

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 - قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Spécialité/Option: Hydrogéologie
Département: Sciences de la Nature et de la Vie

Thème :

**Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines dans la région
de El Fedjoudj - Hiléopolis dans la wilaya de Guelma**

Présenté par : BORDJ AYMEN

BENDOUKHANE CHOUAIB

Devant le jury composé de :

Président: A . BRAHMIA _ M.C.A

Université de Guelma

Examineur : T. NOUAR _ Professeur

Université de Guelma

Encadreur : L . BENNACER _ M.C

Université de Guelma

Juillet - 2019

Résumé

Les études hydrogéologiques et hydrochimique permettent de déterminer les divers structures et formations géologique qui construire la structure de notre sous-sol et leur potentialités aquifères et aussi la qualité de l'eau des forages et les variations spatiaux des paramètres physico-chimiques dans notre zone d'étude.

D'après les études géologiques, hydrogéologiques et hydrochimique nous constatons que nos résultants sont concordants et montre bien la structure des calcaires par leur affleurement dans la région de Hammam Bradaâ, Bouzitoune, Nord de Héliopolis et El Fedjoudj ou par leur plongement vers le Nord et vers le Sud, cette structure est mise en place par la tectonique cassante (des failles), ce qui nous montre l'intérêt hydrogéologique de cette zone favorable à la formation des aquifères.

ملخص

تتيح الدراسات الهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية تحديد الهياكل المختلفة والتكوينات الجيولوجية التي تبني بنية التربة السطحية الخاصة بنا وإمكانيات طبقة المياه الجوفية الخاصة بها وأيضاً جودة مياه الآبار والتغيرات المكانية للمعلمات الفيزيائية والكيميائية في منطقة دراستنا

وفقاً للدراسات الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية ، نلاحظ أن نتائجنا متطابقة وتوضح بنية الحجر الجيري من خلال نتوءاتها في منطقة همام برداع ، وبوزيتون ، وشمال مصر الجديدة والفجودج أو عن طريق غمسهم في الشمال و في اتجاه الجنوب ، تم إنشاء هذا الهيكل بواسطة التكتونية الهشة ، مما يوضح لنا الوضع الهيدروجيولوجي لهذه المنطقة المواتية لتشكيل طبقات المياه الجوفية.

summary

Hydrogeological and hydrochemical studies make it possible to determine the various structures and geological formations that build the structure of our subsoil and their aquifer potential and also the quality of the water of the boreholes and the spatial variations of the physicochemical parameters in our zone. 'study.

According to the geological, hydrogeological and hydrochemical studies we note that our results are concordant and shows the structure of the limestones by their outcrop in the region of Hammam Bradaâ, Bouzitoune, North of Heliopolis and El Fedjoudj or by their dipping to the North and towards the South, this structure is set up by the brittle tectonic (faults), which shows us the hydrogeological interest of this area favorable to the formation of aquifers.

Remerciement

Remerciement

- Je tiens à remercier vivement tous ceux qui m'ont apportés un soutien pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude, particulièrement ma famille.
- Toute ma gratitude pour ma promotrice M^{me} BENNACER pour ses judicieux conseils ainsi que sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce travail.
- Mon respect s'adresse aux membres de jury « M^{er} BRAHMIA.A , M^{er} NOUAR.T » qui m'on feront l'honneur d'apprécier ce travail.
- Je tiens à présenter par occasion tout mon respect à tous les enseignants qui ont contribués à ma formation du primaire jusqu'au cycle universitaire.
- Un GRAND remerciement particulier est adressé à M^{er} MEKKAOUI Abd Alhafidh , M^{er} BOURAGBI Housseem et M^{me} HARIDI Loubna pour leurs précieux conseils et orientations



dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect.

- A mes parents pour les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard
- A mes frères et soeurs
- A toute ma famille
- A mes amis sans exception
- A tous ceux qui luttent pour une Algérie meilleure et une démocratie majeure

TABLE DE MATIRES

Résumé
ملخص
Abstract
Remerciement
Dédicace 1
Dédicace 2
Table des matières
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : CADRE PHYSIQUE

I. Situation géographique de la wilaya de Guelma	2
II. Situation géographique de la zone d'étude	3
III. La géomorphologie	4

CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

Introduction.....	5
I. Stratigraphie des différentes unités structurales.....	6
I.1. Les formations récentes.....	6
I.1.1. Le Quaternaire.....	6
I.1.2. Le Mio-Pliocène.....	7
I.2. Les formations anciennes.....	7
I.2.1. La nappe numidienne.....	7
I.2.2. La nappe des Flyschs.....	7
• Flysch de type Guerrouch	8
II.2.3. La nappe ultra –tellienne	8
II.2.4. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara.....	8
II.2.5. La nappe ultra- tellienne de Djebel Bou Sbaâ	8
II.2.6. La nappe tellienne	9
II.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Oulad Ali.....	9
II.2.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Ägba-Sellaoua Announa.....	9
II.2.7. La nappe néritique constantinoise	9
II.2.7.1. A l'Est de Djebel Debagh	9
II.2.7.2. A Hammam Oulad Ali.....	10
II.2.7.3. Au Douar Bouzitoune-Héliopolis.....	10
II.1.7.4. A la station Nador	10
III. Schéma structural	10

Conclusion.....	12
-----------------	----

CHAPITRE III : L'HYDROCLIMATOLOGIE

Introduction.....	13
I. Les précipitations	13
I.1. Les précipitations inter-annuelles	13
I.2. Répartition mensuelle des précipitations.....	16
II. Les températures.....	17
III. Bilan hydrique.....	17
III.1.L'évapotranspiration potentielle (ETP)	18
III.2.L'évapotranspiration réelle (ETR)	19
IV. L'interprétation du Bilan hydrique	21
V. Estimation du ruissellement.....	22
VI. Estimation de l'infiltration.....	22
VII. Calcul d'indice d'aridité.....	22
Conclusion	23

CHAPITRE IV : HYDROGEOLOGIE

Introduction.....	24
I. Aperçu hydrogéologique de la région de Guelma.....	24
II. Hydrogéologie de la zone d'étude.....	25
II.1. La nappe de Hammam Bradaâ	25
II.2.La nappe de Héliopolis (Bouzitoune).....	24
II.3.La nappe d'El Fedjoudj et Oulad Ali.....	25
III. Inventaire des points d'eaux.....	25
III.1.Les forages d'eau	25
IV. Identification des aquifères.....	28
Conclusion	30

CHAPITRE V : Matériels et Méthodes

I.Méthodes et stratégie de travail	32
I.1Échantillonnage et modes de prélèvements	32
I.2.Mesures <i>in situ</i> et transport.	33
I.3.Analyse physico-chimique au laboratoire.....	33
I.3.1. Les éléments majeurs.....	33

CHAPITREVI :HYDROCHIMIE

Introduction.....	39
I. Qualité des données.....	39
I.1Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats.....	39
II. Détermination des faciès chimiques.....	41
II.1Représentation des faciès chimiques.....	41
II.1.1Classification de Piper.....	41

II.1.1.1 Formule caractéristique de STABLER	43
III Résultat et discussion.....	44
III.1. Paramètres physicochimiques.....	44
III.1.1. Mesure in situ.....	44
III.2.1. température de l'eau.....	45
III.2.2. Potentiel hydrogène.....	45
III.2.3. conductivité électrique.....	46
III.2.4. Eléments minéraux majeurs	47
III.2.4.1. Cations.....	48
III.2.4.1.1. Calcium (Ca ²⁺).....	48
III.2.4.1.2. Magnésium (Mg ²⁺).....	48
III.2.4.1.3. Sodium (Na ⁺).....	49
III.2.4.1.4. Potassium (K ⁺).....	50
III.2.4.2. Anions.....	51
III.2.4.2.1. Chlorures (Cl ⁻).....	51
III.2.4.2.2. Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	51
III.2.4.2.3. Bicarbonates (HCO ₃ ⁻).....	52
III.2.4.2.4. Titre hydrotimétrique.....	53
Conclusion	55

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

Liste des tableaux :

Tableau.1 :Coordonnées de la station météorologique de Guelma.....	
Tableau.2 : Précipitations interannuelles à la station de Guelma (station de Guelma).	
Tableau.3. Moyennes mensuelles des précipitations station de Guelma(2004-2017).	
Tableau.4.Températures moyennes mensuelles station de Guelma (2004-2017).	
Tableau.5. Coefficients d'ajustement mensuel.	
Tableau.6. Calcul du bilan hydrique.	
Tableau.7. Estimation des paramètres du bilan hydrique.	
Tableau.8 : Inventaire des forages de la zone d'étude (fiches techniques de la direction d'hydraulique.....	
Tableau.9 : Balance ionique des éléments majeurs de chaque échantillon mg/l.....	40
Tableau.10 : Balance ionique des éléments majeurs de chaque échantillon mes/l.....	40
Tableau.11 : exemple de calcul.....	41
Tableau.12 : Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER.....	43
Tableau.13 : Résultats des paramètres mesurés in situ de chaque échantillon.....	44
Tableau.14 : Les résultats des analyses de cations et anions.....	47
Tableau.18 : Classification de TH d'après Sawyer et Mccarty (1967).....	53
Tableau.19 : Représentation de la dureté des forages.....	53
Tableau.20 : Comparaison des résultats avec les normes de l'OMS (2011).....	54

Liste des figures :

Figure. 01 : Carte de situation Géographique de zone d'étude.....	03
Figure. 02 : Carte de la géomorphologie de la zone d'étude.....	04
Figure.05 : Les unités paléogéographiques de la chaîne alpine en Algérie.....	05
Figure .06 : Carte géologique de Guelma.....	06
Figure .07 : carte géologique de la zone d'étude.....	11
Figure .08 : Moyennes des précipitations mensuelles(mm).....	16
Figure .09 : Histogramme des températures moyennes mensuelle en(mm).....	17
Figure .10 : Diagramme pluviothermique.....	21
Figure .11 : Carte d'emplacement des forages.....	26
Figure .12 : La coupe lithologique I.....	29
Figure .13 : Coupe Lithologique II.....	30
Figure.14: Carte d'inventaire des points de prélèvement.....	33
Figure. 15 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de PIPER.....	42
Figure. 16 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de STABLER.....	44
Figure.17 : Evolution de la température de l'eau et de l'air dans les quatre puits.....	45
Figure .18 : Evolution du pH dans les quatre puits.....	46
Figure .19 : Evolution spatiale de la Conductivité électrique dans les quatre puits.....	47
Figure.20: Variations des teneurs en calcium des eaux souterraines dans les quatre puits....	48
Figure .21: Variations des teneurs en magnésium des eaux de quatre puits.....	49
Figure. 22: Variations des teneurs en sodium des eaux souterraines dans les quatre puits.....	50
Figure.23: Variations des teneurs en potassium des eaux souterraines dans les quatre puits.....	50
Figure.24: Variations spatiales des teneurs en Chlorures des eaux souterraines dans les quatre puits.....	51
Figure.25: Variations spatiales des teneurs en Sulfates des eaux souterraines dans les quatre puits.....	52

Ce mémoire a pour thème : «Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines dans la région de El Fedjoudj et Héliopolis»

L'étude qui suit, fait partie d'un travail d'ensemble sur les études Hydrogéologique et hydrogéochimie. Elle a pour but d'approfondir les connaissances hydro-chimique et Hydrogéologique.

Dans cette étude on essaiera de présenter les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines et Hydrogéologiques des forages et la relation qui existe entre eux au point de vue lithologique.

Notre mémoire comporte cinq chapitres :

Chapitre I :Il traite le contexte Physico-géographique de la région investiguée.

Chapitre II :L'étude géologique

Chapitre III :L'Hydro-climatologie qui permet d'étudier le climat de la région. Le bilan hydrique qui permet l'estimation rapide de l'ETR et d'étudier la variation de la répartition spéciale des précipitations dans la région d'étude.

Chapitre VI :L'Hydrogéologie pour avoir une idée sur les caractéristiques du système aquifère de la région investiguée.

Chapitre V :c'est la partie principale qui traite l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines de la zone d'étude, les résultats de l'interprétation sont présentés sous forme graphique et une carte de synthèse élaborer avec le logiciel ArcGIS.

Le but de cette étude est :

- D'arriver à délimiter les zones susceptibles de présenter un intérêt hydrogéologique.
- Suivre la variation spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.

Ce mémoire a pour thème : «Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines dans la région de El Fedjoudj et Héliopolis»

L'étude qui suit, fait partie d'un travail d'ensemble sur les études Hydrogéologique et hydrogéochimie. Elle a pour but d'approfondir les connaissances hydro-chimique et Hydrogéologique.

Dans cette étude on essaiera de présenter les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines et Hydrogéologiques des forages et la relation qui existe entre eux au point de vue lithologique.

Notre mémoire comporte cinq chapitres :

Chapitre I :Il traite le contexte Physico-géographique de la région investiguée.

Chapitre II :L'étude géologique

Chapitre III :L'Hydro-climatologie qui permet d'étudier le climat de la région. Le bilan hydrique qui permet l'estimation rapide de l'ETR et d'étudier la variation de la répartition spatiale des précipitations dans la région d'étude.

Chapitre VI :L'Hydrogéologie pour avoir une idée sur les caractéristiques du système aquifère de la région investiguée.

Chapitre V :c'est la partie principale qui traite l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines de la zone d'étude, les résultats de l'interprétation sont présentés sous forme graphique et une carte de synthèse élaborer avec le logiciel ArcGIS.

Le but de cette étude est :

- D'arriver à délimiter les zones susceptibles de présenter un intérêt hydrogéologique.
- Suivre la variation spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines.

I. Situation géographique de la wilaya de Guelma :

La zone d'étude se trouve au centre de la wilaya de Guelma, cette dernière est située au Nord-Est Algérien, à 65 km au Sud de la ville d'Annaba, au Nord-Est d'El-Taraf, à 80km au Sud-ouest Skikda, à 116 km à l'Est de Constantine, à 120km au Nord-Ouest d'Oum-El-Bouaghi, et à 77km au Nord-Est de Souk-Ahras, et enfin au Sud par une ramification de chaînes montagneuses de l'Atlas Tellien.

La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 9089,10 km² fait partie du bassin versant de Oued Seybouse, ce dernier est limitée par les coordonnées Lambert suivantes :

- $X_1=319.00$ km $X_2=941.00$ km
- $Y_1=359.00$ km $Y_2=957.500$ km

La plaine de Guelma constitue la moyenne Seybouse qui s'étend depuis Medjez Ammar à l'Ouest jusqu'au village de Nador à l'Est sur 26 km.

Les reliefs les plus importants qui constituent les limites du sous bassin de la moyenne Seybouse sont :

Au Nord: massif de Haouara et Djebel Bou Sbaâ.

Au Nord-Ouest: djebel Debagh.

Au Sud : massif de Mahouna.

A l'Est : les formations triasique de Nador et N'bails.

La plaine de Guelma est constituée en effet, par deux plaines alluviales d'altitudes différentes raccordées par gradins

- La plaine de la vallée actuelle de l'Oued Seybouse (Oued formé par la confluence des Oueds Cherf et Bouhamdane) présente une largeur moyenne de 1 km, une altitude variable entre 220 m à Medjez Ammar(Ouest) et 120m à Nador(Est).
- plaine de la vallée ancienne, qui domine la précédente dont l'altitude varie entre 230 et 280m, et s'étend entre la ville de Guelma à l'Ouest et la ville de Boumahra Ahmed à l'Est.

II. Situation géographique de la zone d'étude:

La zone d'étude se trouve au centre de la wilaya de Guelma elle est limité par :

- Au nord par les communes Nechmaya et Bouati Mahmoud et les lignes de crêtes de Djbel bouzitoune.
- Au nord-ouest djbel bou asloudj et Djbel Debagh.
- A l'ouest par les communes Roknia, Hammam Debagh et Medjaz Ammar.
- Au sud par la communes de Guelma et par Oued Sybouse.
- A l'est par les communes G.Bousbaa et Belkhir

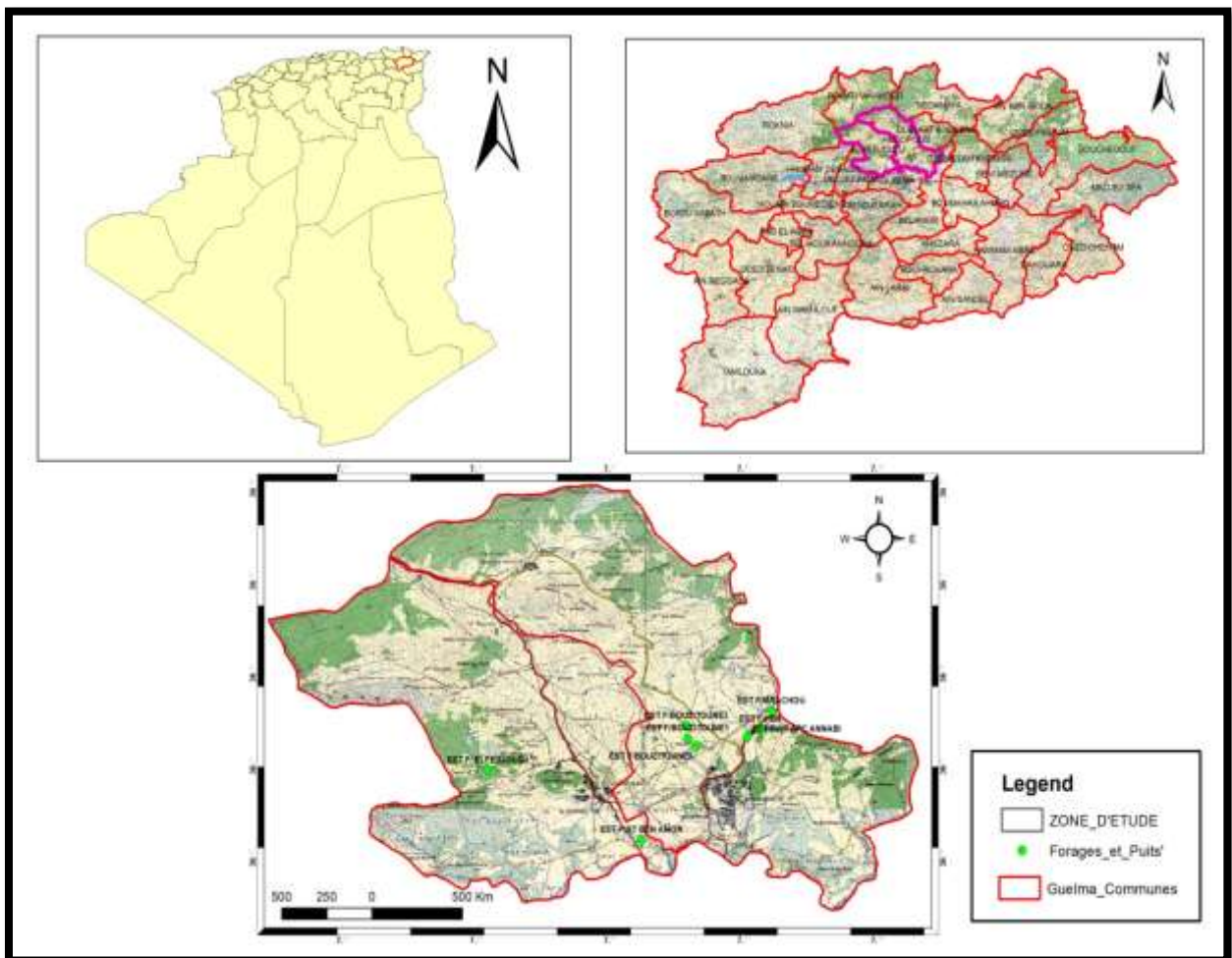


Figure 01 : Carte de situation Géographique de zone d'étude

III- La géomorphologie :

La géomorphologie de la zone d'étude se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une couverture forestière moyennement importante.

