

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université 8 Mai 1945 Guelma
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de Master
Filière : Géologie Appliqué
Option : Hydrogéologie

THÈME :

Influence de la salinité sur la qualité des eaux souterraines
(Cas de la nappe de Guelma)

Présenté par : Harida Bochra

Devant le jury composé de :

- | | | |
|---|-----|----------------------|
| ✓ Président : Mr Nouar Tahar | Pr | Université de Guelma |
| ✓ Examineur : Mr Ghreib Lassaad | Pr | Université de Guelma |
| ✓ Encadreur : M^{me} Benacer Laila | MCA | Université de Guelma |

Année Universitaire : 2023/ 2024

Remerciements

Tout d'abord je me remercie pour la détermination et la persévérance dont j'ai fait preuve tout au long de la réalisation de ce mémoire. Les nombreux défis rencontrés m'ont permis de développer ma résilience et ma capacité à surmonter les obstacles.

Je remercie mon encadreur de mémoire **Mme Benacer Laila**, pour leur encadrement tout le long de ce projet et pour leur orientation et conseil très efficace.

Je tiens également à adresser mes vifs remerciements à **Mr Nouar Tahar** qui a fait l'honneur de présider ce jury à **Mr Ghreib Lassaad** Qui a accepté de faire partie du jury et d'examiner ce travail.

Je remercie également l'ensemble des professeurs du département de Science de la terre et de l'univers pour leurs enseignements et leurs encouragements. Leur passion et leur dévouement ont grandement enrichi mon parcours académique.

Je remercie mes collègues Promo 2022-2024 pour leur soutien moral, leurs encouragements, et les nombreuses discussions enrichissantes qui ont stimulé ma réflexion et m'ont aidé à surmonter les défis rencontrés.

Je remercie également **Mdm Boudjebieur Assia** et tous l'équipe de la Station de traitement des eaux de Hamame Debagh pour leur soutien matériel, ou moral, qui a été essentiel à la réalisation de ce travail.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Votre aide et votre soutien ont été précieux et je vous en suis profondément reconnaissant.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à ma famille, dont l'amour et le soutien inconditionnels m'ont donné la force de persévérer même dans les moments les plus difficiles.

Je dédie ce mémoire à mon cher papa, Harida Salah dont l'amour, le soutien et les sacrifices ont été une source constante de motivation et d'inspiration. Ta foi inébranlable en mes capacités et tes encouragements inlassables m'ont permis de surmonter les nombreux défis rencontrés au cours de mon parcours.

À ma mère Merabti Chahira, qui a toujours cru en moi et m'a encouragé à suivre mes rêves.

À mes frères et sœurs, Amina, Chouaib, Zaineb, qui m'ont inspiré et soutenu de mille manières.

À mon époux Boubaker Khobizi, dont la patience et l'écoute ont été une source constante de réconfort.

A ma belle-famille qui m'ont toujours encouragé.

A mes amies surtout Benotsmane Rabab et Cheikh Wafaa.

Et à tous ceux qui ont joué un rôle dans mon parcours académique, merci de m'avoir guidé et encouragé.

Résumé

Face à l'augmentation de la demande en eau et les changements climatiques ces dernières années, il est crucial de comprendre la qualité des eaux souterraines pour une utilisation durable.

Dans ce mémoire on va évaluer la qualité des eaux souterraines situées à la nappe de Guelma et leur aptitude à différents usages : domestique, agricole et industriel. En basant sur l'influence de la salinité.

La problématique centrale est d'évaluer si les eaux souterraines de la région répondent aux critères de qualité pour ces usages. Des échantillons d'eau ont été prélevés à différents points et analysés selon plusieurs paramètres physico-chimiques (pH, cations, anions, conductivité, SAR ...etc.).

