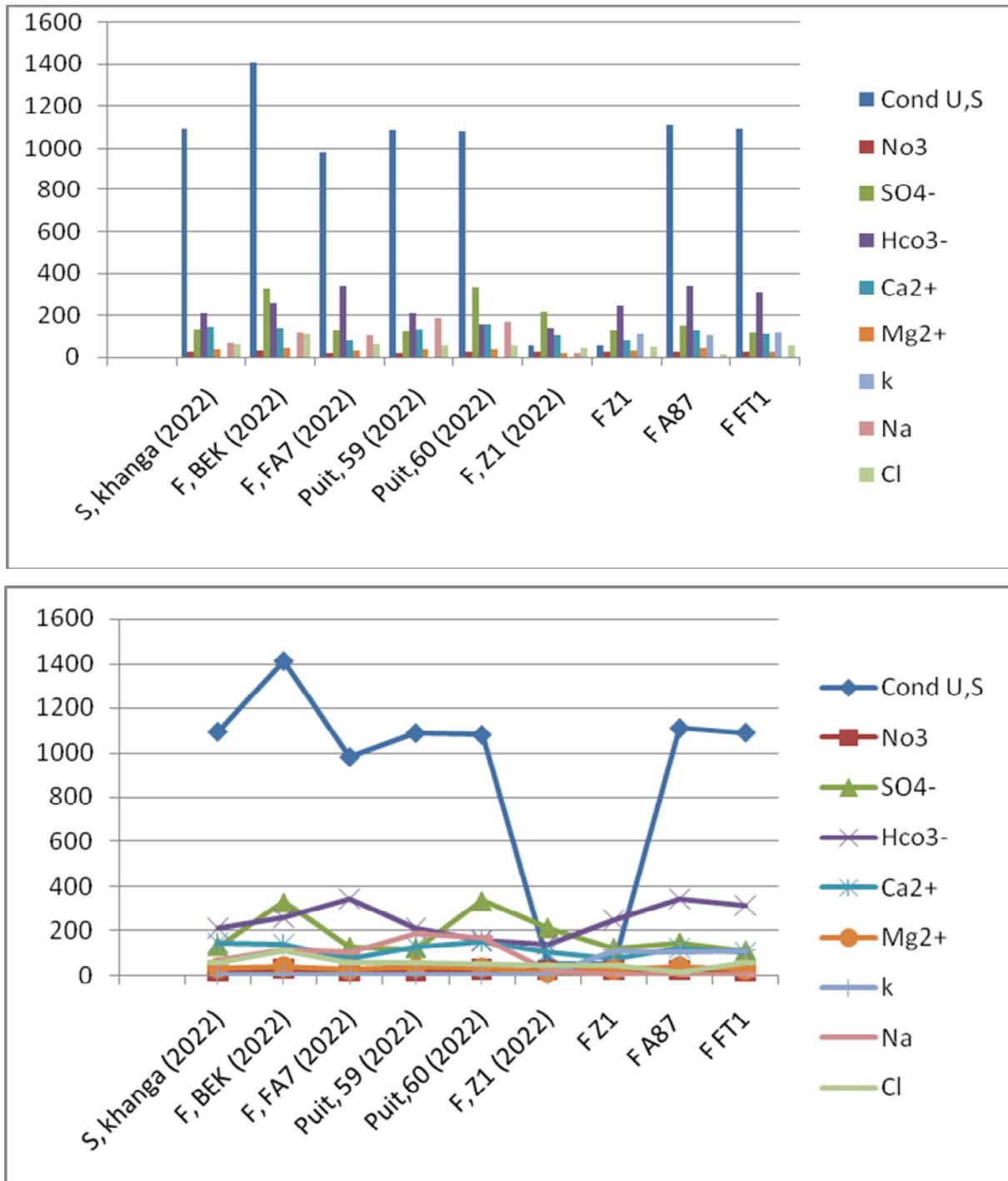


Figure 30 : (a,b) : Variation des concentrations des éléments chimiques dans la source d'Elkhanga comparées avec les éléments chimiques de quelques forages et puits (données 2022)