Ce relief se décompose comme suit:

- **Les montagnes :** avec des altitudes comprises entre : 432-861 m
- **Collines et Piémonts :** avec des altitudes comprises entre : 348-431 m
- **Plaines et Plateaux :** avec des altitudes comprise entre : 167- 347 m

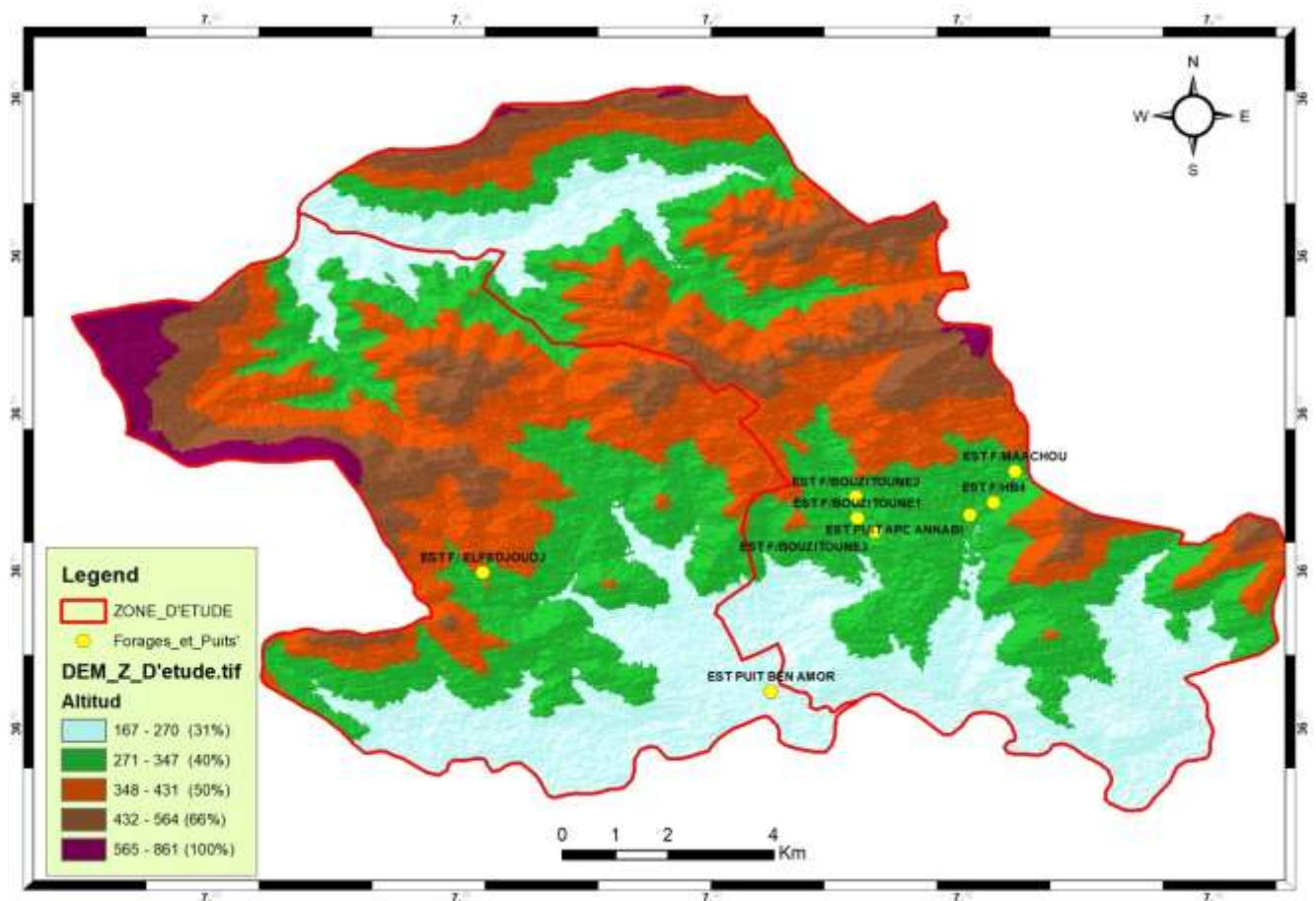


Figure 02 : Carte de la géomorphologie de la zone d'étude.

Introduction :

L'Algérie comprend quatre domaines du Nord au Sud :

- * **l'Atlas tellien (ou le Tell)**, constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja
- * **les hautes plaines**, le Chélif à l'Ouest et le Seybouse à l'Est et les Hauts Plateaux;
- * **l'Atlas saharien**, forme une longue suite de reliefs orientés Nord Est –Sud Ouest s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie;
- * **le Sahara**, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'Ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement, la limite méridionale le du Sahara algérien (figure 5).



Fig.5. Les unités paléogéographiques de la chaîne alpine en Algérie.

La région d'étude fait partie des zones externes de la chaîne des maghrébines de l'Algérie orientale.

I. Stratigraphie des différentes unités structurales :

D'après (Vila, 1980), on distingue du terrain le plus récent au plus ancien : le quaternaire, le Mio-pliocène, la nappe numidienne, les nappes des Flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne et la nappe néritique constantinoise (figure 6).

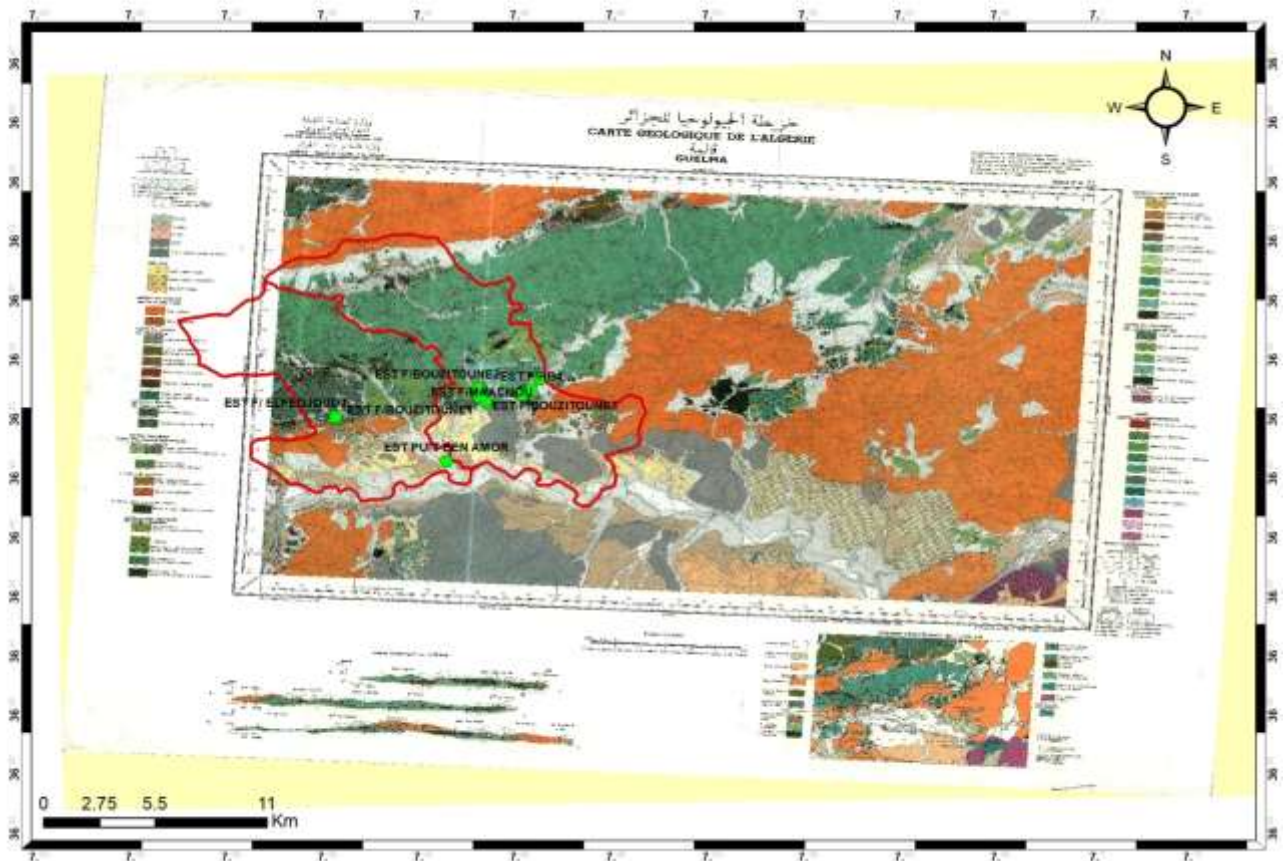


Figure 06 : Carte géologique de Guelma (Vila 1980).

I.1. Les formations récentes

I.1.1. Le Quaternaire :

D'Ouest en Est, l'Oued Seybouse a déposé des quantités importantes de matériaux détritiques. De haut en bas, on distingue les terrasses suivantes :

1. La basse terrasse (d'âge Soltanien) : elle est constituée des alluvions du lit de l'Oued actuel avec 15 m d'épaisseur. Ce sont essentiellement des limons et cailloux enroulés brun clairs ou grisâtres formant des terres arables favorables aux cultures maraîchères et agrumes.

2. La moyenne terrasse (d'âge Tensifien) : elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude par rapport à l'Oued Seybouse et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.

3. La haute terrasse (d'âge Salétien) : ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce vers le Nord. Elles sont constituées de gros galets de type *Ranà* dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud ce sont des calcaires lacustres et tufs d'âge Quaternaire ancien à Pliocène supérieur qui occupent de grandes surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de *Charophytes* (Vila, 1980).

I.1.2. Le Mio-Pliocène :

Ce sont des argiles grises avec intercalations de marno-calcaires et gypse en couches minces. Elles surmontent des argiles et des conglomérats rouges.

La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'argile marneuse et de grès jaunâtres friables bien développée au Sud de Guelma.

I.2. Les formations anciennes :

I.2.1. La nappe numidienne :

Elle constitue les sommets des reliefs en l'occurrence de Djebel Haouara, Beni Mezline et Mahouna. Elle est marquée par la présence d'un faciès gréseux et argileux à *Tubotomaculum* (Lahondère, 1987).

II.2.2. La nappe des Flyschs :

Les affleurements sont dispersés à la périphérie des vastes radeaux numidiens qui ceinturent la cuvette de Guelma. Vila (1980) distingue:

- Céno-manien-Turonien : Il est représenté par des niveaux bréchiques clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches. Ces formations sont datées par : *Rotalipona sp*, *Thalmaninella sp* et *Globotruncana helvética*.

- Sénonien : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60cm) montrent des figures de convoluté "bedding". Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysch. Dans les affleurements des talus Ouest de la route Guelma-Annaba, la microfaune est représentée par : *Globotruncana Sheegansi* et de rares *orbitoides* Tissoti.

- **Flysch de type Guerrouch :**

Le Crétacé inférieur : c'est une série gréseuse à intercalations argilo- schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au pied- mont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs calcaires à *Nannoconus*.

-Le complexe de base avec calcaires fins: c'est une série argilo-gréseuse à intercalations de biomicrites claires en bancs centimétriques très froissés à *Nannoconus*.

II.2.3. La nappe ultra –tellienne :

Ce terme a été proposé par Durand Delga pour désigner dans la région de Guelma, les séries superposées anormalement au **Crétacé néritique constantinois du Djebel Debagh** et du **Douar Bouzitoune** (Vila, 1980). Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

II.2.4. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara :

Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la forêt des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont constituées par l'alternance de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en *Rosaline*.

L'âge de la série est compris entre le Sénonien inférieur et le Barrémien supérieur qui contient *Phylloporachyeras Barodeuse Cop*.

II.2.5. La nappe ultra- tellienne de Djebel Bou Sbaâ :

L'âge de la série est compris entre l'Aptien et le Lutétien. Elle est développée essentiellement au Nord de la zone d'étude, dans la région de Guelâat Bou Sbaâ. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. Les microfaunes ayant servi à la datation sont variées. On peut citer entre autres, une microfaune à *Truncorotaliagr*, visible sur la berge est de l'Oued Seybouse près de Medjez Amar, *Globorotalia rex Martin* et *G.aff.Velascoensis* (CUSH) dans les marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse au Nord de Djebel Debagh (Vila et al, 1968).

II.2.6. La nappe tellienne :

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes.

II.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Oulad Ali :

Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaâ et autour du pointement néritique du djebel Debagh.

Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaâ (Vila, 1980). La microfaune est représentée par *Globotruncana stuartiformis* DALB, *Rotalipora* sp et *Hedbergella Washitensis* Carsey.

II.2.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Ägba-Sellaoua Announa :

Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes où l'on distingue :

- 1- L'unité tellienne inférieure à nummulites qui comprend un Paléogène à marnes noires et un Eocène calcaire massif à nummulites.
- 2- l'unité tellienne supérieure à *Globigérines* qui comprend un Paléocène constitué de marnes, un Eocène à calcaires en bancs à lumachelles et un Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées.

II.2.7. La nappe néritique constantinoise :

Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables (Vila, 1980). Ils apparaissent au sommet oriental du djebel Debagh, s'ennoient à l'Est sous les nappes précédemment citées pour réapparaître en fenêtres à Hammam Oulad Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Hammam Bradaâ et enfin à l'Ouest de la station Nador.

II.2.7.1. A l'Est de Djebel Debagh « Debar » :

On distingue de haut en bas :

- Les niveaux siliceux : ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre les calcaires à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.
- Les calcaires massifs organo-détritiques à *orbitoides* cf. *Média* D'ARCH attribués au

Campanien.

-A la base, les dolomies noires épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

II.2.7.2. A Hammam Oulad Ali :

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétriques d'âge sénonien sous les marno-calcaires de la série ultra -telliennne.

II.2.7.3. Au Douar Bouzitoune-Héliopolis:

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur à *Orbitolina Subconcava Parocoskinolina Sunnilandensis*, le Vraconien Cénomanienn inférieur à *Orbitolines* roulées et à *Mélobésiées*, le Sénonien transgressif sur des niveaux à *orbitoides Medina*, *Sidérolites Vidalii*, *Globotruncana Linnei* du Campanien ou du Maestrichtien basal.

II.2.7.4. A la station Nador:

Sous les calcaires massifs à *Rudistes* du Barrémien, l'existence des niveaux à *Favreina Salevensis* et *F.Prusensis* au-dessus d'un ensemble de couches pélitiques ou gréseuses rouges attribués au Trias moyen et supérieur témoigne du passage Jurassique Crétacé.

III. Schéma structural :

La structure actuelle de la région d'étude est la conséquence d'une série de mouvements tectoniques. Les différentes phases mises en évidence peuvent se résumer ainsi :

Les effets tectoniques de la région d'étude se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et refoulement intense des plis qui situées à la partie Nord, avec des contacts anormaux qui peuvent être résumé comme suit :

Les contacts par les failles : qui répartie au niveau de toute la zone d'étude avec une direction de Nord, Est - Sud, Ouest et surtout à Bouzitoune et Djebel BOUCHAHARINE.

Les chevauchements : situés à Djebel Bou Sbaâ et Hammam Bradaâ et au Nord de la commune d'El Fedjoudj.

Notre zone d'étude est traversée par un champ de faille très important, pour illustrer ces accidents tectoniques qui peuvent être un lieu favorable à la circulation des eaux souterraines nous avons choisi, un extrait de la coupe géologique (B sur la figure 8) de la carte géologique de Guelma, (figure 7)

Sur cette coupe on peut voir les formations plissées au niveau du calcaire avec des failles verticales à Hammam Oulad Ali qui traduisent une tectonique cassante importante, On peut voir aussi des contacts anormaux à Bouzitoune.

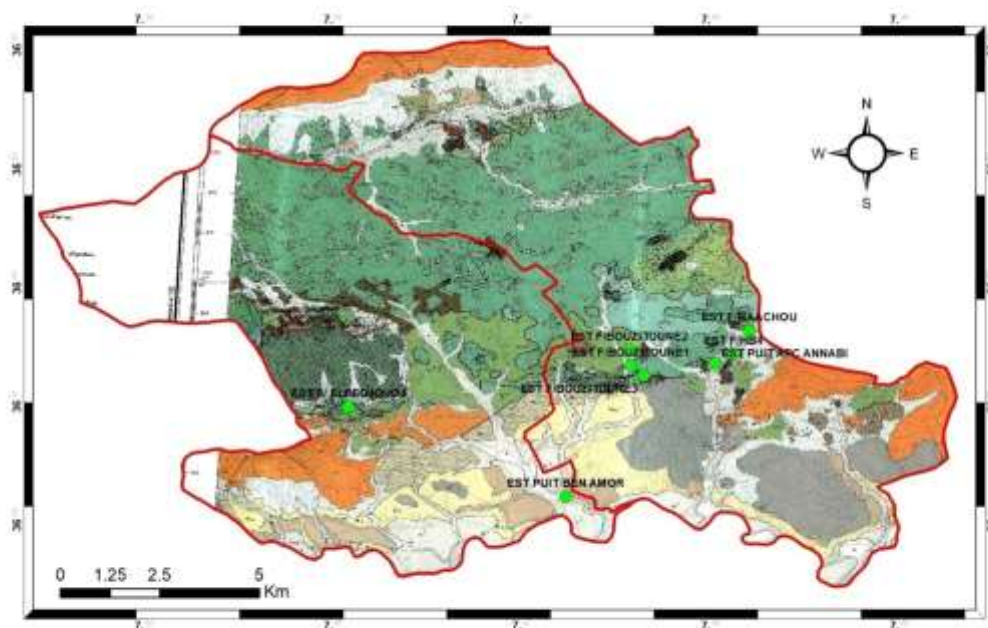


Figure 07 : carte géologique de la zone d'étude

Conclusion :

La géologie de notre zone d'étude affectée l'étude hydrogéologique dont laquelle, elle nous donne des informations brèves qui sont favorables d'être une aquifère.

Elle marque que notre zone investigue constituée des formations carbonatées qui affleure C Hammam Bradaâ et surtout au niveau de Bouzitoune (Héliopolis) et au Nord de la commune d'El Fedjoudj

Introduction

L'étude climatologique est une opération indispensable dans toute approche hydrogéologique, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles.

En plus elle permet d'avoir une idée sur la répartition des différents paramètres du bilan hydrologique notamment, les précipitations (P), l'évapotranspiration réelle (ETR), le ruissellement (R), et surtout l'infiltration (I).

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen.

Les coordonnées de la station météorologique de Guelma sont conclure dans le tableau 1 :

Tableau.1. Coordonnées de la station météorologique de Guelma.

Station	Longitude	Latitude	Altitude	Période d'observation	
				Précipitation	Température
Guelma	07°28'E	36°26'N	227	2004/2017	2004/2017

I. Les précipitations:

Les précipitations sont l'élément le plus important dans l'établissement du bilan hydrique parce qu'elles reflètent la circulation des eaux de surface et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des eaux de surface et souterraines.

I.1.Les précipitations inter-annuelles:

L'étude des variations interannuelles des précipitations a été réalisée sur une série de 14ans (2004 -2017), les données sont consignées dans le tableau 2 :

Tableau.2. Précipitations interannuelles à la station de Guelma (station de Guelma).

Année	P (mm)	CP	Remarque
2004	503.8	0.78	An. Défi
2005	938.5	1.46	An.Exc
2006	804.8	1.25	An. Exc
2007	541.0	0,84	An. Défi
2008	478.3	0.74	An. Défi
2009	723.0	1.12	An. Exc
2010	381.8	0.59	An. Défi
2011	890.3	1.38	An. Exc
2012	614.1	0.95	An. Défi
2013	711.0	1.10	An. Exc
2014	571.0	0.89	An.Défi
2015	630.6	0.98	An. Défi
2016	511.7	0.79	An. Défi
2017	668.6	1.04	An. Exc

L'analyse du tableau montre que :

P moyenne interannuelle = 640.60mm.

L'année la plus pluvieuse (2003) a une précipitation P = 938.5mm.

L'année la moins pluvieuse (2008) est caractérisée par une précipitation P = 381.8 mm.

Fig.9.Représentation graphique des variations interannuelles des précipitations station de Guelma (2004 -2017).