Les résultats montrent que la majorité des sources sont de bonne qualité pour l'usage domestique, sauf certains points présentent des niveaux de Nitrate, chlorure et de sulfate dépassant les normes. Pour l'usage agricole, les eaux sont adéquates sauf dans les zones à haute salinité, qui affecte les cultures. Pour l'usage industriel, la plupart des échantillons ne répondent pas aux exigences.

Mots clés : Hydrochimie, Usage d'eau, Salinité, Eau souterraine, Qualité des eaux, Guelma.

ملخص

مع تزايد الطلب على المياه والتقلبات الجوية في المنطقة فإن فهم نوعية المياه الجوفية أمر بالغ الأهمية للاستخدام المستدام.

نقوم من خلال هذا البحث بتقييم نوعية المياه الجوفية المتواجدة بحوض واد سيبوس قالمة ومدى ملاءمتها للاستخدامات المختلفة: المنزلية والزراعية والصناعية. مع التركيز على ملوحة المياه.

وتتمثل المشكلة الأساسية في تقييم ما إذا كانت المياه الجوفية في المنطقة تلي معايير الجودة لهذه الاستخدامات. تم أخذ عينات المياه من نقاط مختلفة وتحليلها وفقاً للعديد من العوامل الفيزيائية والكيميائية: الرقم الهيدروجيني، والكاتيونات، والأنيونات، والموصلية، ونسبة الامتصاص النوعي (SAR) ، وما إلى ذلك.

وأظهرت النتائج أن غالبية المصادر ذات نوعية جيدة للاستخدام المنزلي، باستثناء بعضها الذي يحتوي على مستويات من الكلوريد والكبريتات تتجاوز المعايير. والمياه مناسبة للاستخدام الزراعي إلا في المناطق ذات الملوحة العالية مما يؤثر على المحاصيل. بالنسبة للاستخدام الصناعي، فإن معظم العينات لا تلي المتطلبات.

الكلمات المفتاحية: الهيدروكيميائية، استخدامات الماء، المياه الجوفية، الملوحة، جودة المياه، قالمة.

Abstract

With increasing water demand and climatic changes in recent years, understanding groundwater quality is crucial for sustainable use.

In this report we will evaluate the quality of groundwater located in Guelma bassin and their suitability for different uses: domestic, agricultural and industrial. Based on the influence of salinity.

The central issue is to assess whether the region's groundwater meets the quality criteria for these uses. Water samples were taken at different points and analyzed according to several physicochemical parameters (pH, cations, anions, conductivity, SAR ...etc)

The results show that the majority of sources are of good quality for domestic use, except certain points have levels of Nitrate, chloride and sulfate exceeding standards. For agricultural use, the waters are suitable except in areas with high salinity, which affects crops. For industrial use, most samples do not meet the requirements.

Keywords: Hydrochemistry, water uses, Groundwater, salinity , water quality, Guelma

Remerciement

Dédicace

Résumé

ملخص

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste d'abréviations

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I Contexte naturel	3
I.1 Situation géographique	3
I.2 Contexte géologique	4
I.2.1 Trias	4
I.2.2 Néritique	4
I.2.2.1 Jurassique.....	4
I.2.2.2 Crétacé.....	4
I.2.3 Domaine des nappes.	5
I.2.3.1 La nappe Numidienne :.....	5
I.2.3.2 Domaine des flyschs.....	5
I.2.3.3 Nappe ultra tellienne.....	6
I.2.3.4 Nappe Tellienne :.....	6
I.2.4 Le Mio-Pliocène.....	7
I.2.5 Le Quaternaire.....	7
I.2.5.1 Le Quaternaire ancien.....	7
I.2.5.2 Le Quaternaire actuel.....	7
I.3 Contexte climatologique.....	9
I.3.1 Introduction.....	9
I.3.2 Station de Mesure	9
I.3.3 Facteurs climatiques :	9