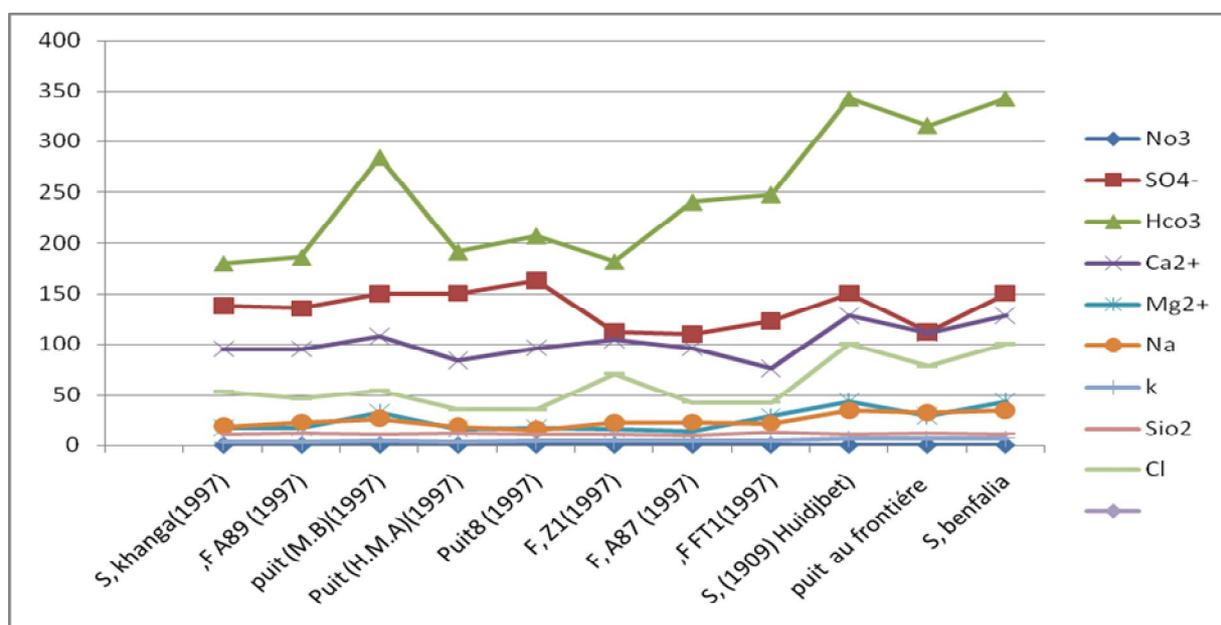
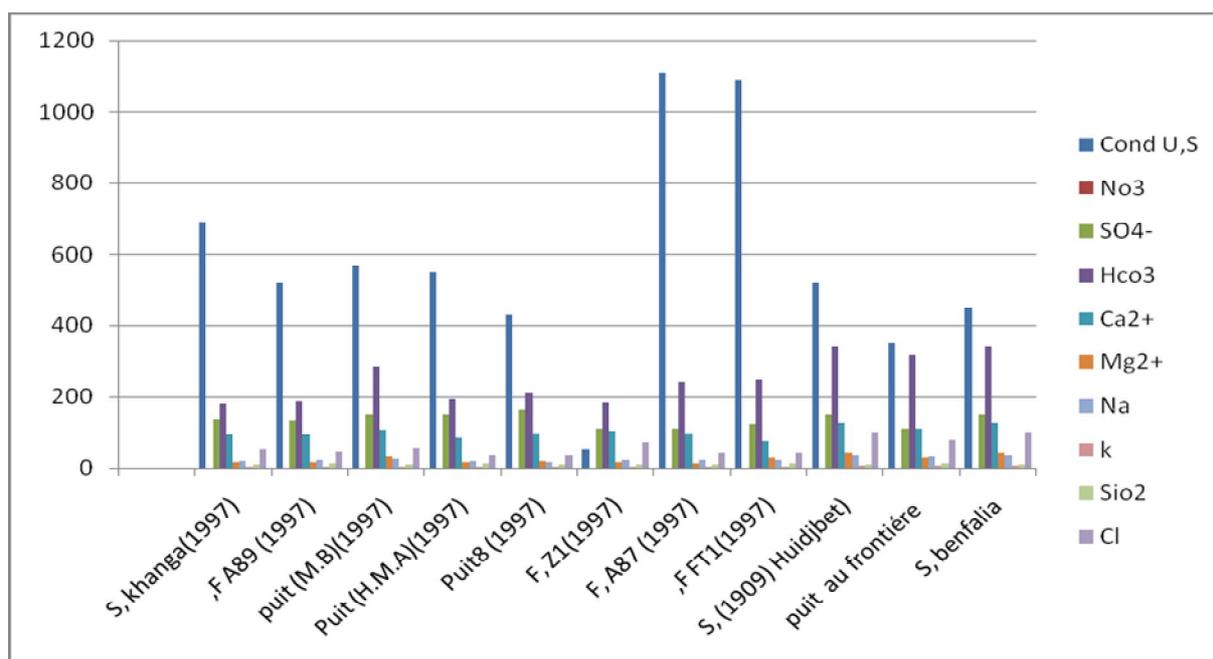