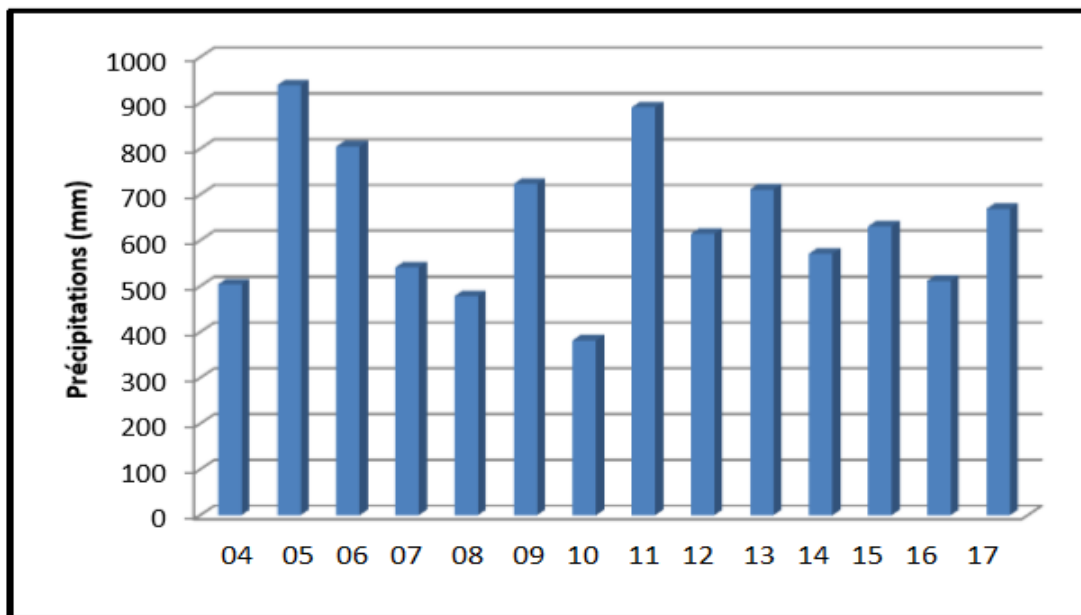


Figure 09 : Représentation graphique des variations interannuelles des précipitations station de Guelma (2004 -2017).

Le coefficient de précipitation:

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP) qui permet de déterminer les années excédentaires des années déficitaires.

Le coefficient pluviométrique est calculé par la formule suivante :

$$CP = P / P'$$

Avec : P : Pluviométrie de l'année considérée en mm

P' : Pluviométrie moyenne.

Nous avons deux cas : Si $CP > 1 \Rightarrow$ année excédentaire

$CP < 1 \Rightarrow$ année déficitaire.

$P' = 640.60\text{mm}$.

I.2.Répartition mensuelle des précipitations :

La répartition mensuelle des précipitations, au cours de l’année ainsi que leur variabilité nous permet de déterminer les périodes humides pendant laquelle les aquifères se rechargent (période des hautes eaux), les périodes sèches pendant lesquelles les réserves en eaux souterraines sont à leur niveau bas (basses eaux), le régime des cours d’eau et les fluctuations des niveaux piézométriques des nappes phréatiques.

Le tableau 3 montre la moyenne mensuelle des précipitations pour une période de 13 ans (2004-2017).

Tableau.3. Moyennes mensuelles des précipitations station de Guelma(2004-2017).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P(mm)	43.39	51.35	71.61	88.67	90.79	78.76	81.9	60.25	39.33	3.08	3.55	16.70

On peut conclure que le mois le plus pluvieux est le mois de janvier avec 90.79mm, et le mois le moins pluvieux c’est le mois de Juin avec 3.08 mm.

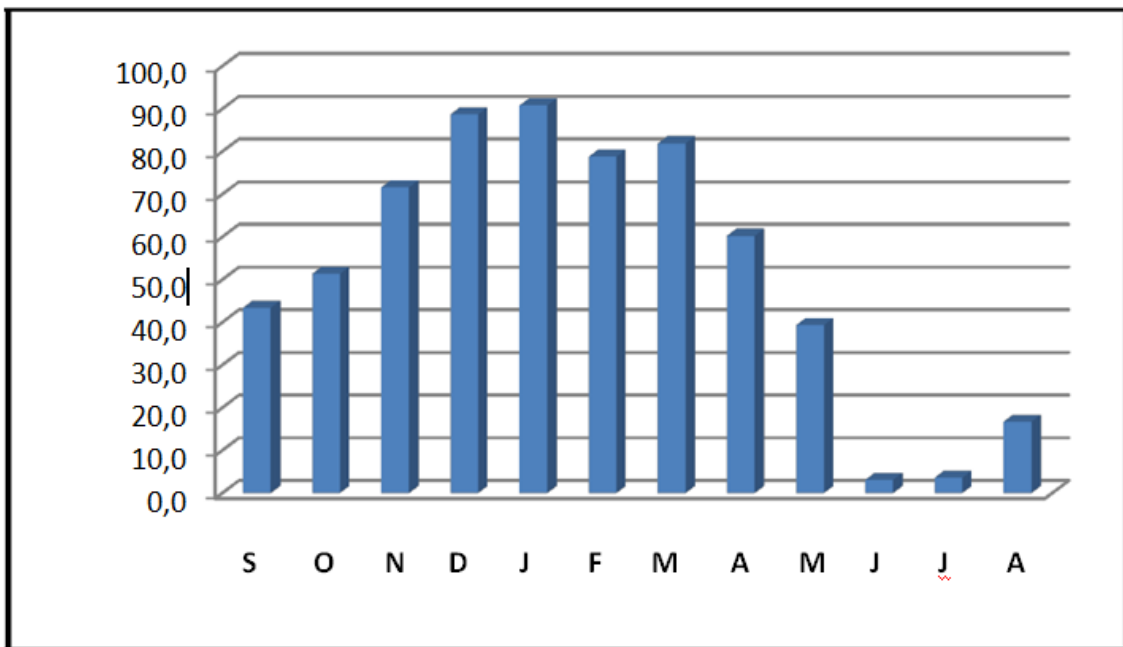


Figure 08 : Moyennes des précipitations mensuelles (mm)

L’histogramme des précipitations moyennes mensuelles montre que le mois de janvier est le plus pluvieux avec 90.79 mm, alors que le mois de Juin est le moins pluvieux avec 3.08mm.

II. Les températures:

La température est le facteur qui agit directement sur le phénomène de l'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Les variations des moyennes mensuelles des températures pour la même période des précipitations sont regroupées dans le tableau 4.

Tableau.4.Températures moyennes mensuelles station de Guelma (2004-2017).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T(C°)	23.64	21.69	14.70	10.84	9.65	11.55	14.51	25.58	22.82	24.07	27.45	27.3

On constate que le mois de Janvier est le plus froid avec une température de 9.65°, et le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec 27.45°, la figure 10 est une illustration graphique de ces variations.

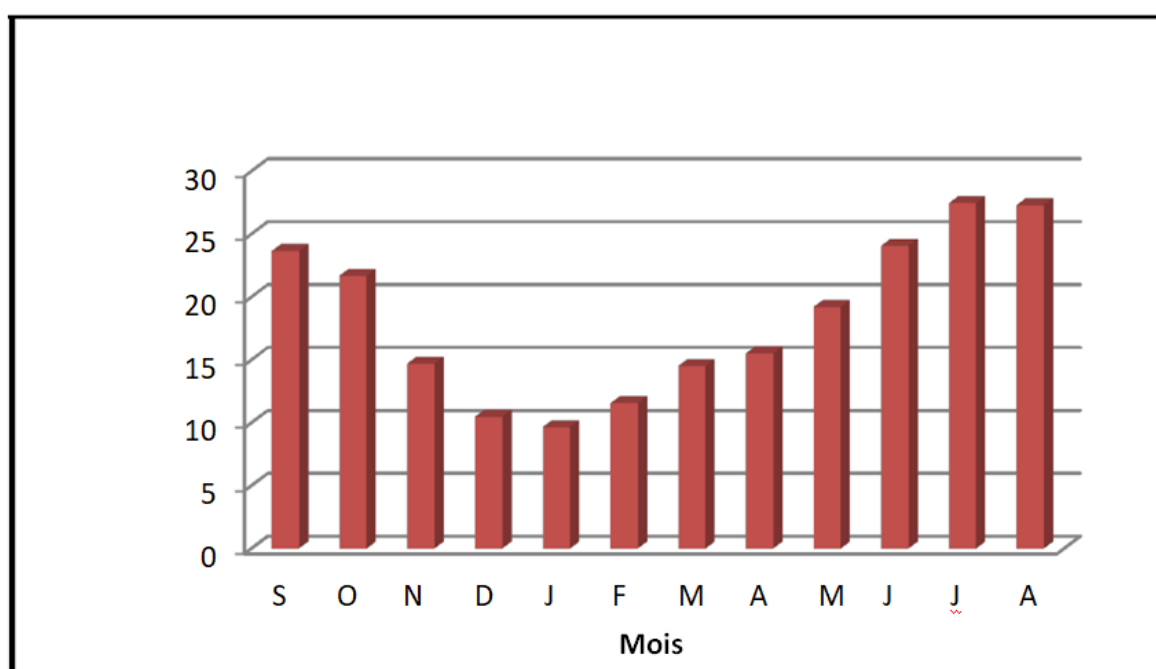


Figure 09 : Histogramme des températures moyennes mensuelles en mm.

III. Bilan hydrique :

L'étude du bilan hydrique permet d'évaluer la répartition des quantités d'eau reçues par un bassin versant entre ses différents composants (écoulement, infiltration et évapotranspiration). Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitations en mm

ETR : évapotranspiration réelle en mm

R : ruissellement en mm

I : infiltration en mm

Le bilan hydrique pour la station de Guelma et pour la période indiquée ci-dessus a été calculé par la méthode de (CW) THORNTHWAITE :

La formule de l'évapotranspiration potentielle (ETP) selon C.W.THORNTHWAITE tient compte de l'indice thermique et de température moyenne mensuelle.

Vu les caractéristiques intermédiaires du climat méditerranéen, cette formule est applicable dans le bassin. La méthode de THORNTHWAITE (1948) consiste à déterminer l'ETR en se basant sur les températures (°C), les précipitations (mm), le coefficient thermique mensuel (K), l'indice thermique mensuel (I) et la variation de stock en eau du sol.

III.1.L'évapotranspiration potentielle ETP :

L'évapotranspiration potentielle c'est la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer par les plantes sur une surface donnée, et pendant une période bien définie en considérant les apports d'eau suffisants. Elle est donnée par la relation suivante :

$$ETP = 1.6 (10t/I)^a .K$$

Avec:

$$i = (t/5)^{1.514}, I = \sum i$$

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

ETP : évapotranspiration mensuelle en mm.

t : température moyenne mensuelle (°C).

i : indice thermique mensuel.

I : indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

Les valeurs de l'ETP calculées pour chaque mois sont corrigées au moyen d'un coefficient qui tient compte du nombre de jours et d'heures réelles entre le lever et le coucher de soleil, ces coefficients sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau.5. Coefficients d'ajustement mensuel.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
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

III.2.L'évapotranspiration réelle ETR :

Pour le calcul de l'ETR, Thornthwaite a considéré deux cas possibles :

Si $P \geq \text{ETP} \rightarrow \text{ETP} = \text{ETR}$ dans ce cas on parle d'excédent de précipitations qui sera emmagasiné dans le sous-sol participant ainsi à l'augmentation des réserves en eau souterraines jusqu'à ce que ces dernières soient maximales, le surplus constitue l'excédent qui va être disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

Si $P < \text{ETP} \rightarrow$ dans ce cas l'ETR dépend de toutes les pluies mensuelles et le déficit est comblé par les réserves du sol (RFU) jusqu'à l'épuisement, ($\text{ETR} = P + \text{RFU}$)

Si la réserve facilement utilisable (RFU) contient l'eau nécessaire pour satisfaire le déficit, l'ETR est égale à l'ETP (1^{er} cas), dans le cas contraire la (RFU) est vide, l'ETR est liée aux précipitations mensuelle et le déficit constitue le déficit agricole (DA) qui représente la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes pour qu'elles ne souffrent pas de sécheresse.

$$\text{DA} = \text{ETP} - \text{ETR}.$$

Le calcul des différents paramètres du bilan hydrique pour la station de Guelma est résumé dans le tableau 6

Tableau.6. Calcul du bilan hydrique.

Mois	T	CL	ETPC	Pr	RFU	ETR	DA	Exc
S	23,64	1,03	98,1	43,38	0,0	43,38	54,72	0,0
O	21,69	0,97	78,9	51,35	0,0	51,35	27,55	0,0
N	14,7	0,86	34,2	71,61	37,41	34,2	0,0	0,0
D	10,84	0,81	18,4	88,67	100,0	18,4	0,0	7,68
J	9,65	0,87	15,9	90,79	100,0	15,9	0,0	74,89
F	11,55	0,85	21,7	78,76	100,0	21,7	0,0	57,06
M	14,51	1,03	40,0	81,9	100,0	40,0	0,0	41,9
A	15,52	1,10	48,3	60,25	100,0	48,3	0,0	11,95
M	19,21	1,21	78,7	39,33	60,63	78,7	0,0	0,0
J	24,07	1,22	120,1	3,08	65,0	63,71	56,39	0,0
J	27,45	1,24	155,5	3,55	0,0	3,55	151,95	0,0
A	27,3	1,16	144,0	16,7	0,0	16,7	127,3	0,0
Annuel	18,3		853,8	629,37		289,93	361,52	193,48

Afin de déterminer les périodes sèches et les périodes humides nous avons réalisé une courbe pluvio-thermique pour la station de Guelma figure 12

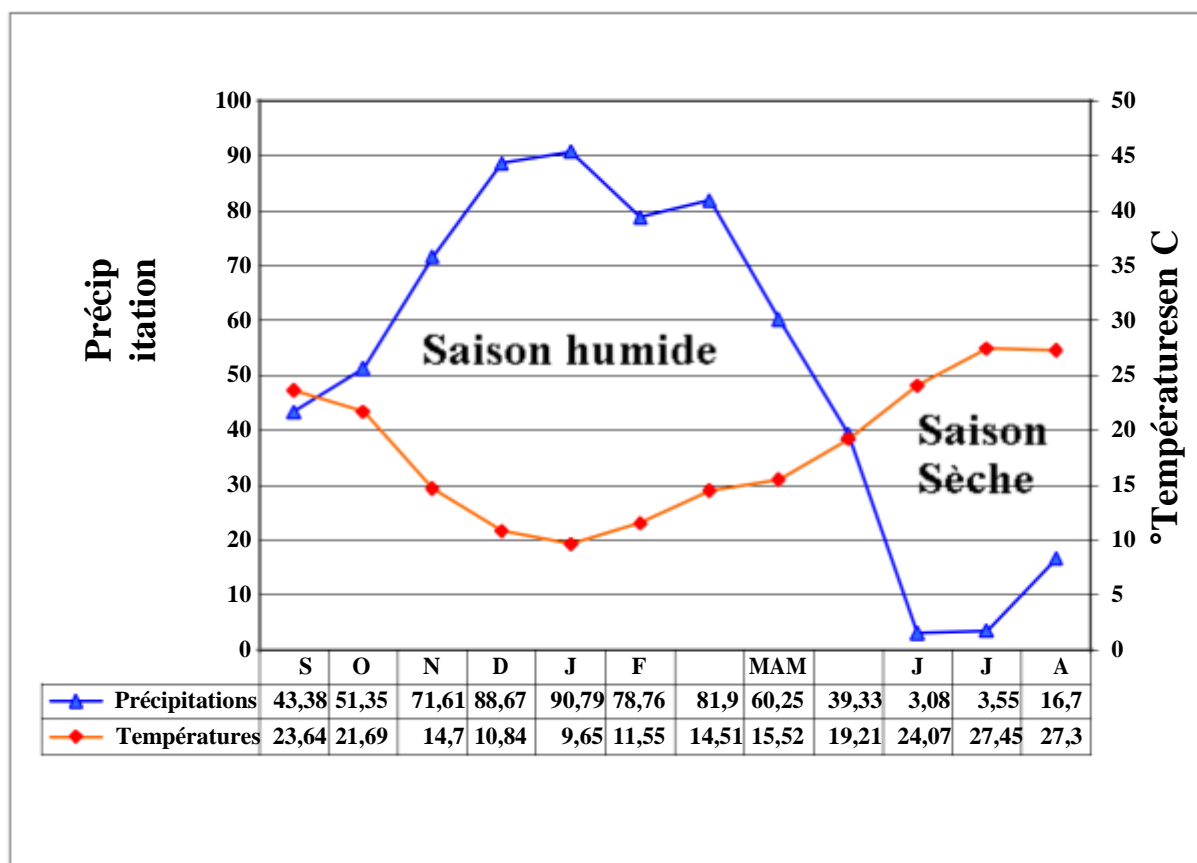


Figure 10 : Diagramme pluviothermique.

IV. Interprétation du Bilan hydrique :

Le Bilan hydrique (BH) a été établi selon la méthode de Thornthwaite parce qu'il est la plus appropriée au climat semi-aride et la plus proche de la réalité.

Les observations et les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- Quand les précipitations sont au maximum (Hiver), l'évapotranspiration potentielle (ETP) est à minimum, et vice versa.

- A l'échelle mensuelle, notre région d'étude accuse une période de sécheresse qui traduit par un déficit agricole de valeur 361.52mm, réparti sur quatre mois en allant du mois de Juin ou mois d'Octobre avec une valeur maximale de 151,95 mm au mois de Juillet.

- L'écoulement dure cinq mois, du mois de décembre jusqu'au mois d'Avril, avec une valeur maximale au mois de janvier de 74.89mm. Elle se produit après que la RFU soit satisfaite (RFU=100).

Pour la période de recharge de la RFU, elle dure depuis le mois de Novembre jusqu'au mois de Juin, et reste remplie pendant ces mois, qui correspond à la période de l'écoulement.

- La Température et l'ETP sont au minimum au mois de Janvier, avec respectivement des température de 9,65 C° et une ETP de 15,9 mm, avec précipitation maximale de 90,79 mm.

V. Estimation du ruissellement :

Le coefficient de ruissellement « R » renseigne sur quantité d'eau ruisselée durant la période 2002/2015. Il est calculé par la formule T'ixeront Berkaloff : $P < 600 \text{ mm/ans}$

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

R: Ruissellement (mm).

P: Pluviométrie annuelle moyenne (mm).

ETR: Evapotranspiration potentielle (mm).

VI. Estimation de l'infiltration :

L'infiltration est difficile à calculer quand on n'a pas des mesures faites sur le terrain, elle a été estimée de l'équation du Bilan hydrique de l'eau :

$$I = P - ETR - R$$

I: infiltration (mm).

P: Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle selon Thornthwaite.

R : Ruissellement (mm)

VII. Calcul d'indice d'aridité :

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

P : Précipitation mm.

T : Température moyenne annuel en °C

$$I = 629.37 / (18.3 + 10) \rightarrow I = 22.23$$

NB : Quand $20 \leq I \leq 30 \rightarrow$ Le climat est humide

Selon le calcul d'indice d'aridité, le climat est **humide**.

Les éléments du bilan hydrologique de la station de Guelma sont regroupés dans le tableau 7.

Tableau.7. Estimation des paramètres du bilan hydrique.

Paramètres	P mm/an	ETP mm/an	ETR mm/an	R mm/an	I mm/an
Guelma	629.37	853.8	289.93	113.99	185.38

Conclusion :

La région d'étude est, appartenant au domaine humide avec une température moyenne annuelle est de l'ordre 18.3°C, une pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 629.37mm.

La lame d'eau ruisselée constituée 113.99 mm des précipitations avec une infiltration de 185.38 mm qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes souterraines.

L'estimation du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite a montré qu'à partir du mois de Novembre, l'apport est considérable de la pluie, la chute de température et la diminution de l'évapotranspiration permet la recharge du sous-sol mais avec un déficit agricole enregistré à partir de mois du juin jusqu'au mois d'octobre

Introduction :

L'Algérie comprend quatre domaines du Nord au Sud :

- * **l'Atlas tellien (ou le Tell)**, constitué de reliefs escarpés et de plaines littorales dont les plus riches d'Algérie sont la Mitidja
- * **les hautes plaines**, le Chélif à l'Ouest et le Seybouse à l'Est et les Hauts Plateaux;
- * **l'Atlas saharien**, forme une longue suite de reliefs orientés Nord Est –Sud Ouest s'étendant de la frontière marocaine à celle de la Tunisie;
- * **le Sahara**, qui recèle l'essentiel des ressources en hydrocarbures, est un désert formé de grandes étendues de dunes (Erg Oriental et Erg Occidental), de plaines caillouteuses (regs) et parsemé d'oasis, qui sont autant de centres urbains comme El Oued, Ghardaïa et Djanet. Le massif des Eglab à l'Ouest et le massif du Hoggar à l'est forment, pratiquement, la limite méridionale le du Sahara algérien (figure 5).