I.3.3.1	Précipitations :	9
I.3.3.2	Température :	10
I.3.3.3	Bilan hydrologique	11
I.3.3.4	Ruissellement.....	13
I.3.3.5	Infiltration	14
I.3.3.6	Calcul d'indice d'aridité	14
I.3.4	Conclusion	15
I.4	Contexte Hydrogéologique.....	15
I.4.1	Etude des paramètres hydrodynamiques.....	15
I.4.1.1	La transmissivité.....	15
I.4.1.2	La perméabilité	16
I.4.1.3	Les épaisseurs mouillées	17
I.4.1.4	La piézométrie	18
Chapitre II	Matériels et méthodes	19
II.1	Introduction	20
II.2	Echantillonnage	20
II.2.1	Matériel et méthodes de prélèvement.....	20
II.2.2	Transport des échantillons.....	20
II.2.3	Analyses physico-chimiques	20
II.2.3.1	Les paramètres physiques	20
II.2.3.2	Les paramètres chimiques :	22
II.2.4	Conclusion :.....	30
Chapitre III	Aptitude des eaux à différents usages	31
III.1	Hydrochimie	32
III.2	Protocole d'acquisition des données :	32
III.2.1	Critique des données :	33
III.2.2	Facies chimique.....	33
III.2.3	Mécanisme contrôlant le chimisme de l'eau :	35
III.2.4	Indice de saturation	36
III.2.5	Matrice de corrélation	37
III.3	Destination de l'eau :	38
III.3.1	Usage domestique :	38
III.3.1.1	Paramètres physique	38
III.3.1.2	Classification des éléments chimiques selon l'O.M. S :.....	40
III.3.2	Aptitude à l'irrigation :	45

III.3.2.1	Taux d'absorption de sodium (SAR) :.....	45
III.3.2.2	Pourcentage de sodium Na+	47
III.3.2.3	Carbonate de sodium résiduel (RSC) :.....	48
III.3.2.4	Mg ratio.....	48
III.3.2.5	Conclusion	49
III.3.3	Usage industriel.....	50
III.3.3.1	Indice de Saturation de Langelier (LSI) :.....	50
III.3.3.2	Indice de Ryznar (IR) :.....	51
III.3.3.3	Conclusion	52

Conclusion générale

Recommandations

Référence et bibliographie

Liste des figures

Fig.1 Situation géographique de la zone d'étude	3
Fig.2 Carte géologique de la Wilaya de Guelma d'après J. M. Vila.....	8
Fig.3 les variations de la précipitations moyennes mensuelles (2012-2022).....	10
Fig.4 les variations de la températures moyennes mensuelles (2012-2022).....	10
Fig.5 Diagramme Ombrothermique (2012-2022)	13
Fig.6 Carte iso- teneur de la transmissivité.....	16
Fig.7 Carte iso- teneur de la perméabilité	17
Fig.8 Carte iso- teneur des épaisseurs mouillés	17
Fig.9 Carte piézométrique de la nappe alluviale de Guelma. (Mouassa 2017).....	18
Fig.10 localisation des forages	32
Fig.11 Diagramme de Piper	34
Fig. 12 Diagramme de Gibbs (1970)	35
Fig.13 Carte iso- teneur de pH	40
Fig.14 Carte iso- teneur de calcium	41
Fig.15 Carte iso- teneur de Mg ²⁺	42
Fig.16 Carte iso- teneur de Na ⁺	42
Fig.17 Carte iso- teneur de sulfate	43
Fig.18 Carte iso- teneur de Chlorure.....	44
Fig.19 Carte iso- teneur de nitrate.....	45
Fig.20 Classification des eaux d'irrigation selon le diagramme de Richards	46
Fig.21 Diagramme de Wilcox.....	47

Liste des tableaux

Tab.1 Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma.....	9
Tab.2 Bilan d'eau de Thornthwaite de la station de Guelma (2012-2022)	12
Tab.3 les valeurs de balances ioniques	33
Tab.4 Indice de saturation	36
Tab.5 Matrice de corrélation des différents paramètres	37
Tab.6 Classification de TDS des forages selon les normes de l'OMS	38
Tab.7 Classification de la dureté de l'eau selon Sawyer and McCarthy (1967).....	39
Tab.8 les valeurs de la dureté	39

Tab.9 Différents paramètres intervenant dans la qualité des eaux à des fins agricoles.....	49
Tab.10 Les valeurs de LSI.....	50
Tab.11 Valeurs de IR.....	51

LISTE DES ABREVIATIONS

A : indice d'aridité.