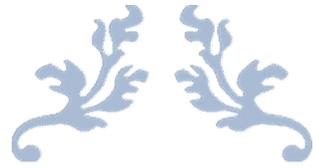
Figure 31 : (a,b) : Variation des concentrations des éléments chimiques dans la source d'Elkhanga comparées avec les éléments chimiques de quelques forages et puits (données 1997)

L'analyse des courbes réalisées montre que la concentration des éléments chimiques dans les eaux de la source de col de Bekkaria dite Elkhanga varie d'une façon irrégulière en fonction de la conductivité. De même les eaux des forages et puits qui se sont implantés dans la plaine de Houdjbet dans la zone limitrophe de la source en question. Il est important de dire que les concentrations en Nitrates (NO₃) sont devenues importantes dans les eaux de quelques forages dans la plaine de Houdjbet.

Conclusion

L'analyse des données hydrochimiques de la période d'observation historique et la période Hautes Eaux de cette année nous permet de tirer les informations suivantes :

- La qualité des eaux de la source de Bekkaria dite Elkhanga sont toujours Bicarbonaté Calcique, de bonne qualité et les normes sont respectées ;
- La teneur en calcium est dominante dans l'eau avec une tendance de variation croissante de l'amont vers l'aval (du Sud-Est vers le Nord) ;
- Concernant les anions, l'eau est mixte avec un changement anionique au niveau des Bicarbonates qui dominant dans les eaux de la source ;
- Les calcaires fissurés du Turonien moyen jouent un rôle important dans l'acquisition du chimisme de l'eau de la source.



CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

Le travail d'exploration in situ sur la source de Bekkaria, dite El khangha, durant cette période Hautes Eaux de l'année 2022 et le traitement de toutes les données de base, nous permettent de donner une synthèse préliminaire sur les conditions d'émergence de la source et leurs variabilités dans le temps et en fonction des paramètres chimiques.