Fig.5. Les unités paléogéographiques de la chaîne alpine en Algérie.

La région d'étude fait partie des zones externes de la chaîne des maghrébines de l'Algérie orientale.

I. Stratigraphie des différentes unités structurales :

D'après (Vila, 1980), on distingue du terrain le plus récent au plus ancien : le quaternaire, le Mio-pliocène, la nappe numidienne, les nappes des Flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne et la nappe néritique constantinoise (figure 6).

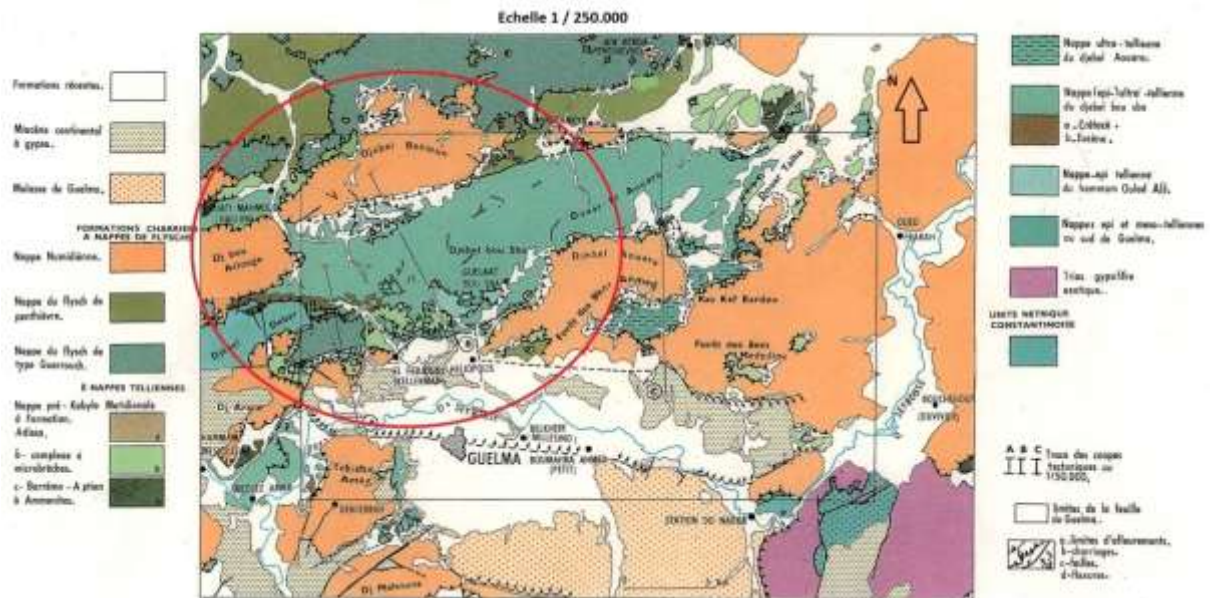


Figure 06 : Carte géologique de Guelma (Vila 1980).

I.1. Les formations récentes

I.1.1. Le Quaternaire :

D'Ouest en Est, l'Oued Seybouse a déposé des quantités importantes de matériaux détritiques. De haut en bas, on distingue les terrasses suivantes :

1. La basse terrasse (d'âge Soltanien) : elle est constituée des alluvions du lit de l'Oued actuel avec 15 m d'épaisseur. Ce sont essentiellement des limons et cailloux enroulés brun clairs ou grisâtres formant des terres arables favorables aux cultures maraîchères et agrumes.
2. La moyenne terrasse (d'âge Tensifien) : elle est située surtout entre 30 à 50 m d'altitude par rapport à l'Oued Seybouse et constituée de sable et limons et des blocs roulés dans une matrice argileuse de couleur ocre.
3. La haute terrasse (d'âge Salétien) : ce sont des formations qui présentent un épandage en pente douce vers le Nord. Elles sont constituées de gros galets de type *Ranà* dans le djebel Zemzouma au Nord et peuvent atteindre les 100 m d'épaisseur. Au Sud ce sont des calcaires lacustres et tufs d'âge Quaternaire ancien à Pliocène supérieur qui occupent de grandes

surfaces. Les croûtes calcaires qui apparaissent aussi au centre d'Héliopolis sont parfois tuffacés ou massifs gris à blanc rosé riches en oogones de *Charophytes* (Vila ,1980).

I.1.2. Le Mio-Pliocène :

Ce sont des argiles grises avec intercalations de marno-calcaires et gypse en couches minces. Elles surmontent des argiles et des conglomérats rouges.

La mollasse de Guelma : c'est une épaisse série d'intercalations d'argile marneuse et de grès jaunâtres friables bien développée au Sud de Guelma.

I.2. Les formations anciennes :

I.2.1. La nappe numidienne :

Elle constitue les sommets des reliefs en l'occurrence de Djebel Haouara, Beni Mezline et Mahouna. Elle est marquée par la présence d'un faciès gréseux et argileux à *Tubotomaculum* (Lahondère, 1987).

II.2.2. La nappe des Flyschs :

Les affleurements sont dispersés à la périphérie des vastes radeaux numidiens qui ceinturent la cuvette de Guelma. Vila (1980) distingue:

- Céno-manien-Turonien : Il est représenté par des niveaux bréchiques clairs bien classés en bancs à bandes silicifiées blanches. Ces formations sont datées par : *Rotalipona sp*, *Thalmaninella sp* et *Globotruncana helvética*.

- Sénonien : C'est une série conglomératique et argileuse d'une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Les bancs les plus épais (50 à 60cm) montrent des figures de convoluté "bedding". Ce sont les faciès les plus méridionaux du flysch. Dans les affleurements des talus Ouest de la route Guelma-Annaba, la microfaune est représentée par : *Globotruncana Sheegansi* et de rares *orbitoides* Tissoti.

- **Flysch de type Guerrouch :**

Le Crétacé inférieur : c'est une série gréseuse à intercalations argilo- schisteuses grises ou brunâtres. Elle affleure à Ain Sefra au pied- mont de Mahouna. A la base, elle montre quelques bancs calcaires à *Nannoconus*.

-Le complexe de base avec calcaires fins: c'est une série argilo-gréseuse à intercalations de biomicrites claires en bancs centimétriques très froissés à *Nannoconus*.

II.2.3. La nappe ultra –tellienne :

Ce terme a été proposé par Durand Delga pour désigner dans la région de Guelma, les séries superposées anormalement au **Crétacé néritique constantinois du Djebel Debagh** et du **Douar Bouzitoune** (Vila, 1980). Ces séries sont définies par le critère simple de dominance des faciès clairs durant tout le Crétacé.

II.2.4. La nappe ultra-tellienne du Djebel Haouara :

Ce sont de vastes affleurements qui se situent entre la forêt des Beni Ahmed et celle des Beni Mezline, au Nord du Kef Ras Bardou et du Djebel Haouara. Les formations sont constituées par l'alternance de marnes claires beiges ou jaunes et de marno-calcaires en petits bancs de même teinte, riches en *Rosaline*.

L'âge de la série est compris entre le Sénonien inférieur et le Barrémien supérieur qui contient *Phyllopachyceras Barodeuse Cop.*

II.2.5. La nappe ultra- tellienne de Djebel Bou Sbaâ :

L'âge de la série est compris entre l'Aptien et le Lutétien. Elle est développée essentiellement au Nord de la zone d'étude, dans la région de Guelâat Bou Sbaâ. On trouve aussi des témoins de cette série près de Medjez Amar au Tebiebe Amar, au Sud-Ouest de Guelma et près de la station de Nador à l'Est. Les microfaunes ayant servi à la datation sont variées. On peut citer entre autres, une microfaune à *Truncorotaliagr*, visible sur la berge est de l'Oued Seybouse près de Medjez Amar, *Globorotalia rex Martin* et *G.aff.Velascoensis* (CUSH) dans les marno-calcaires à cassure noire fétide et bitumineuse au Nord de Djebel Debagh (Vila et al, 1968).

II.2.6. La nappe tellienne :

La nappe tellienne correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes.

II.2.6.1. La nappe tellienne de Hammam Oulad Ali :

Elle affleure au pied du Djebel Bou Sbaâ et autour du pointement néritique du djebel Debagh.

Cette unité regroupe tous les terrains situés sur la série néritique constantinoise et la nappe ultra-tellienne du djebel Bou Sbaâ (Vila, 1980). La microfaune est représentée par *Globotruncana stuartiformis* DALB, *Rotalipora* sp et *Hedbergella Washitensis* Carsey.

II.2.6.2. La nappe tellienne de la région de Ras El Ägba-Sellaoua Announa :

Elle correspond au domaine tellien externe constitué de formations paléogènes où l'on distingue :

- 1- L'unité tellienne inférieure à nummulites qui comprend un Paléogène à marnes noires et un Eocène calcaire massif à nummulites.
- 2- l'unité tellienne supérieure à *Globigérines* qui comprend un Paléocène constitué de marnes, un Eocène à calcaires en bancs à lumachelles et un Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres et à boules jaunes carbonatées.

II.2.7. La nappe néritique constantinoise :

Les affleurements néritiques dans la région de Guelma, représentent la terminaison orientale du domaine néritique. Ces affleurements sont isolés et de tailles variables (Vila, 1980). Ils apparaissent au sommet oriental du djebel Debagh, s'ennoient à l'Est sous les nappes précédemment citées pour réapparaître en fenêtres à Hammam Oulad Ali, au Douar Bouzitoune, à la piscine romaine d'Hammam Bradaâ et enfin à l'Ouest de la station Nador.

II.2.7.1. A l'Est de Djebel Debagh « Debar » :

On distingue de haut en bas :

- Les niveaux siliceux : ce sont des roches très minéralisées et mal stratifiées résultant d'une silicification au niveau d'une zone de broyage entre les calcaires à silex du sommet du Sénonien supérieur et les calcaires à silex de l'Eocène allochtone tellien.
- Les calcaires massifs organo-détritiques à *orbitoides* cf. *Média* D'ARCH attribués au Campanien.
- A la base, les dolomies noires épaisses de 250 à 300 m largement cristallines supportent toute la série.

II.2.7.2. A Hammam Oulad Ali :

A l'Est de la station thermale, affleure une fenêtre d'une série à faciès carbonatés biodétritiques d'âge sénonien sous les marno-calcaires de la série ultra –tellienne.

II.2.7.3. Au Douar Bouzitoune-Héliopolis:

Ces affleurements présentent une série complète où sont datés : l'Aptien supérieur à *Orbitolina Subconcava Parocoskinolina Sunnilandensis*, le Vraconien Cénomaniens inférieur à *Orbitolines* roulées et à *Mélobésiées*, le Sénonien transgressif sur des niveaux à *orbitoides Medina*, *Sidérolites Vidali*, *Globotruncana Linnei* du Campanien ou du Maestrichtien basal.

II.2.7.4. A la station Nador:

Sous les calcaires massifs à *Rudistes* du Barrémien, l'existence des niveaux à *Favreina Salevensis* et *F. Prusensis* au-dessus d'un ensemble de couches pélitiques ou gréseuses rouges attribués au Trias moyen et supérieur témoigne du passage Jurassique Crétacé.

III. Schéma structural :

La structure actuelle de la région d'étude est la conséquence d'une série de mouvements tectoniques. Les différentes phases mises en évidence peuvent se résumer ainsi :

Les effets tectoniques de la région d'étude se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et refoulement intense des plis qui situées à la partie Nord, avec des contacts anormaux qui peuvent être résumé comme suit :

Les contacts par les failles : qui répartie au niveau de toute la zone d'étude avec une direction de Nord, Est - Sud, Ouest et surtout à Bouzitoune et Djebel BOUCHAHARINE.

Les chevauchements : situés à Djebel Bou Sbaâ et Hammam Bradaâ et au Nord de la commune d'El Fedjoudj.

Notre zone d'étude est traversée par un champ de faille très important, pour illustrer ces accidents tectoniques qui peuvent être un lieu favorable à la circulation des eaux souterraines nous avons choisi, un extrait de la coupe géologique de la carte géologique de Guelma, (figure 7)

Sur cette coupe on peut voir les formations plissées au niveau du calcaire avec des failles verticales à Hammam Oulad Ali qui traduisent une tectonique cassante importante, On peut voir aussi des contacts anormaux à Bouzitoune.

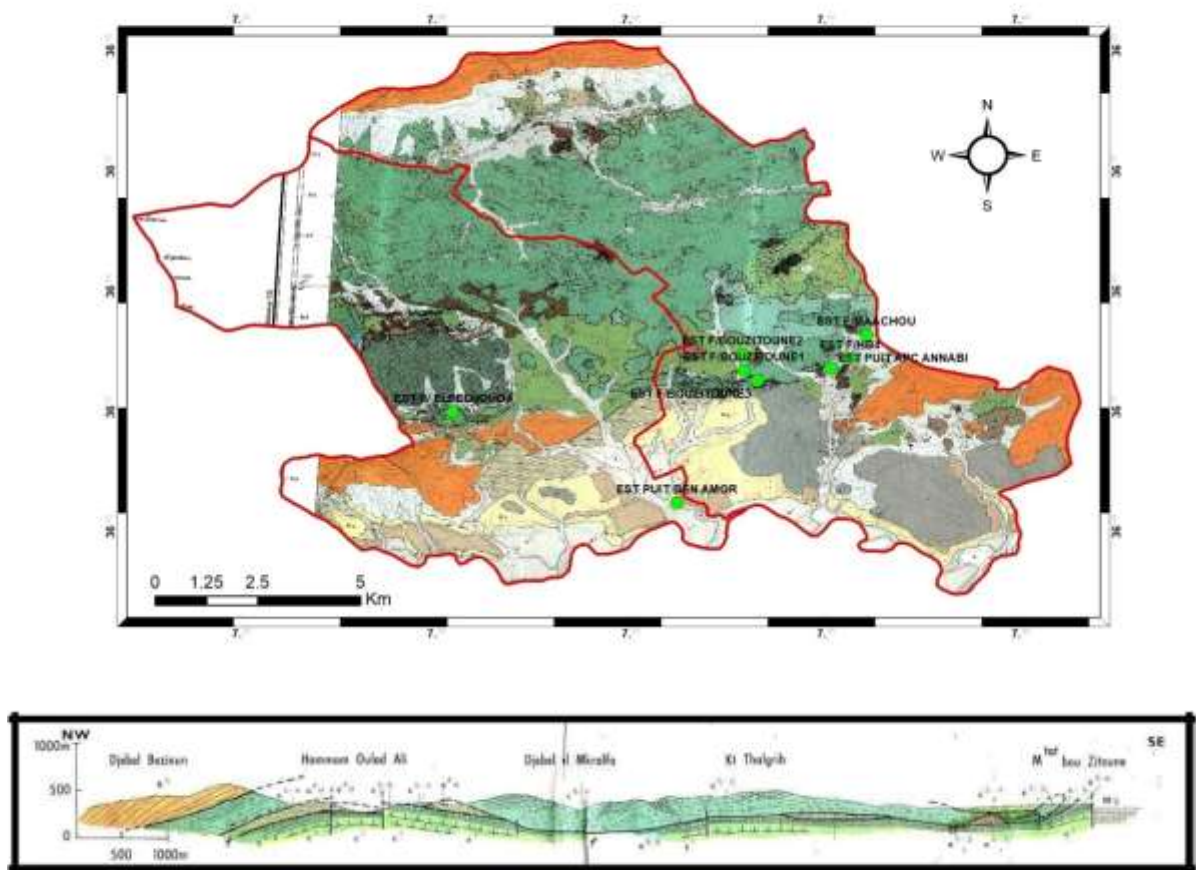


Figure 07 : carte et coupe géologique de la zone d'étude

Conclusion :

La géologie de notre zone d'étude affectée l'étude hydrogéologique dont laquelle, elle nous donne des informations brèves qui sont favorables d'être une aquifère.

Elle marque que notre zone investigue constituée des formations carbonatées qui affleure C Hammam Bradaâ et surtout au niveau de Bouzitoune (Héliopolis) et au Nord de la commune d'El Fedjoudj

1. Méthodes et stratégie de travail

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physico-chimiques des eaux souterraines des huit forages

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au sein au laboratoire de station de traitement des eaux a Hammam Debagh

L'étude de qualité de huit forages comporte trois étapes :

- Prélèvement, échantillonnage
- Mesures *in situ* et transport.
- Analyse physico-chimique, (au laboratoire).

Les techniques d'analyses utilisées sont celles décrites par RODIER .2009.

1.1. Échantillonnage et modes de prélèvements

Notre zone d'étude consiste plus de 10 forages on à sélectionnée 08 forages favorables pour notre étude sons eaux est utilisées pour l'alimentation humaine.

Dans le but de connaitre la qualité de ces forages nous avons réalisé un échantillonnage des forages

Huit stations ou bien huit forages a été choisi pour les prélèvements selon une fréquence différente d'un site à un autre, qui dépend de la nature des eaux, du type des formations géologiques des implantations industrielles et agricoles.

Les échantillons sont pris dans des bouteilles en plastique de 1,5 litre bien nettoyés

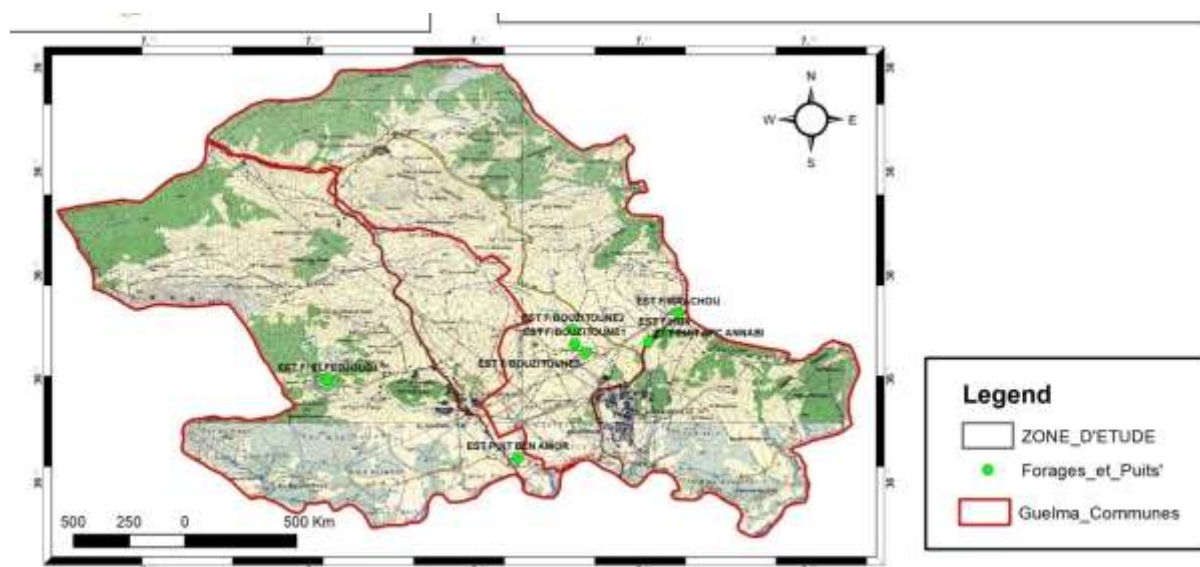


Figure14: Carte d'inventaire des points de prélèvement.

1.2. Mesures *in situ* et transport.

La date, l'heure de prélèvement, la température de l'eau, le pH, la conductivité, l'O₂ dissous et les coordonnées géographiques des points de prélèvements sont relevés *in situ*, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multi paramètres de marque WTW Multi 197i, et un GPS de marque GARMIN 72 les résultats sont enregistrés sur des fiches du terrain

L'analyse doit être effectuée le plus vite possible en transportant les échantillons dans des glacières, dont la température est comprise entre 4 et 6°C

1.3. Analyse physico-chimique au laboratoire

A. Les éléments majeurs :

a. Dosage du calcium, sodium et du potassium par photométrie de flamme

Les ions en solution sont portés, au moyen d'une flamme de température convenable à un niveau énergétique supérieur à la normale (on dit que les atomes sont excités par la flamme).