AEP : Alimentation en eau potable.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydriques.

BI : La balance ionique.

CE : Conductivité Electrique.

CL : coefficient de latitude.

Déf : Déficit agricole.

ETP : Evapotranspiration Potentielle.

ETPC : Evapotranspiration Potentielle corrigé.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

EXC : Excédent.

I : Infiltration.

IP : l'indice de perméabilité.

IR : indice de Ryznar.

IS : Indice de saturation.

It : indice thermique.

LSI : indice de saturation de Langelier.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

P : Précipitations.

Ph : Potentiel en Hydrogène.

R : Ruissellement.

RFU : Reserve en eau Facilement Utilisable.

RSC : Carbonate de sodium résiduel.

S.A.R : Le Rapport d'Adsorption du Sodium.

SSP : Pourcentage de sodium soluble.

TDS : Teneur en Sel Dissous.

TH : dureté de l'eau.

Tp : Température mensuelle.

Introduction générale

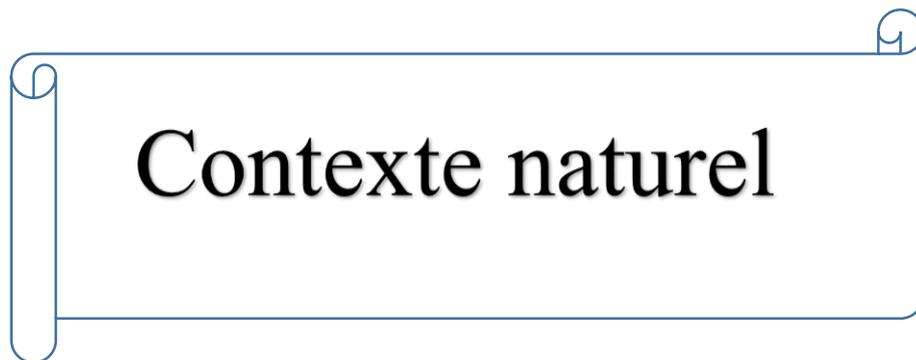
"L'eau souterraine est une ressource essentielle, fournissant de l'eau potable à des milliards de personnes, irriguant des millions d'hectares de terres agricoles, et soutenant des industries vitales. Sa gestion et sa conservation sont cruciales pour assurer un approvisionnement en eau durable et sécuritaire pour les générations futures." (Sandra Postel, 1999). Cependant, la qualité de cette ressource est souvent menacée par divers facteurs, parmi lesquels la salinité joue un rôle prépondérant. L'étude de l'influence de la salinité sur les eaux souterraines revêt donc une importance cruciale pour la gestion durable de cette ressource vitale.

Le présent mémoire s'articule autour de l'analyse de l'impact de la salinité sur les eaux souterraines de la nappe de Guelma. Le premier chapitre est dédié à une revue détaillée sur le contexte naturel : localisation, la géologie, la climatologie et l'hydrogéologie de la région d'étude. Cette section permet de comprendre les formations géologiques sous-jacentes et les conditions climatiques influençant la recharge et le déplacement des eaux souterraines.

Le deuxième chapitre aborde les méthodes et les matériels utilisés pour mener cette recherche. Une description des techniques de collecte des échantillons d'eau, des instruments de mesure, ainsi que des protocoles expérimentaux employés, est fournie afin d'assurer la rigueur et la reproductibilité des résultats.

Enfin, le troisième chapitre est consacré aux aptitudes des eaux à différents usages, où les analyses physico-chimiques des échantillons d'eau sont présentées et discutées. Ces analyses permettent d'évaluer la qualité de l'eau et d'identifier les zones affectées par la salinité. Les résultats obtenus offrent des perspectives précieuses pour la gestion des ressources en eau.