L'étude a permis de mettre en évidence :

L'émergence de la source est due aux trois conditions d'ordre morphologique :

- la surélévation du substratum imperméable marneux du Turonien et de l'Emscherien ;
- Un levé topographique en forme de dépression en donnant le col de Bekkaria ;
- Un levé piézométrique convergeant au niveau de la source et divergeant au niveau de Hennchir El Hadjra Es Safra ;

Le traitement et l'analyse des données hydrométriques (débit d'écoulement) ont révélé que :

- L'écoulement suit un régime d'irrégularité soutenu par les précipitations ;
- De point de vue valeur l'écoulement a connu un quasi constance de très faibles débits et hauteurs. Ceci peut être expliqué par l'intensification de la sécheresse qu'a vécue la région.
- Aucune crue n'a été enregistrée durant cette période et même dans les autres périodes historiques ;
- L'écoulement de la source augmente vers la ligne de relief où les calcaires de Turonien Moyen affleurent en surface. Ceci peut être du à la sur élévation du substratum imperméable des marnes du Turonien Supérieur, au sens Sud-Nord de l'écoulement souterrain et aux apports d'alimentation en eau provenant des dernières formations.

Les analyses hydro chimiques réalisés montre que :

- Les eaux de la source sont toujours de qualité Bicarbonaté-Calcique, de bonne à moyenne qualité où les normes internationales sont respectées ;
- Le pole calcique est dominant dans l'eau avec une tendance de transfert croissante de l'amont vers l'aval ;
- De point de vus anions, l'eau est mixte du forage A89 à la rigole, avec un changement anionique au niveau de la fontaine où le pole bicarbonaté est le plus dominant ;
- Le régime chimique est très irrégulier de la même manière que l'écoulement, où l'eau est de forte minéralisation chargée en période de faible température (Février/ Mars) en bicarbonates, calcium et magnésium, chlorures, sodium potassium. Cependant l'eau est riche en sulfates et en silice quand les températures commencent à s'élever aux mois d'Avril et Mai et les précipitations deviennent plus importants (selon les données historiques, Seghir K. , 1997).

- Le chimisme de l'eau suit une relation indépendante non linéaire avec l'écoulement mais, en général, les concentrations s'élèvent avec la diminution des paramètres hydro-pluviométriques, en marquant l'impact négatif de la sécheresse sur la qualité de l'eau.
- Les calcaires fissurés du Turonien moyen jouent un rôle important dans l'évolution du chimisme de l'eau de la source.

Enfin, il est clair que cette étude reste spécifique à une période des hautes eaux, de très faible apport d'eau, en raison d'une sécheresse prolongée et sévère.

Alors, nous proposons une continuité de travail sur une période très étalée au moins trois cycles hydrologiques afin de connaître mieux les conditions d'émergence de la source de Bekkaria et leur évolution dans le temps.



Bibliographie



Bibliographie

G.castany (1968) ; prospection et exploitation des eaux souterraines ; Dunod.

G.castany : principes et méthodes de l'hydrogéologie.

Carte topographique de bakarra-El houldjbet ;Echelle 1 / 50.000

G.DUROZOY (1956) ; Carte géologique de tebessa Echelle 1 / 50.000. (N°206).

Direction hydraulique de Tébessa (**D.H.W.T**).

Service de mobilisation des ressources en eau : réalisation d'un forage de remplacement d'eau dans la commune de Bekkaria (forage FA7).

Direction des ressources en eau de la wilaya de tebessa :réalisation d'un forage d'exploitation d'eau dans la région de Bekkaria (forage BEK 3).

Bagnouls et Goussen 1953.1957 ;Diagramme pluviothermique .

DE.Martone1923 ; Abaque de l'Indice d'aridité Annuel .

Hemali I 2020 ; actualisations des données hydrogéologiques et hydrochimiques du bassin versant Tébessa-Morsott, université larbitébessi- Tébessa

Seghir k 1996-1997 ; Essai d'étude des conditions physico-chimiques de l'émergence de la source de Bekkaria à travers un suivi in-situ des quatre dernière mois <février-mai>période des hautes eaux de l'année 1996-1997.

site web :

.<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

. caractéristiques principales des nappes : les paramètres hydrodynamiques.(définitions)- SIEGES. Seine-Normandie-2021.

(In. Site web Nasa. WWW.) ;variation des températures moyennes mensuelles (1997/1998-2017/2018).