Libérés de la flamme, ils restituent l'énergie acquise en émettant une radiation caractéristique de l'élément. On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendue au moyen, d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution. On établit donc une gamme étalon pour chaque élément

dosé et l'on s'y réfère pour déterminer une concentration inconnue. Le sodium et le potassium sont dosés à partir de la même solution étalon à des sensibilités différentes du spectrophotomètre à flamme. Le calcium est dosé par sa gamme étalon propre.

Réactifs :**Solution mère de sodium et de potassium :**

- Dissoudre dans de l'eau distillée 25,434 g de chlorure de sodium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.
- Dissoudre simultanément 3,823 g de chlorure de potassium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.
- Compléter le tout à 1000ml par de l'eau distillée.
- On obtient une solution contenant 10 000 mg/l en Na⁺ et 1000 mg/l en K⁺.

Solutions étalons en Na⁺ et k⁺ :

- Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000 ml : 50, 40, 30, 20, 15, 10, 5 et 2 ml de la solution mère en Na⁺ et K⁺ compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.
- On obtient des solutions étalons contenant respectivement :
 - 500, 400, 300, 150, 100,50 et 20 mg/l de Na⁺.
 - 100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4 mg/l de K⁺.

Solution mère de calcium

- Dissoudre dans de l'eau distillée 36,663 g de chlorure de calcium préalablement séché à l'étuve à 100°C pendant 12 heures puis refroidi au dessiccateur.
- Compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Solutions étalon en ca⁺⁺

- Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000 ml : 50, 40, 30, 20, 10 et 5 ml de la solution mère en Ca⁺⁺ compléter à 1000ml par de l'eau distillée.
- On obtient des solutions étalons contenant respectivement : 500, 400, 300, 200, 100 et 50 mg/l de Ca⁺⁺

Appareillage :

- Photomètre à flamme. Servotrace.
- Réglage: Sensibilité du photomètre /Sensibilité du servotrace / Pression de l'Acétylène/ Pression d'air.

b. Dosage du magnésium (Mg) par complexométrie

Le sel dissodique de l'acide Ethylène Diammo Tetra Acétique cristallisé avec H₂O, appelé aussi complexon ou versénate forme avec un nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH.

Réactifs**Solution E.D.T.A**

- Dissoudre 40 g E.D.T.A, ajouter les 5 g NaOH (Soude caustique) puis ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Dissoudre à part 1g de chlorure de magnésium, ajuster avec de l'eau distillée Q.S.P 1000 ml.
- Mélanger les 2L ainsi obtenus et y ajouter 8 autres litres d'eau distillée ce qui donne 10 litres d'E.D.T.A.

Solution : Tampon pH =10 (Ca/Mg).

Le Tampon pH = 10 est constitué par des mélanges à volume égale des solutions A et B.

Solution A

- Peser 67 g de Chlorure d'ammonium préalablement séché 12 heures à l'étuve à 100°C puis refroidi au dessiccateur.
- Ajouter 400 ml d'Ammoniaque à 28% (448 ml à 25%).
- Compléter à 1000 ml par de l'eau distillée.

Solution B

- Dissoudre à 2 litres d'eau distillée 1,5 Kg environ de Tartrate double de Sodium et de Potassium appelé couramment sel de seignette. Chauffer jusqu'à dissolution totale et ajuster à 2 litres.

Solution de soude n (ça)

40 g de Soude par litre d'eau distillée.

Indication colore

1. **Dosage du Ca+Mg** : Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium préalablement séché et une quantité de Noir d'Eriochrome T telle qu'on obtient un mélange de coloration mauve. On décèle la fin du virage par le Noir Eriochrome T qui vire du rosé au bleu.

2. **Dosage du Ca** : Mélanger intimement puis broyer au mortier 100 g de Chlorure de Sodium préalablement séché et une quantité de Patton et Raeder (Acide hydroxy-2 Sulfo-

4 Naphtoique-3). On observe la fin du virage quand la couleur passe alors du rouge au bleu franc.

Mode opératoire

Titre de L'E.D.T.A

Le dosage de l'E.D.T.A s'impose à chaque fois que le remplissage du flacon doseur est fait.

On prépare une solution de Ca CO₃, à 1 g/l (attaque de 1 g de Ca CO₃ par H Cl dilue puis ajuster à 1 litre par de l'eau distillée. Le Ca CO₃ doit avoir été séché a l'étuve puis refroidi au dessiccateur). On prélève 10 ml qui seront dosés en même temps que les échantillons. Cette solution contient 20 mg/l de Ca⁺⁺.

- Les PE ayant été placés dans des béchers de 50 ml on y ajoute systématiquement 2 ml de Tampon (Ca/Mg) et 2 ml de Na OH (Ca) et une pincée d'indicateur; la solution prend une teinte rosé (Ca/Mg) et rouge (Ca).
- La solution étalon de Ca⁺⁺ et les échantillons ainsi préparés sont alors traités de manière identique.

L'E.D.T.A étant placé dans la burette, on verse jusqu'au virage du rosé au bleu en maintenant une agitation dans le bécher. On notera soigneusement le volume :

V₁ d'E.D.T. A nécessaire pour faire virer la solution étalon de Ca V₂ d'E.D.T.A nécessaire pour faire virer les échantillons.

Calcul de la normalité de l'EJXTA

10 ml à 20 méq/l de Calcium ont été dosés par V₁ d'E.D.T.A

$$N \text{ méq/l} = \frac{20 \times 10}{V_1} = \frac{200}{10}$$

Teneur en Calcium et Magnésium des échantillons

$$X \text{ méq/l Ca+Mg} = N \text{ méq/l} \frac{V_2}{PE_{ml}}$$

3. Teneur en Magnésium des échantillons

$$\text{meq/l de Mg} = \text{mé/l de Ca+Mg} - \text{mé/l de Ca}$$

Détermination des ions carbonate et bicarbonate

Par l'analyse volumétrique dans un milieu acide (titrage arrière) avec l'hydroxyde de sodium en présence du l'indicateur méthyle orange.

Réactifs

- Méthyle orange MO.
- Hcl
- Hydroxyde de sodium

Mode opératoire

Pipeter 100 ml d'aliquote dans un bécher de 600 ml, en ajout 50 ml de 1 N solution de HCl, faire bouillir pendant 10 minutes, refroidir à 20 C° le transfère quantitativement au ballon Volumetrique du 500 ml. Faire diluée avec l'eau distillée jusqu'à la marque puis agiter.

Filtrer peu plus de 100 ml a travers P.F pliée et fin, négliges les première partie de filtrat.

Dans une érlenmyer conique de 250 ml. Ajouter 3 gouttes de solution indicatrice M.O. titrer avec 1 N solution hydroxyde de sodium jusqu'a changement de couleur de rouge au jaune, noter le volume V.

Calcule

$$\text{NaCO}_3 \text{ (g/l)} = \frac{(50-5V) \times 53}{V(\text{aliquot}) \times 10}$$

c. Dosage des chlorures

Les chlorures, en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm.

Réactifs

- Solution saturée de thiocyanate mercurique
- Solution mère de chlorures a 10g/l
- Solution d'alun ferrique
- Solutions étalons

Mode opératoire

On place les PE (5ml) dans des Erlen Meyers de 50 ml

Les PE des solutions étalons, le témoin (H₂O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:

On ajoute dans l'ordre 15 ml de la solution de thiocyanate mercurique préalablement diluée au 1/3 puis 15 ml de la solution nitrique d'alun ferrique également diluée au 1/6.

On agite vigoureusement les erlens pour uniformiser la coloration qui apparaît et on laisse au repos pendant 1/2 heure.

On effectue les lectures au colorimètre a la longueur d'onde de 470 nm en réglant le zéro avec le témoin.

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorures en mg/l.

d. Dosage des sulfates

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm.

Réactifs

Solution de chlorure de baryum et de gélatine

- 40 g de gélatine
- 200 g de Chlorure de baryum (dissoudre à part)
- 3 g de Phénol (pour éviter une décomposition d'origine bactérienne de la gélatine).
- Eau distillée Q.S.P 2000 ml.

Remarque : dans le cas où la gélatine contient des sulfates apparaît un trouble de $BaSO_4$ que l'on élimine par centrifugation.

Solution mère de sulfate a 10 g/l

Dissoudre 13.755 g de $(NH_4)_2SO_4$ préalablement desséché à l'étuve à $100^\circ C$ puis au dessiccateur sous vide, dans de l'eau distillée, ajuster à 1000 ml.

Solutions étalons

Prendre successivement : 50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5 ml de la solution mère de SO_4 compléter chaque prélèvement à 1000 ml exactement par de l'eau distillée. On obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50 mg/l en SO_4^- .

Mode opératoire

On place les PE (5 ml) dans des erlens de 50 ml

Les PE des solutions étalons, le témoin (H_2O) et les échantillons sont alors traités de manière identique à savoir:

- On ajoute à chaque PE, 20 ml de la solution de $BaSO_4$ et de gélatine préalablement diluée au 1/6.
- On agite pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure. Une nouvelle agitation aurait comme conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.
- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495 nm en réglant le zéro avec le témoin (ANRH, 2009).

Expression des résultats

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l.

Introduction

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.).

La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole. En raison de l'utilisation multiple de ces eaux,

L'hydrochimie est l'étude des caractéristiques physiques et chimique de l'eau. Elle permet :

- De donner une idée de la qualité chimique de l'eau,
- De visualiser à l'aide de cartes la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous,

Cette étude hydrochimique a été menée afin de suivre la qualité des eaux souterraines de huit forages dans notre zone d'étude.

Un plan de travail a été adopté pour atteindre nos objectifs, il consiste au début à faire un suivi chimique des différents points d'eau appartenant à la zone d'étude.

1. Qualité des données :

1.1 Analyse des balances ioniques – contrôle de la cohérence des résultats :

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux des différents forages, il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses. La méthode utilisée est la Balance Ionique (BI). Il faut rappeler qu'en théorie, une eau naturelle est électriquement neutre. De ce fait, la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents-chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule suivante :

$$BI = \frac{\sum r(\text{cations}) - \sum r(\text{anions})}{\sum r(\text{cations}) + \sum r(\text{anions})} \times 100$$

Tous les valeurs des cations et anions en **meq/l**.

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Cependant, les incertitudes sur les résultats, variables selon les

techniques d'analyse, peuvent expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence éventuelle d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, les résultats des analyses chimiques sont considérés :

« Une analyse chimique des eaux n'est considérée comme représentative et acceptable que lorsque la balance ionique est inférieure ou égale à 5% (sub-romania 1940) »

En ce qui concerne les données des eaux souterraines traitées dans le cadre de cette étude, on a effectué le traitement pour 8 points (forages) répartis dans la zone d'étude.

Les résultats d'analyses des 8 échantillons sont (acceptables pour 4 forages et les autres sont rejetées comme le montre les deux tableaux suivants créer par logiciel (Diagramme LHA) :

Nom échantillons	T°C	pH	Cond	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Bal
EST F/MAACHOU	23.3	7.4	649	312.32	42.6	0.00	0.76	0	97.8	44	0.05	0.82	34.99	106.1	9%
EST PUIT APC ANNABI	19.9	7.04	1093	331.23	107	0.00	2.92	0.02	302	76.4	0.03	0.432	29.65	188.2	1%
EST F/ELFEDJOUJ	18.5	7.5	627	372.71	42.6	0.00	0.62	0.14	61	72	0.02	0.55	30.37	99.32	10%
EST PUIT BEN AMOR	19.4	7.78	1537	326.96	199	0.95	3.95	0	432	98	0.00	0.29	59.79	202.7	-2%
EST F/BOUZITOUNE1	17.9	7.85	589	362.3	42.6	0.01	1.53	0.15	85	69	0.00	0.41	28.67	100.1	7%
EST F/BOUZITOUNE3	23.1	7.03	590	312.9	42.60	0.00	0.90	0.14	113.00	66.00	0.04	0.74	32.56	94.11	8%
EST F/HB4	23.7	7.12	644	311.7	42.60	0.00	0.89	0.13	157.00	56.00	0.03	0.65	31.83	110.13	5%
EST F/BOUZITOUNE2	22.9	7.33	639	356.2	42.60	0.00	0.90	0.18	56.00	48.00	0.03	0.47	25.75	99.12	5%

Tableau 09 : Balance ionique des éléments majeurs de chaque échantillon mg/l

Nom des échantillons															SEUIL
															5%
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	Bal	S.A	S.C	A REFAIRE
EST F/MAACHOU	5.12	1.20	-	0.01	0.00	2.04	1.91	0.00	0.02	2.88	5.30	9%	8.37	10.11	EST F/MAACHOU
EST PUIT APC ANNABI	5.43	3.02	-	0.05	0.00	6.29	3.32	0.00	0.01	2.44	9.39	1%	14.79	15.17	
EST F/ELFEDJOUJ	6.11	1.20	-	0.01	0.00	1.27	3.13	0.00	0.01	2.50	4.96	10%	8.59	10.60	EST F/ELFEDJOUJ
EST PUIT BEN AMOR	5.36	5.61	0.02	0.06	0.00	8.99	4.26	0.00	0.01	4.92	10.11	-2%	20.05	19.30	
EST F/BOUZITOUNE1	5.94	1.20	0.00	0.02	0.00	1.77	3.00	0.00	0.01	2.36	5.00	7%	8.94	10.37	EST F/BOUZITOUNE1
EST F/BOUZITOUNE3	5.13	1.20	-	0.01	0.00	2.35	2.87	0.00	0.02	2.68	4.70	8%	8.70	10.27	EST F/BOUZITOUNE3
EST F/HB4	5.11	1.20	-	0.01	0.00	3.27	2.43	0.00	0.02	2.62	5.50	5%	9.60	10.57	
EST F/BOUZITOUNE2	5.84	1.20	-	0.01	0.00	1.17	2.09	0.00	0.01	2.12	4.95	5%	8.22	9.17	

Tableau 10: Balance ionique des éléments majeurs de chaque échantillon

Application numérique Exemple sur(**EST PUIT APC ANNABI**) :

Pour la conversion des unités des éléments majeurs (de mg/l en méq/l) en utilise la formule

suivante :
$$m\acute{e}q/l = \frac{Masse\ ionique\ X\ Valance}{Masse\ atomique}$$

	Anions					Cations							
	HCO3-	Cl-	NO3-	PO4--	SO4--	Na+	NH4+	K+	Mg++	Ca++	Bal	S.A	S.C
Valence	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2			
Masse atomique	61.02	35.45	62	94.97	96.06	22.98	18.042	39.1	24.3	40			
Masse ionique (mg/l)	331.23	107	2.923	0.019	302.3	76.4	0.03	0.432	29.7	188.23			
méq/l	5.42822	3.0183	0.047138	0.0004	6.294	3.3246	0.0014	0.011	2.44	9.4115	1.33%	14.78	15.18

Tableau11 : exemple de calcul

2. Détermination des faciès chimiques :

2.1 Représentation graphique des faciès chimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d’avoir une indication sur l’aspect qualitatif des eaux de souterraines, la représentation graphique des résultats d’analyses s’avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de PIPER et STABLER. La réalisation de ces diagrammes a été faite, en utilisant le logiciel Diagramme, conçu par Simler (2004).

2.1.1 Classification de Piper :

La représentation des analyses chimiques sur le diagramme de Piper (1943) (Figure14) permet de différencier les familles d’eaux. L’examen des représentations graphiques obtenues, permet de déduire les interprétations suivantes :

- Dans le triangle des cations, le calcium est moyennement dominant par rapport au magnésium et le sodium.
- Dans le triangle des anions, les hydrogénocarbonates qui sont les plus abondants, les sulfates et les chlorures sont peu fréquents pour les eaux de forages (HB4 et

BOUZITOUNE2) ; et n'a pas de dominance des anions pour les deux autres puits (APC ANNABI et BEN AMOR).

Ainsi, dans le digramme losangique, l'évolution chimique est alors marquée par un positionnement au centre du premier petit losange, Le diagramme, fait alors ressortir un faciès chimique : Bicarbonatée calciques et magnésiennes pour les eaux des échantillons de forages (HB4 et BOUZITOUNE2), Ce faciès indique une dissolution des formations carbonatées.

Et un faciès chimique : Chlorurée et sulfatée calcique et magnésiennes pour (puit APC Annabi et puit Ben Amor), Ce faciès indique une dissolution évaporitique riche en sels et en gypse.

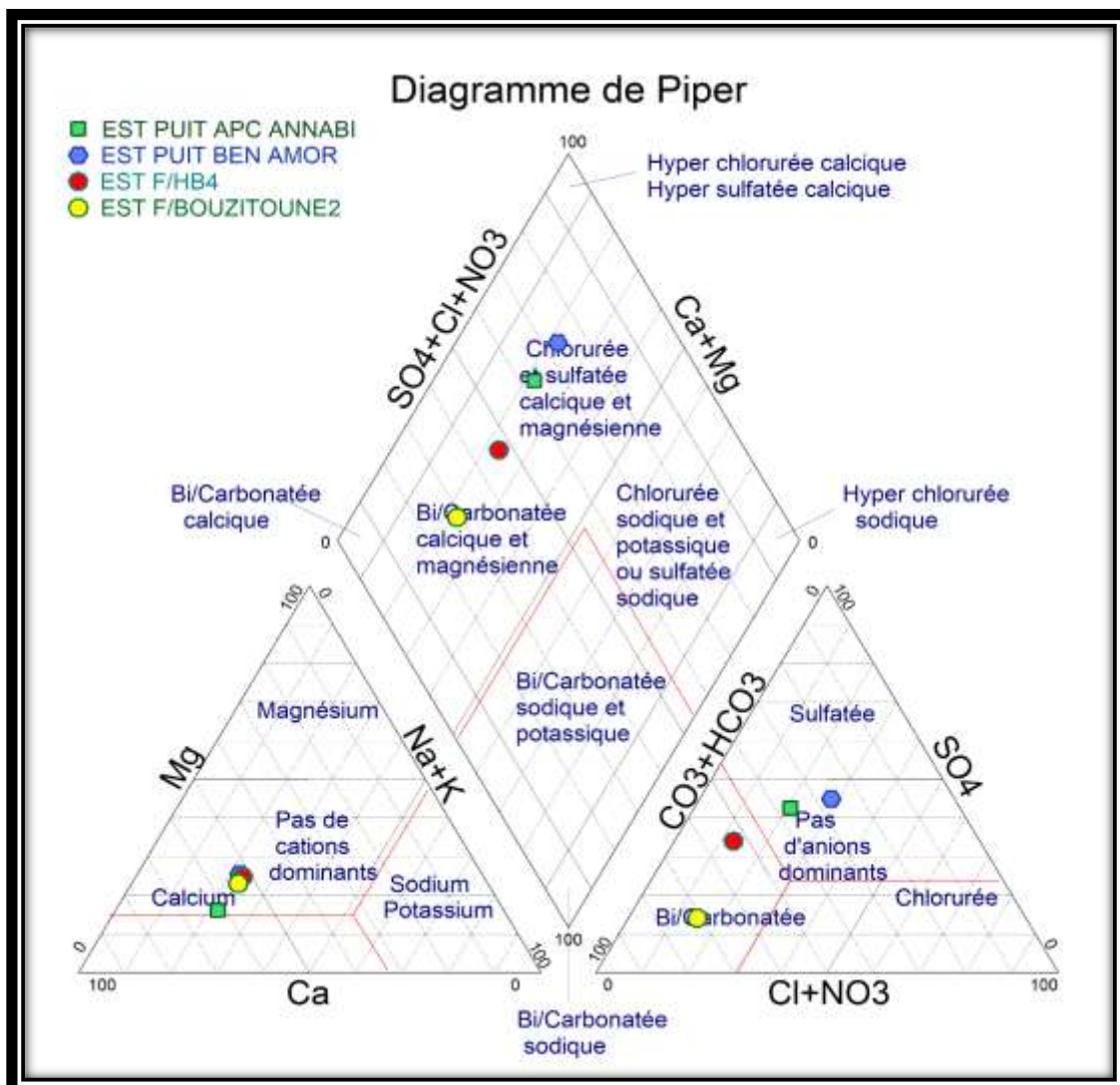


Figure 14 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de PIPER 1943.

1.1.1 Formule caractéristique de STABLER :

La formule caractéristique selon " STABLER " consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale. La formule est la suivante :

$$r \% = (100 / c) * r$$

Avec **r** : la quantité en réaction de l'ion considéré en (méq/l) ;

c : la concentration totale ;

On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant, les résultats obtenus permettent de distinguer les faciès qui figurent dans le (tableau 12 et la figure 15).