Ce mémoire ambitionne ainsi de contribuer à une meilleure compréhension des interactions complexes entre la salinité et les eaux souterraines, tout en fournissant des outils et des recommandations pratiques pour la préservation de cette ressource indispensable.



Chapitre I Contexte naturel

I.1 Situation géographique

Le bassin de Guelma, situé dans la zone tellienne de la chaîne alpine du nord-est de l'Algérie, s'étend sur 20 km de long et entre 3 à 10 km de large d'est en ouest. Cette région comprend un ensemble de terrasses emboîtées, formant une dépression de 50 km² (Gaud B.1988). La Seybouse, le principal cours d'eau, traverse le bassin d'ouest en est, recevant des petits oueds du bassin versant secondaire avec leurs rejets (Fig.1).

Le bassin de Guelma est délimité par :

- Les monts de Houara et Béni Ahmed au nord, culminant à 1100 m d'altitude.
- La Mahouna au sud, atteignant 1413 m d'altitude.
- Les monts de Sellaoua au sud-ouest.
- Les monts de Nador N'bails à l'est.
- Une vaste plaine et des collines à l'ouest.

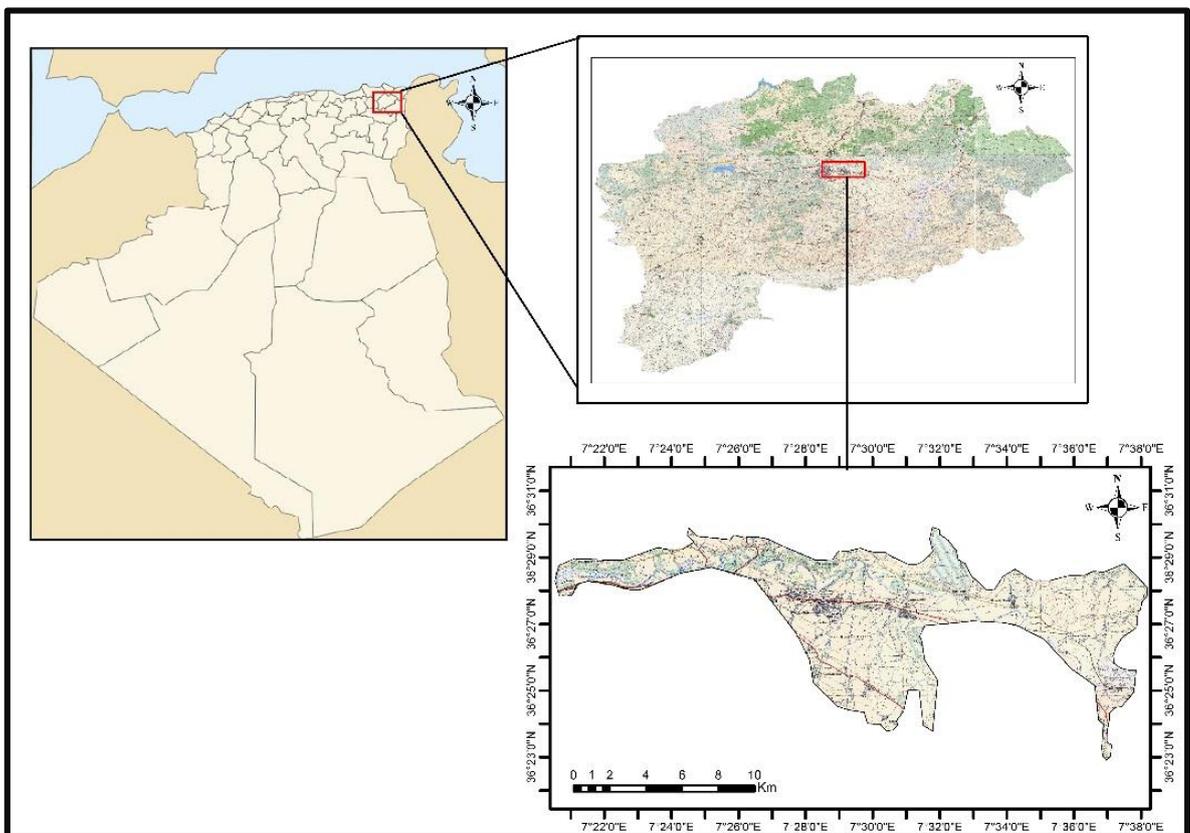


Fig.1 Situation géographique de la zone d'étude.

Chapitre I Contexte naturel

I.2 Contexte géologique

La région de Guelma présente une géologie qui s'étend du Quaternaire au Trias (Fig.2), avec une lithologie très diversifiée, composée principalement de : alluvions (sables, graviers, cailloutis...etc.), grès, marnes, argiles et calcaires. Le bassin est constitué d'un fossé d'effondrement rempli de sédiments alluvionnaires d'âge Mio-plio-quaternaire, qui constitue le réservoir aquifère de la vallée de Guelma. L'ancienne et actuelle terrasse de la vallée de la Seybouse est formée par ce remplissage.

On rencontre des terrains allant du Primaire jusqu'au Quaternaire.

I.2.1 Trias

La formation géologique la plus ancienne de la région, se divise en trois unités distinctes :

- Le Trias inférieur est composé d'argile à aspect schisteux et affleure au nord du massif de Nador.
- Le Trias moyen est formé de calcaires lités à cassures, contenant quelques bancs de calcaires vermiculés (calcaires à fucoïdes).
- Le Trias supérieur, situé à l'est de Djebel Debagh, est caractérisé par des alternances de marne et de schiste de faibles épaisseurs.

I.2.2 Néritique

Il est caractérisé par un faciès Jurassique-Crétacé plus au moins karstifié. Il apparaît aussi sous forme de fenêtre au Djebel Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest au Djebel Taya.

I.2.2.1 Jurassique

Les terrains du Jurassique dans la région de Djebel Debagh sont représentés par des dolomies noires accompagnées de schistes calcaires de faibles épaisseurs.

I.2.2.2 Crétacé.

À Hammam Bredâa et Djebel Debagh, nous rencontrons des formations du Crétacé inférieur constituées de dépôts étendus et ininterrompus de calcaire et de dolomite qui

Chapitre I Contexte naturel

présentent un aspect lisse ou massif. Ces formations appartiennent spécifiquement à l'âge Aptien et sont majoritairement composées de dolomies algales. Au Crétacé moyen, on peut trouver d'importants gisements de calcaires lithiques et de calcarénites. Au Crétacé supérieur, on observe une présence distincte de couches de calcaire dolomitique abondantes dans les orbitolines et les fragments de rudistes. Ces formations datent de la période Cénomaniens et sont d'épaisseur limitée.

I.2.3 Domaine des nappes

I.2.3.1 La nappe Numidienne :

Elle constitue les hauteurs des reliefs gréseux de part et d'autre de la Seybouse, on la retrouve :

- Au Nord-Est et au Sud-est (Djebel Bouzitoun).
- Au centre et à l'Est (les massifs boisés de Houara et Béni Mezline). Généralement, elle est marquée par la présence de deux faciès essentiels : les grès et les argiles.

I.2.3.2 Domaine des flyschs

Ce sont des dépôts de Mer profonde d'âge allant du Crétacé inférieur jusqu'à l'Oligocène. On distingue :

- **Les flyschs de Penthèvre**

Ils sont formés au Sud-est de Djebel Debagh par une série sensiblement continue depuis le Cénomaniens jusqu'à l'Oligocène, on y rencontre :

- Flysch grésos-micacé à patine jaunâtre d'âge Oligocène.
- Flysch à micro brèches rousses formés par des argiles à micro brèches assez fines du Priabonien à l'Oligocène.
- Flysch conglomératique à Nummulites d'âge Lutétien.