L'examen de ce tableau montre que les eaux de quatre forages prélevés (2018) sont des eaux de faciès :

Bicarbonaté calcique : pour les forages **HB4** et **BOUZITOUNE2**

Sulfaté calcique : pour les Puits **APC ANNABI** et **BEN AMOR**

Tableau12 : Faciès chimiques des eaux selon la méthode de STABLER

Nom échantillons	Formules caractéristiques		Faciès chimiques
	r % Anions	r % Cations	
EST PUIT APC ANNABI	$\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-}$	$\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	Sulfaté calcique
EST PUIT BEN AMOR	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-}$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Sulfaté calcique
EST F/HB4	$\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-}$	$\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique
EST F/BOUZITOUNE2	$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{PO}_4^{3-}$	$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$	Bicarbonaté calcique

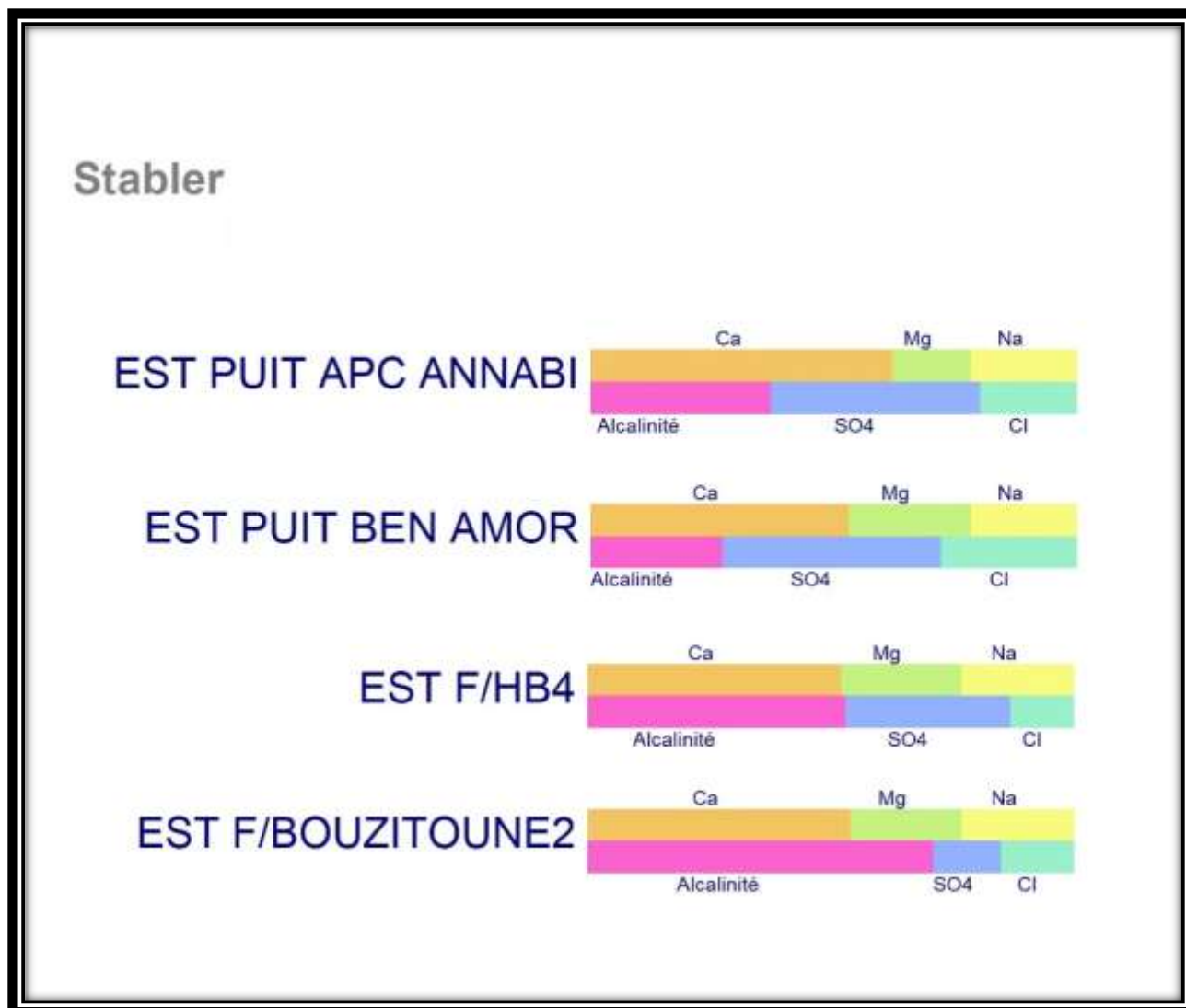


Figure 15 : Représentation des faciès chimiques des eaux avec Diagramme de STABLER.

1. Résultat et discussion :

1.1 Paramètres physico-chimiques :

1.1.1 Mesure in situ :

Les résultats des paramètres mesurés in situ sont regroupés dans les tableaux 19 (T° de l'eau, pH, CE), et illustrés par la Fig., qui représente la variation de chaque paramètre.

Tableau13 : Résultats des paramètres mesurés in situ de chaque échantillon.

Nom échantillons	T°C	pH	CE
EST PUIT APC ANNABI	19.9	7.04	1093
EST PUIT BEN AMOR	19.4	7.78	1537
EST F/HB4	23.7	7.12	644
EST F/BOUZITOUNE2	22.9	7.33	639

2.1.1.1 Température de l'eau

La température joue un rôle primordial dans la solubilité des sels et des gaz et par conséquent sur la conductivité électrique.

L'examen du tableau ci-dessus permet de constater que les valeurs des températures de l'eau varient de 19.4°C au niveau de (**EST PUIT BEN AMOR**) à 23.7°C au niveau de (**EST F/HB4**), (Figure16)

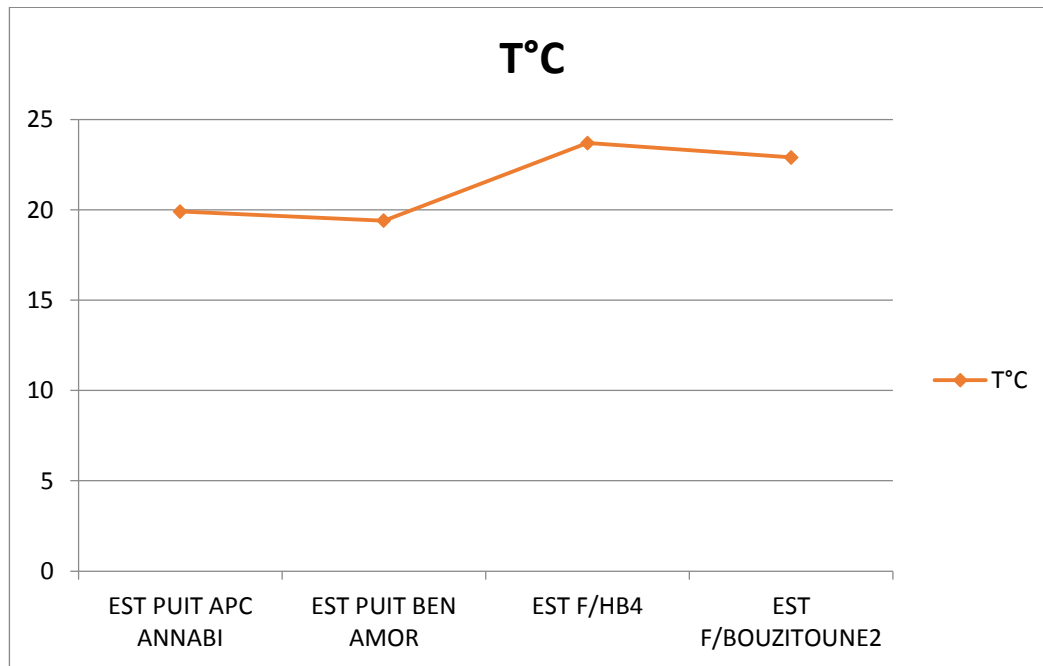


Figure 16 : Evolution de la température de l'eau et de l'air dans les quatre puits.

1.1.1.1 Potentiel hydrogène (pH)

Le pH de l'eau résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique. Il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates. Il dépend de la diffusion du gaz carbonique à partir de l'atmosphère, du bilan des métabolismes respiratoires et photosynthétiques (Hutchinson, 1987) ainsi que de l'origine des eaux, la nature géologique du milieu traversé, les rejets des eaux usées, etc. (Dussart, 1992).

Il oscille entre 7.04 et 7.78 (Figure17), la valeur la plus élevée est relevée au (**EST PUIT BEN AMOR**), et la plus faible est enregistrée au (**EST PUIT APC ANNABI**).

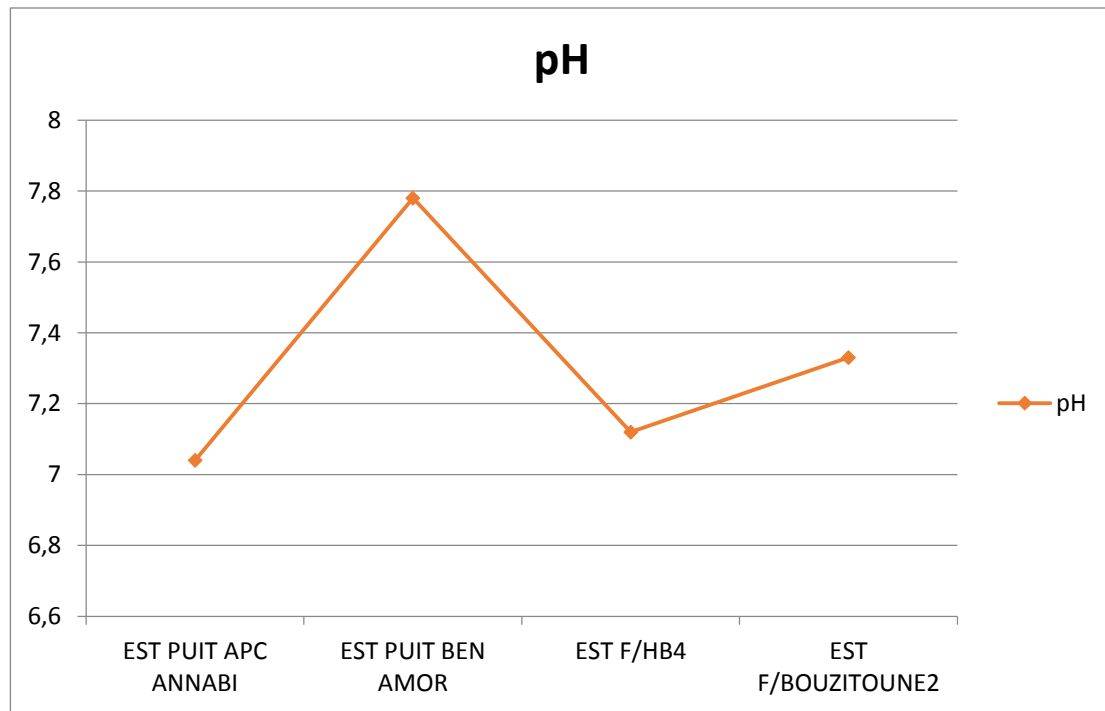


Figure 17 : Evolution du pH dans les quatre puits.

1.1.1.1 Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau (Rodier et *al.*, 2005).

Elle renseigne sur le degré de minéralisation globale des eaux superficielles. Des températures élevées agissent sur la conductivité électrique par action sur la mobilité des sels (Dussart, 1966/In. El Morhit, 2009). Les eaux naturelles servent comme solvant d'un nombre considérable de solutés, qui en solutions aqueuses sont soit complètement associés en ions ou partiellement ionisés. Une conductivité élevée traduit soit des pH normaux, soit le plus souvent une salinité élevée (Bremond et Perrodon, 1979).

La conductivité varie avec une valeur minimale (639 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été enregistrée à la station (EST F/BOUZITOUNE2) et une valeur maximale (1537 $\mu\text{S}/\text{cm}$) a été enregistrée à la station (EST PUIT BEN AMOR) (Figure18).

L'augmentation de la conductivité est liée à l'élévation de la température de l'eau, l'apport nitrique, le taux des sels dissous dans l'eau ainsi que la charge organique

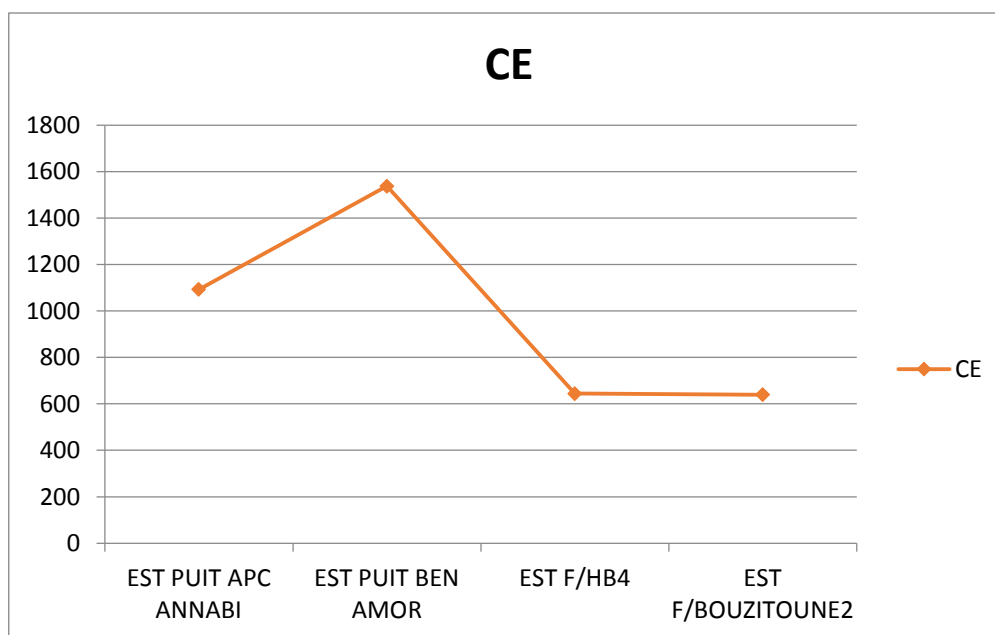


Figure 18 : Evolution spatiale de la Conductivité électrique dans les quatre puits.

1.1.1 Eléments minéraux majeurs :

Les résultats des analyses de cations et anions sont regroupés dans les tableaux 20 (Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{--}) et illustrés par les figures 42 à 50, qui représentent la variation de chaque paramètre.

Nom échantillons	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	PO_4^{--}	SO_4^{--}	Na^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}
EST PUIT APC ANNABI	331,23	107	2,923	0,019	302,3	76,4	0,432	29,65	188,23
EST PUIT BEN AMOR	326,96	199	3,952	-	432	98	0,29	59,79	202,65
EST F/HB4	311,71	42,60	0,89	0,13	157,00	56,00	0,65	31,83	110,13
EST F/BOUZITOUNE2	356,24	42,60	0,90	0,18	56,00	48,00	0,47	25,75	99,12
Moy	331.535	97.8	2.16625	0.08225	236.825	69.6	0.4605	36.755	150.0325

Tableau 14 : Les résultats des analyses de cations et anions

1.1.1.1 Cations :**1.1.1.1.1 Calcium (Ca^{2+}) :**

Le calcium est un élément de la dureté. Il existe surtout à l'état de bicarbonates et en quantités moindres sous forme de sulfates, chlorures, etc.... (Rodier et *al.* 2005). La teneur en calcium des biotopes terrestres ou limniques présente une importance écologique majeure (Ramade, 2002). C'est un constituant cationique le plus dominant des eaux superficielles, il se présente généralement sous forme de bicarbonate, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, soluble (Brémond et Vuichard, 1973).

Les eaux souterraines présentent une valeur maximale de calcium de 202.65 mg/l au niveau des eaux du PUIT BEN AMOR, une valeur minimale de 99.12 mg/l enregistrée au niveau du forage de Bouzitoun2 (avec une moyenne pour les quatre forages de 150.0325 mg/l),

Le calcium peut provenir de la dissolution de calcaires, gypse, anhydrite et d'autres roches sédimentaires.(Figure19),

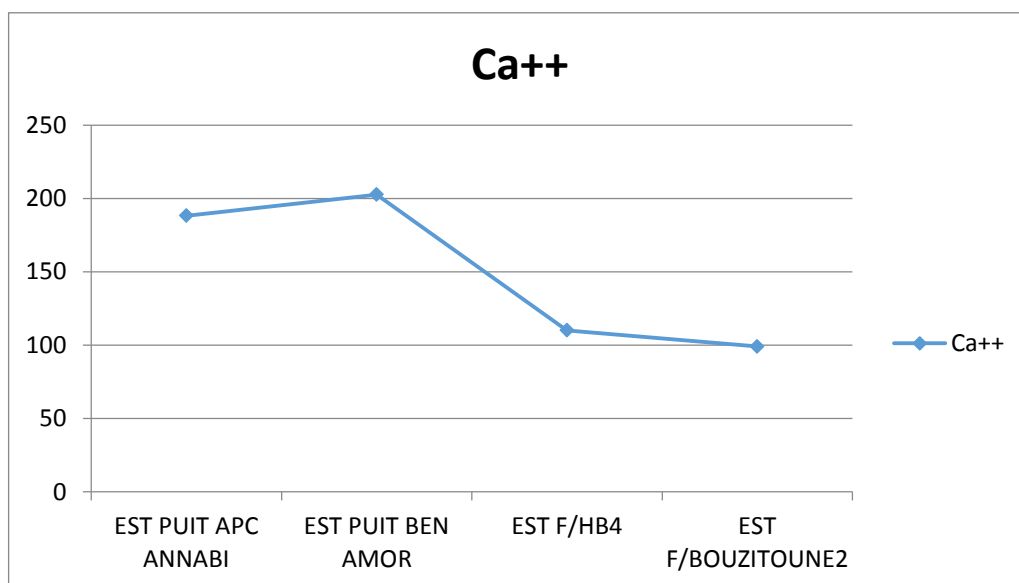


Figure 19: Variations des teneurs en calcium des eaux souterraines dans les quatre puits.

2.1.1.1.1 Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est un constituant de nombreux minéraux et roches, en particulier la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium). Il provient également de la dissolution d'autres roches dans les eaux continentales (basalte, magnésites, argiles, etc.). Les eaux

magnésiques se forment lorsqu'elles circulent sur des substrats dont les roches sont riches en cet élément (Ramade, 2002).

Selon Brémond et Vuichard (1973), le magnésium contribue à la dureté de l'eau sans en être l'élément essentiel. En effet, le rapport Mg / Ca est en général très inférieur à 1.

Les teneurs en magnésium varient spatialement de manière irrégulière d'une station à l'autre, la valeur maximale (59.79 mg/l) enregistrée au niveau du puit BEN AMOR et la valeur minimale (25.75 mg/l) enregistrée au niveau du forage BOUZITOUNE2 (avec une moyenne pour les quatre forages de (36.755 mg/l), Ils peuvent provenir des carbonates comme ils peuvent provenir des formations triasiques (MgSO₄). (Figure),

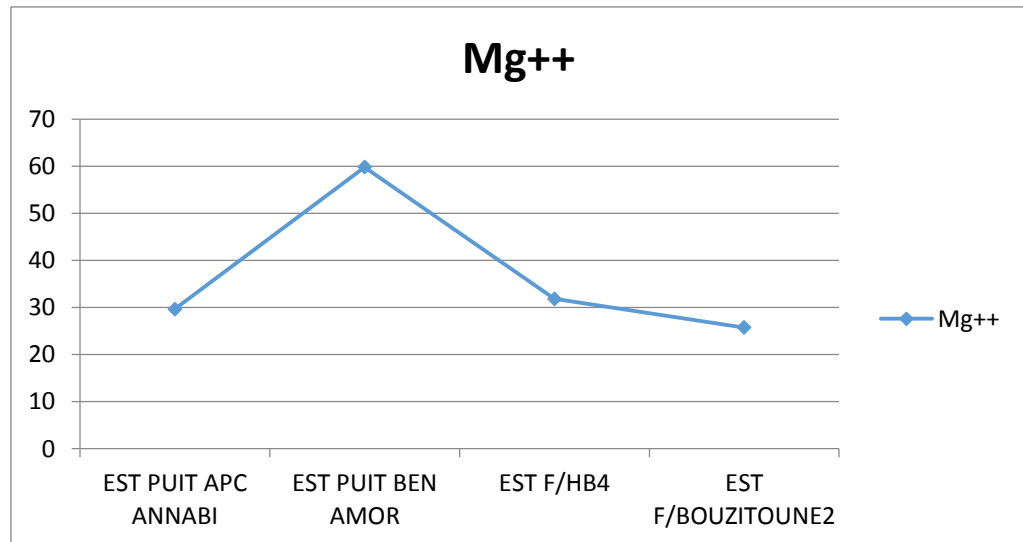


Figure 20: Variations des teneurs en magnésium des eaux de quatre puits.