- **Les flyschs de Guerouche**

Ce flysch affleure au Sud de la pointe orientale de Djebel Debagh et à l'Ouest de la forêt de Béni Mezzeline. On distingue :

Chapitre I Contexte naturel

- Grès du Crétacé inférieur : Essentiellement une série de grès intercalés avec de fines couches de schistes argileux gris ou bruns.
- Complexe calcaire fin basique : Il s'agit d'une série argilo-gréseuse avec de nombreuses intercalations de biocristallites légères et affleure au sud de l'extrémité orientale du Djebel Debagh.

I.2.3.3 Nappe ultra tellienne

Représentée par un faciès dominant de marne et de marno-calcaires avec des barres de micrites à macrofaune, on distingue :

- Sénonien : représenté par une alternance de marnes claires beiges et marno-calcaire en petits bancs riches en rosalines.
- Cénomaniens : formé à la base par des marno-calcaires beiges, et des niveaux de schistes pélitiques gris au sommet.
- Turonien : est formé par des petits niveaux marneux ou marno-calcaires riches en rosalines.
- Albo-Cénomaniens : représenté par des calcaires à grandes dalles de micrites à radiolaires.
- Barrémo-Aptien : caractérisé par des marnes claires à altération grise ou bleue avec des petites intercalations de marnes noires.

I.2.3.4 Nappe Tellienne :

Cette unité correspond au domaine tellien externe, constitué par des nappes allochtones de matériels épais et profond d'âge Crétacé – Paléogène, ces unités chevauchent l'autochtone et apparaissent en fenêtres. On distingue de haut en bas :

- **Unité tellienne à nummulites**
- Paléogène à marnes noires.
- Eocène à calcaires massifs à Nummulites.
- Lutétien inférieur à marnes à débris d'huîtres.

Chapitre I Contexte naturel

- **Unité tellienne à globigérines**
- Paléogène formé de marne.
- Eocène à calcaire en banc à Lumachelles.
- Lutétien inférieur à marnes noires à débris d'huîtres.

I.2.4 Le Mio-Pliocène

Les argiles à gypse grise probablement d'âge Massylien renfermant des intercalations marno-calcaires et de gypse en couches minces ou en masses litées.

Les argiles rouges à conglomérats roulés rouges également témoignent de l'activité d'une phase d'érosion intense en milieu rubéfiant. La mollasse de Guelma bien développée au Sud est une épaisse série de grès jaunâtre friable rarement grossier avec des intercalations d'argiles marneuses grises ou jaune parfois gypseuses.

I.2.5 Le Quaternaire

Il occupe le centre du sous bassin, il est représenté par :

I.2.5.1 Le Quaternaire ancien

Il s'agit de tufs et calcaire lacustre, le calcaire tuffacé de couleur grise ou blanc-rosée cet ensemble affleure au Sud de Guelma aux environs de Ben Djarrah et aux alentours du village d'Héliopolis.

I.2.5.2 Le Quaternaire actuel

Dans laquelle appartient notre zone d'étude. Il est formé de deux structures :

1. Les alluvions anciennes

- **La basse terrasse (terrasse actuelle)**

La basse terrasse est la plus jeune des trois terrasses, Son épaisseur croit vers l'Est, elle est de 8 m au Nord de la ville de Guelma et atteint 16 m au Nord-est de Boumahra. Composée principalement de dépôts récents transportés par l'Oued Seybouse et ses affluents. Ces dépôts sont souvent non consolidés et se trouvent à des altitudes plus basses, proches du lit actuel de

Chapitre I Contexte naturel

la rivière. Ils reflètent des épisodes d'inondation et de dépôt rapides, typiques des plaines alluviales actives.