1.1.1.1.1 Sodium (Na⁺) :

Le sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2.83 %). Il existe dans la totalité des eaux car sa solubilité est très élevée (Brémondet Vuichard, 1973).

Le sodium varie spatialement de manière irrégulière dans les quatre forages. la valeur du sodium la plus faible 48 mg/l a été enregistrée au niveau du forage BOUZITOUNE2, la valeur la plus élevée 98 mg/l été enregistrée au niveau du puit BEN AMOR (avec une moyenne pour les quatre forages de 69.6 mg/l), Ils proviennent des formations triasiques (**Figure 44**).

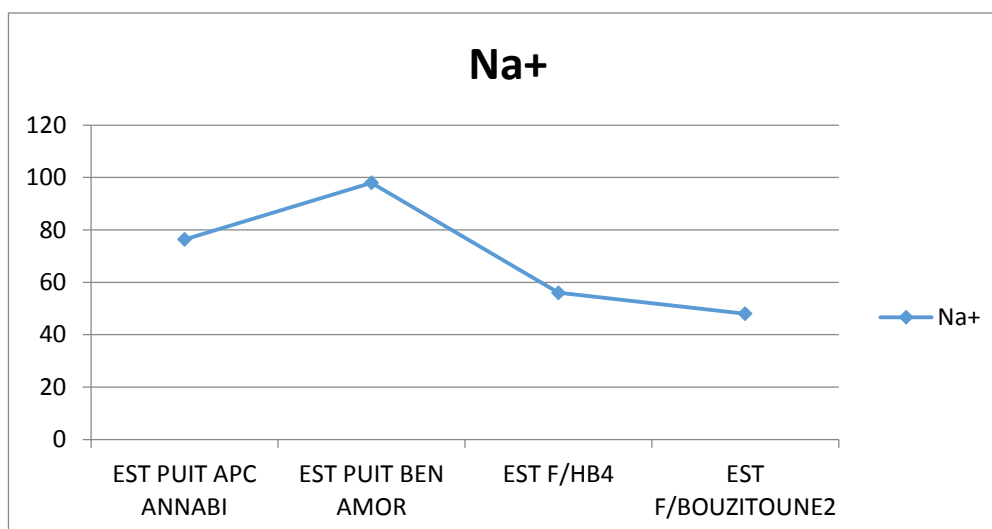


Figure 21 : Variations des teneurs en sodium des eaux souterraines dans les quatre puits.

1.1.1.1.1 Potassium (K+) :

Selon Brémond et Vuichard (1973), le potassium est un élément normal des eaux, où sa concentration est largement inférieure à celle du sodium, bien que leurs abondances relatives terrestres soient comparables (sodium 2.83 % - potassium 2.59 %).

En général, les teneurs en potassium varient spatialement de manière irrégulière avec des concentrations faibles (0.29 mg/l) au niveau du puit BEN AMOR, et avec une concentration maximale (0.65 mg/l) au niveau du forage HB4, avec une moyenne pour les quatre forages de 0.4605 mg/l, Ils proviennent des formations triasiques. (Figure 45)

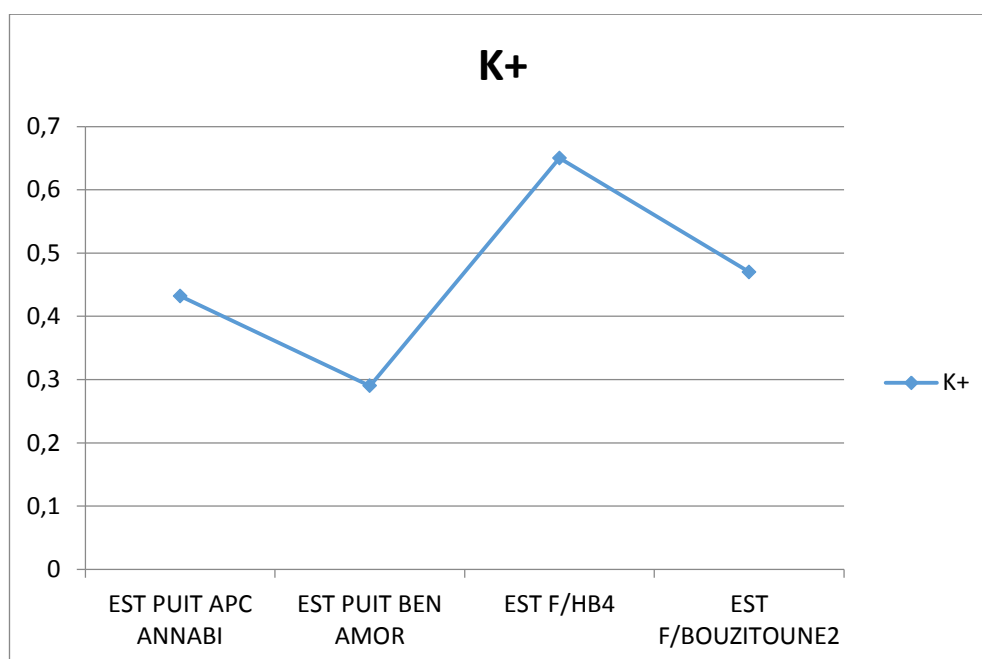


Figure 22: Variations des teneurs en potassium des eaux souterraines dans les quatre puits.

1.1.1.1 Anions :**1.1.1.1.1 Chlorures (Cl-) :**

Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables (Brémond et Vuichard, 1973).

Les teneurs en chlorures des eaux analysées sont aussi variées de manière irrégulière, la valeur des chlorures la plus basse est de 42.6 mg/l enregistrée au niveau du Forages HB4 et Bouzitoune2, la plus élevée est de 199 mg/l enregistrée au niveau du puit de BEN AMOR (Figure 23). Pour l'ensemble des stations, la valeur moyenne des Chlorures est de 97.8 mg/l, Les chlorures peuvent provenir des formations triasiques, des grés, des marnes et des sels.

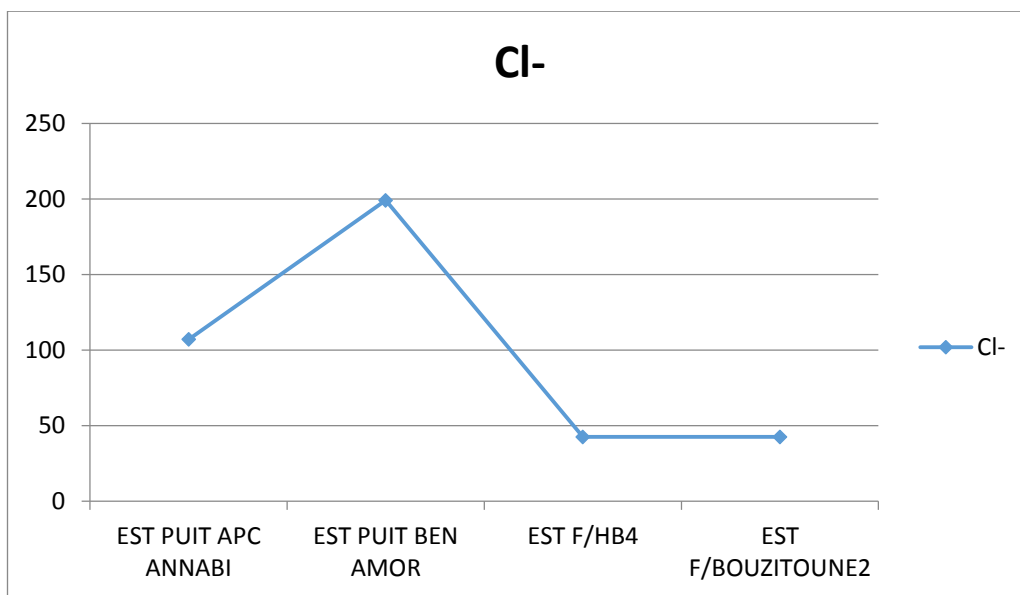


Figure 23: Variations spatiales des teneurs en Chlorures des eaux souterraines dans les quatre puits.

1.1.1.1.1 Sulfates (SO₄²⁻) :

Les sulfates, composés naturels des eaux, sont liés aux cations majeurs : calcium, potassium et sodium (Brémond et Vuichard, 1973).

D'après la figure 24, Les stations présentent des variations spatiales de manière irrégulière des teneurs en Sulfates, Ces teneurs atteignent un pic de 432 mg/l dans le puit de BEN AMOR et une valeur minimale (56 mg/l) au niveau du forage BOUZITOUNE2. Avec une moyenne pour les quatre forages de 236.82 mg/l, La présence de cet élément est liée à la dissolution des formations évaporitiques (Gypse = CaSO₄(2H₂O))

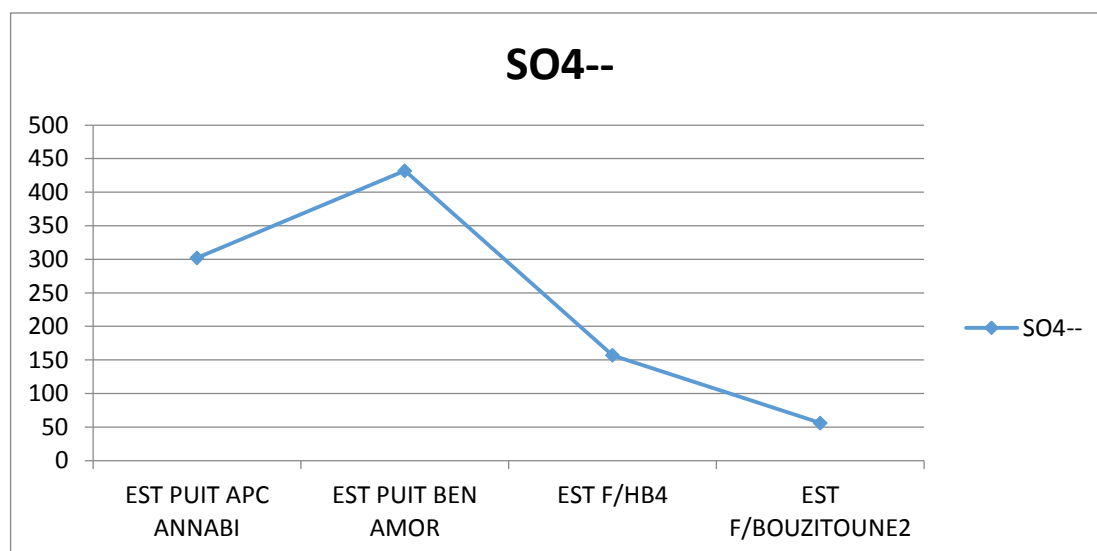


Figure 1: Variations spatiales des teneurs en Sulfates des eaux souterraines dans les quatre puits.

1.1.1.1.1 Bicarbonates (HCO₃⁻) :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les teneurs en Hydrogénocarbonates varient spatialement de manière irrégulière, elles varient d'une valeur minimale de 311.71 mg/l au niveau de HB4 et un maximal de 356.24 mg/l au niveau de F/Bouzitoune2, avec une moyenne pour les quatre forages de 331.53mg/l, Ils proviennent de la dissolution des calcaires. (Figure25).

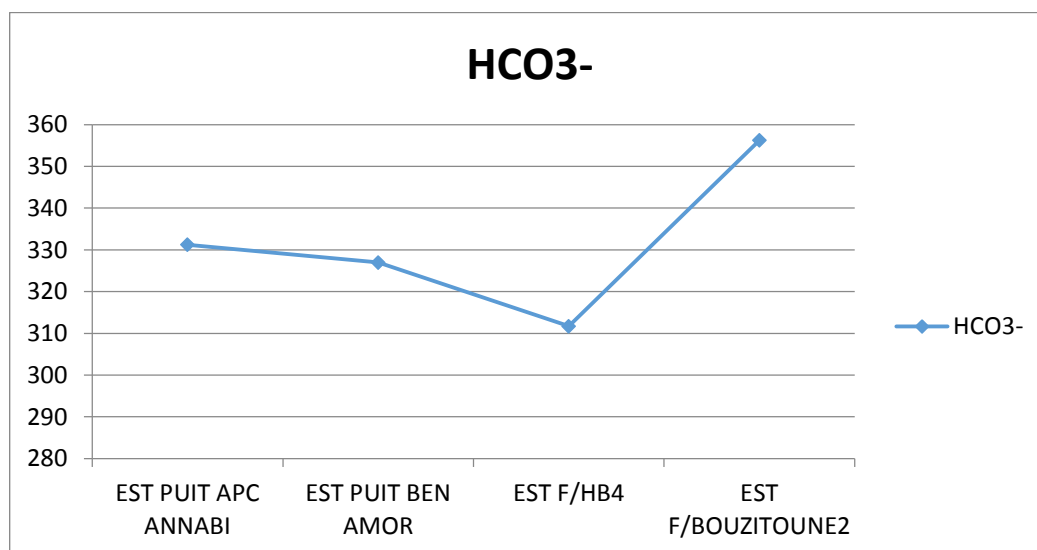


Figure 25: Variations spatiales des teneurs en bicarbonates des eaux souterraines dans les quatre puits.

Usage de l'eau :

La destination de l'eau pour l'alimentation, l'agriculture et l'industrie est régie par des conditions physico-chimiques.

La dureté ou Titre hydrotimétrique :

La dureté est définie comme l'inhibition de l'action du savon dans l'eau en raison de la précipitation de Magnésium et sels de Calcium. Elle peut être temporaire ou permanente. Une eau dure provoque l'obstruction des canalisations par le dépôt de tartre (sels) et peut nuire à la santé humaine en provoquant des maladies telles que l'insuffisance rénale. Elle est calculée par la formule suivante (Sawyer et Macarty, 1969).

$$TH_{CaCO_3} \text{ (mg/l)} = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) * 50$$

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

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

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

Le TH est situé entre 353.27 et 751.66 mg/l avec une moyenne de 525.58 mg/l, en comparaison avec le tableau ci-dessus, les eaux sont très dures.

Tableau19 : Représentation de la dureté des forages

Nom des échantillons	TH $CaCO_3$ (mg/l)
EST PUIT APC ANNABI	591.65
EST PUIT BEN AMOR	751.66
EST F/HB4	405.76
EST F/BOUZITOUNE2	353.27

Comparaison des paramètres avec les normes de l'OMS :

Les résultats de nos analyses sont comparés avec les normes de l'OMS (2011).

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

Destination	Minimum	Maximum	moyenne	C(mini et max)	Observation
PH	7.04	7.78	7.41	6.5-8.5	Néant
CE	639	1537	1088	500-1400	Sauf puit Ben AMOR est hors normes
Na	48	98	73	200	Néant
Ca	99.12	202.23	105.675	75-Non spécifier	Tous les échantillons dépassent largement la seuil 75 mg/l fixée par L'OMS
Mg	25.75	59.79	42.77	150	Néant
K	0.29	0.65	0.47	12	Néant
Cl	42.6	199	120.8	250	Néant
NO3	0.89	3.95	2.42	50	Néant
SO4	56	302.3	174.15	250	Sauf puit APC Annabi est hors normes
HCO3	311.71	356.24	333.975	600	Néant

Selon les tableaux ci-dessus les valeurs des éléments analysés sont inaptes à la consommation humaine. Pour les rendre potable, il faut les traiter (une correction des eaux), et aussi il faut les adoucir.

Conclusion :

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de notre zone d'étude montre que les eaux sont d'une manière générale de faciès chimique Bicarbonaté calciques et magnésiens et Sulfaté calcique.

Du point de vu, qualitative de ces eaux ainsi que leurs destinations appropriées. Nous constatons que ces eaux ne sont pas bonnes à la potabilité, Elles présentent des teneurs élevées en Calciums et en sulfates qui dépassent en certains points respectivement les 75 et 250 mg/l autorisé par l'OMS(2011)

Conclusion

CONCLUSION GENERALE:

Sur le plan géologique, Notre région d'étude est caractérisée par des formations du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement: les alluvions, les marnes, les argiles, les flysch et surtout les calcaires fissurés et Karstique.

C'est une région soumise à climat méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes, l'une humide et froide et l'autre sèche et chaude.

La température moyenne annuelle est de 18.3°C et la précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 629.37mm. Le bilan hydrologique montre qu'au niveau de la station de Guelma le ruisselée constituée 113.99mm de précipitation, avec une infiltration de 185.38mm.

Le traitement des données de forages réalisés dans notre région d'étude, et l'élaboration des coupes hydrogéologiques ou bien des coupes lithologiques, nous a permis d'identifier deux aquifères :

-Une nappe superficielle alluvionnaire de moindre importance à cause de son extension limitée.

- Une nappe profonde importante caractérisée par des formations calcaires karstifiés et fissurés dans l'unité stratigraphique des calcaires néritiques.

Nous avons essayé, dans ce travail d'interpréter les données de chimie ou l'hydrochimie réalisées pas la station de traitement des eaux a Hammam Debagh et par l direction de l hydraulique de la wilaya de Guelma

Conclusion

L'hydrochimie et les analyses de qualité d'eau (les analyses physico-chimique) et les caractéristiques physiques et chimique de l'eau. Elle permet :

- De donner une idée de la qualité chimique de l'eau,
- De visualiser à l'aide de cartes la répartition et l'évolution géographique des concentrations en éléments chimiques dissous

En combinant les données de l'hydrochimie et les données des forages nous avons élaboré la balance ioniques de ces huit forages et nous avons identifié les deux facies chimiques ainsi la réalisation des diagrammes de Piper et de STABLER

D'après les analyses, nous constatons que ces eaux ne sont pas bonnes à la potabilité, Elles présentent des teneurs élevées en Calciums et en sulfates qui dépassent en certains points respectivement les 75 et 250 mg/l autorisé par l'OMS(2011).

SONDAGE Hamman Bradak (P2)

Guelma

Date des travaux : 01/02/55 au 01/01/86

Echelle de la coupe :

M. FAUCHON
Fauchon

N° Fiche Forages

N° Inventaire

Long :

Lat :

X 925,600

Y 368,500 Z 33,8

Profondeur (m)	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Eclat	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Essai
0					→ Terre microlite, argile rouge, plastique	
1.0					→ Marnes noires feuilletées dures et roides en microphtisme (globo. hirsuta)	
3.3					→ Marnes grises, plastiques avec des débris calcaires (5% de cal)	
4.00					→ Marnes grises, passage de niveaux calcareux gris clair avec présence de filaments de calcite blanche	
					→ Calcaire noir, blanchâtre, très résistant et abrasif. Perte totale à 399 m zone carbonneuse d'impression 3 m, provoque du forage dans ce terrain résistant	

X= 923,550 Y= 262,100

SONDAGE BOU ZITOUNE

Carte **GUELMA 1/50.000**

Date des travaux: **26/05/88 - 20/08/88** Long: **923,500 X**

Echelle de la coupe: **1/2000** Lat: **369,600 Y** **2309,00**

N° Fichier Forages

11° Inventaire

Profondeurs en mètres	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Etage
0						
20						
40						
60						
80						
100						
120						
140						
160						
180						
200						
220						
240						
249						

Marnes grises

Calcaires compacts, gris clairs résistants

Zone fissurée présence de petite Estole de boue bentonique

Calcaires gris friables facilement broyable à l'outil.

Burrémien : Cui: Marnes à Ammonites pyriteuses.

SONDAGE Forage de Hammam. Boudaa HB4

Carte Guelong éch. 1/50 000^e

Date des travaux 11/1993

Echelle de la coupe

No Fichier Forages

No Inventaire

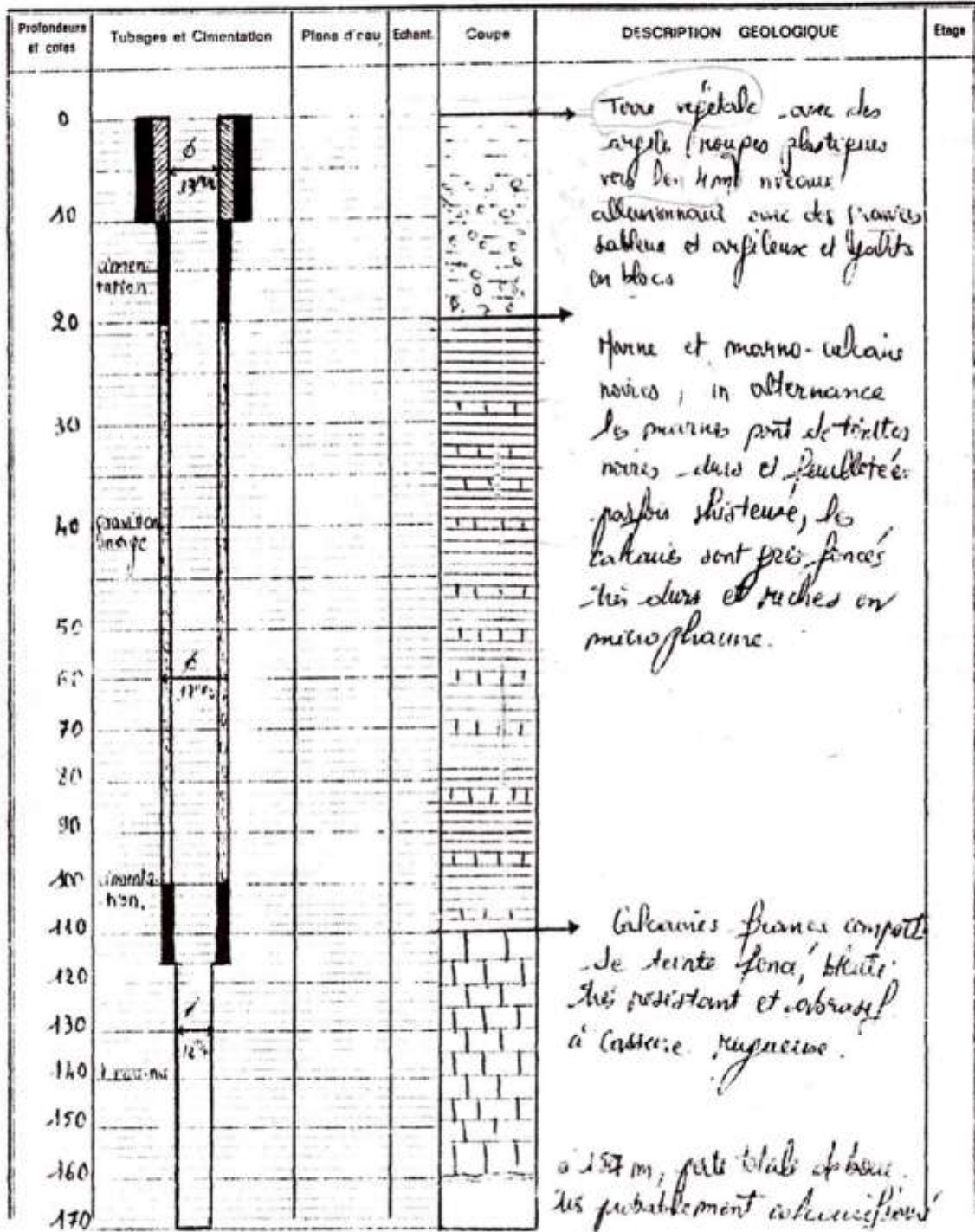
Long 925,500

X 925,60

Lat 368,500

Y 368,50

Z 222



mis à jour par

le

SONDAGE BOU ZITOUNE I

Carte : GUELMA 1/50.000

Date des travaux : 26/05/88 - 20/08/88 Long : 923,50 X

Echelle de la coupe : 1/2000 Lat : 369,50 Y Z 270,

N° Fiche Forages

20° Inondation

Profondeurs et cotes	Tubages et Cimentation	Plans d'eau	Echant.	Coupe	DESCRIPTION GEOLOGIQUE	Age
0						
20						
40						
60						
80						
100						
120						
140						
160						
180						
200						
220						
240						

Marnes grises

Calcaires compacts, gris clair résistants

Zone fissurée présence de pertes totale de boue bentonique

Calcaires gris friables facilement broyable à l'outil.

Barrémien : Cui : Marnes à Ammonites pyriteuses.

1B₂

SONDAGE...FORAGE. Bras Toune III

Carte : M. EL RIZPOULI (de la carte de la Tunisie)

Date des travaux :

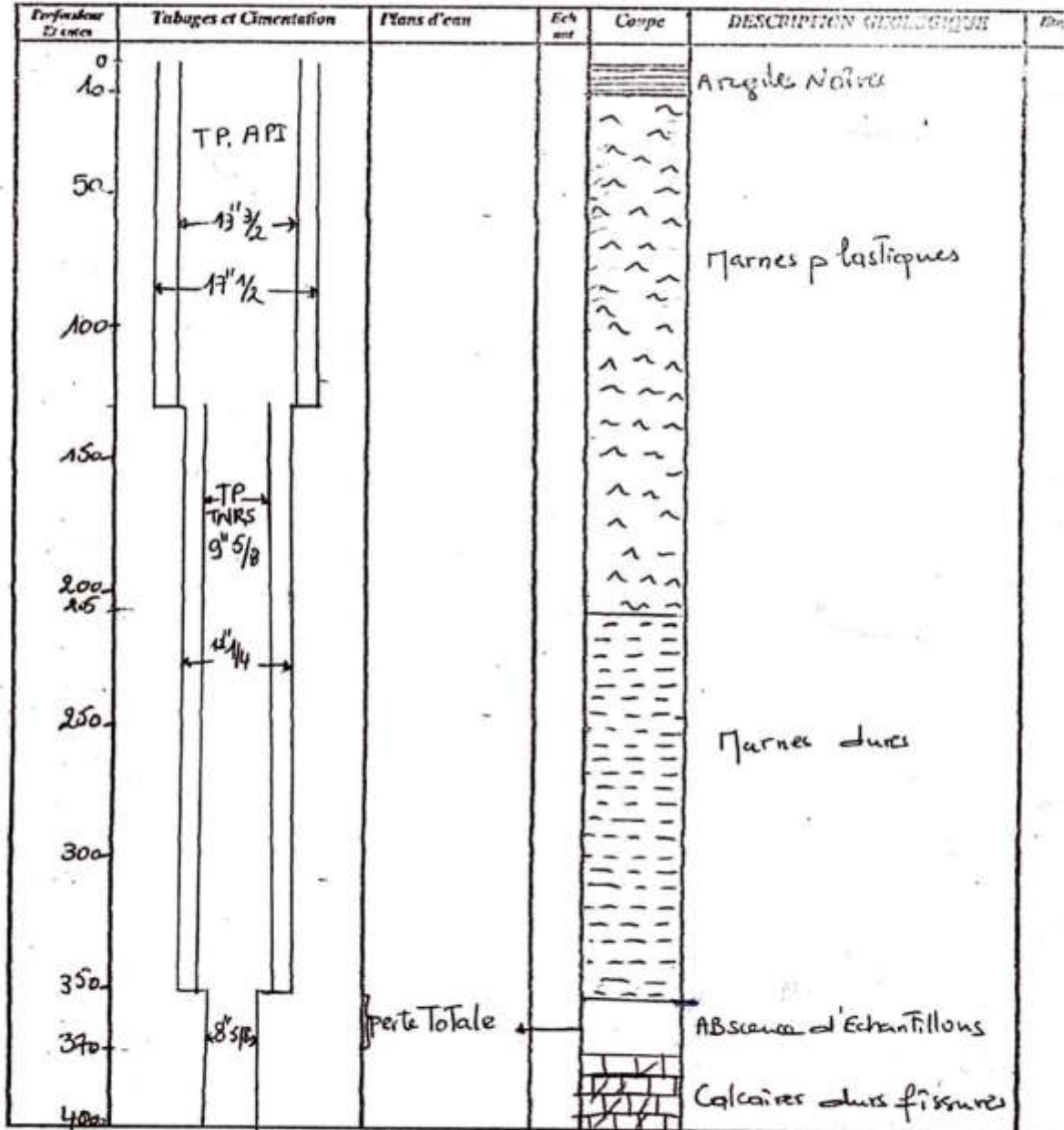
N°

Long : x 923,82

Z : 460

Latit : y 367,86

Echelle de la coupe :



1781 NS

SONDAGE Forage de Hamonay Bresca

Carte Guelma 1/50,000

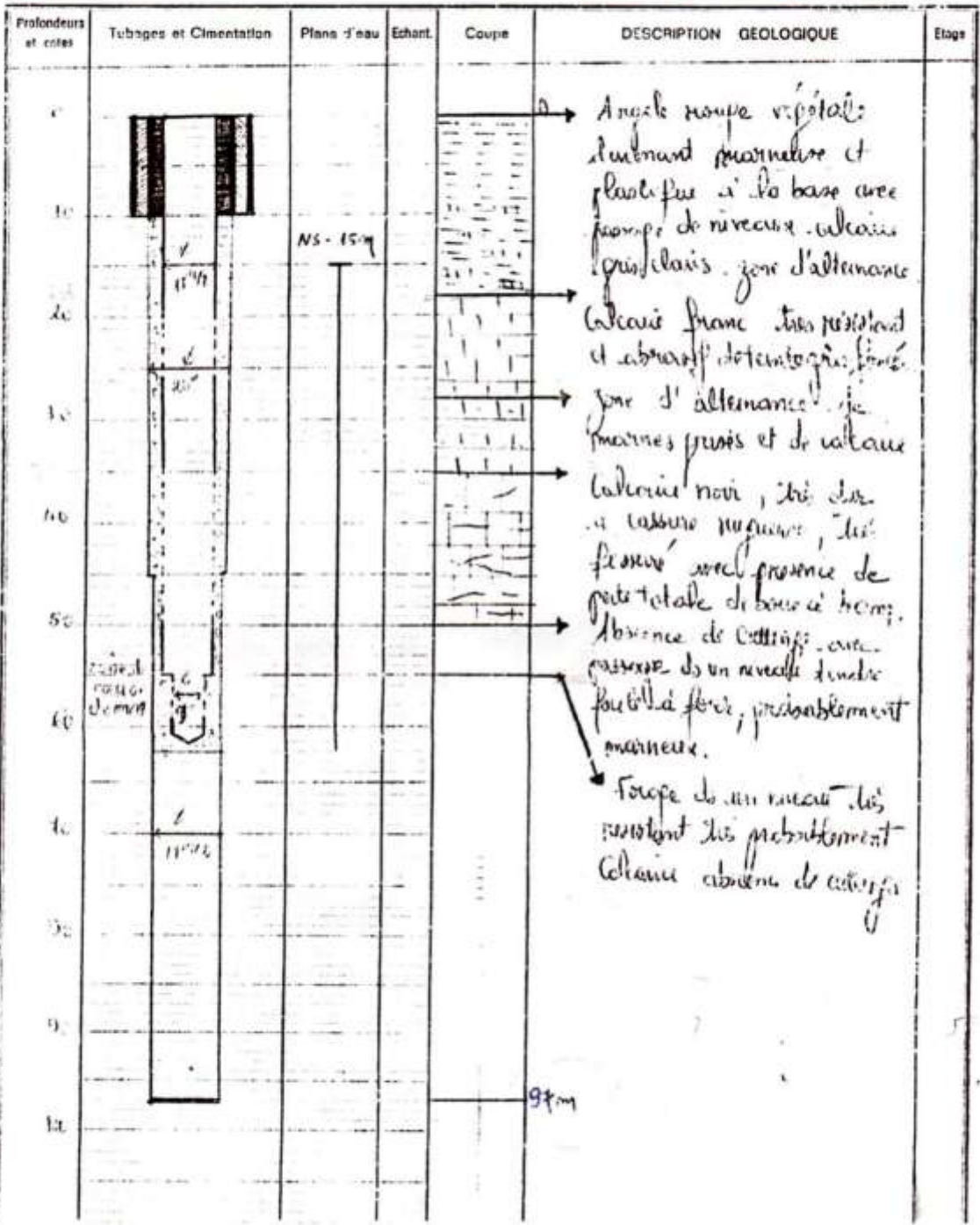
No. Fichier Forage No. Inventaire

Date des travaux 03/11/1964 - 14/02/1966 Long 924,750

~~X 924,750~~

Echelle de la coupe Lat 368,150

~~Y 368,150~~ 368,150



mis à jour par _____ le _____

SONDAGE EL FEDJOU DJ. NF

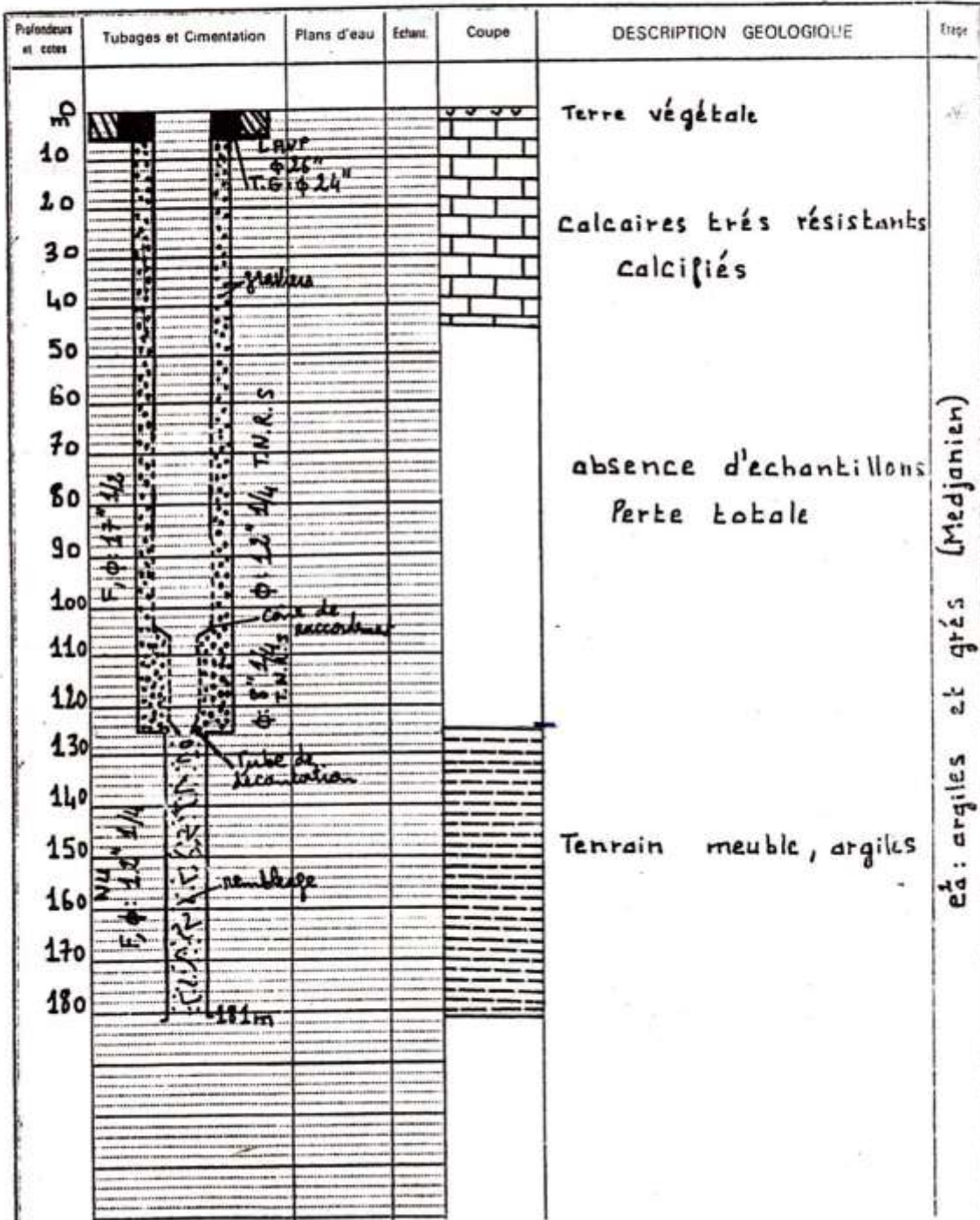
Carte : GUELMA 1/50.000

Date des travaux : 03/06/1989 - 28/11/89 Long : 917,90 X

Echelle de la coupe : 1/10.00 Lat : 366,80 Y Z.360

N° Fiche Forages

N° Inventaire



ed: argiles et grés (Medjanien)

mis à jour par _____ le _____

Bibliographie

- A.B.H. (1999).** Pollution des eaux superficielles. Les cahiers de l'Agence, Agence de bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue. Constantine-Algérie. 19p.
Agence Nationale des ressources hydriques(ANRH).
- BEAUDRY, Jean-Paul.** Traitement des eaux, Ed. Le Griffon d'argile INC, Canada, 1984.
- Bechiri. N., (2011):** Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-est Algérien) : Université Badji Mokhtar-Annaba. Mémoire d'ingénieur d'état en Hydrogéologie. 100 pages.
- BREMAUDE, C. CLAISSE, J-R. LEULIER, F. THIBAUT, J et ULRICH, E.** Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rurale. Edition Educagri. Dijon. FRANCE. (2006). p 220-221.
- Brémond R. et Perrodon C., 1979.** Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'environnement et cadre de vie. 2ème ed : 259 p.
- Brémond R. et Vuichard R., 1973.** Les paramètres de la qualité de l'eau. Ed. La documentation française. Paris. 173p.
- Carte de référence :**
- 1- Vila (1980) : carte géologique de l'Algérie Guelma au 1/50 000
 - 2- L'INSTITUT NATIONAL DE CARTOGRAPHIE : cartes topographiques au 1/50 000 de Azzaba Est, Azzaba Ouest, Guelma Est, Guelma Ouest
- Dussart B., 1992.** Limnologie: étude des eaux continentales. Paris. 638 pp.
- Eckenfelder W. W., 1982.** Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Techniques de documentation. Ed. Lavoisier, Paris. 503p.
- El Morhit M., 2009.** Hydrochimie, éléments traces métalliques et incidences écotoxicologiques sur les différentes composantes d'un écosystème estuarien (Bas Lukkos). Thèse de Doctorat en Toxicologie. Université Mohammed V. Agdal, Rabat, Maroc. 260 p.
- Gagnon, H., 1974.** La photographie aérienne - son interprétation dans les études de l'environnement et du ménagement du territoire, Editions HRW, Montréal, 278p.
- Gaujous D., 1995.** La pollution des milieux aquatiques. Aide mémoire. Ed. Technique et

Genève, Suisse.

Hutchinson T.C. et Meema K.M., 1987. Lead, mercury and arsenic in the environment. SCOPE 31. Chichester, John Wiley and Sons, 360 p.

Nisbet M et Verneaux J., 1970. Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que base d'interprétation des analyses. Ann. De limnologie. Tome 6, n°2, 161-190.

O.M.S, (2011) : Directive de qualité pour l'eau de boisson 2eme édition, recommandations

OMS, 2006 : Mondiale de la santé, Organisation. Plan stratégique à moyen terme 2008-2013. Genève.

Ramade F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. 2^{ème} Ed. DUNOD. Paris. 1075 pp.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. et Rodi L., 2005. L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eau de mer. 8^{ème} Ed. DUNOD. Paris, 1383 pp.

Rodier J. analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7^{ème} édition 1996.

Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau, 9eme édition. Dunod, Paris, 2009

Vila, J. M., Hernandez, J., & Velde, D. (1974). Sur la présence d'un filon de roche lamproitique (trachyte potassique à olivine) recoupant le flysch de type Guerroch entre Azzaba (ex-Jemmapes) et Hammam-Meskhoutine dans l'Est du Constantinois (Algérie). CR Acad Sci Paris Sér D, 278, 2589-2591.

Villa, J.-M. (1980) – la chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-Tunisiens. Thèse doctorat, univ de Pierre et Marie Curie, Paris VI (France), 2 vol, 665p. pp 133-140.