- **La moyenne terrasse**

Elle est constituée de marnes à gypses et d'argiles du Miocène à l'ouest, tandis qu'à l'est, il est composé d'argiles et de grès numidiens. Cette terrasse représente des dépôts fluviaux plus récents que ceux de la haute terrasse et se trouve à une altitude intermédiaire.

- **La haute terrasse (terrasse ancienne)**

Elle est formée d'alluvions grossières Plio-quaternaires (galets, graviers, grès, sables et quelques passées argileuses) perméables. Le substratum est aussi constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène jusqu'à l'Oued Boussora. Vers l'Est, il est constitué d'argiles Eocènes. Avec une épaisseur d'environ 50 à 150 mètres, cette terrasse est la plus épaisse parmi les trois, reflétant des périodes prolongées de dépôt et de stabilisation. Située à des altitudes plus élevées, elle représente des dépôts plus anciens, indiquant une phase géologique plus ancienne et plus stable.

2. Les alluvions actuelles (récentes)

Elles forment la majeure partie de la vallée principale actuelle de l'Oued Seybouse. Ce sont des cailloutis, galets, graviers et calcaires parfois à ciment marneux.

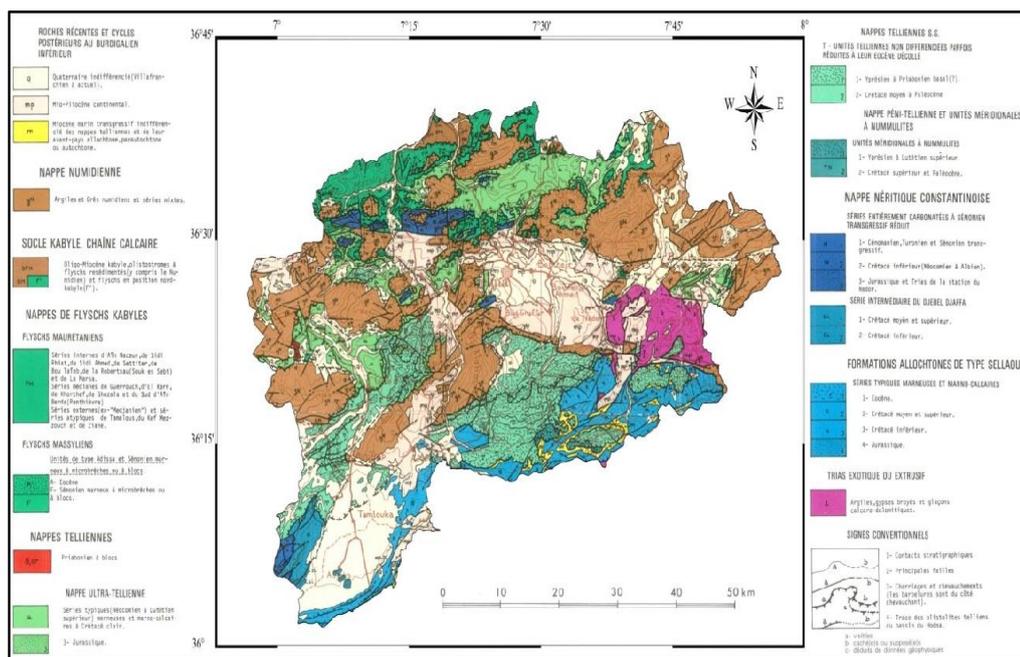


Fig.2 Carte géologique de la Wilaya de Guelma d'après J. M. Vila.

Chapitre I Contexte naturel

I.3 Contexte climatologique

I.3.1 Introduction

L'objectif principal de climatologie est de comprendre et de quantifier les interactions entre les variables climatiques et les processus hydrologiques afin de mieux prévoir et gérer les ressources en eau. L'analyse des données climatiques est essentielle pour appréhender les mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines.

I.3.2 Station de Mesure

La période d'observation s'est faite à travers la station de Guelma, allant de 2012 à 2022.

Tab.1 Caractéristiques géographiques et topographiques de la station de Guelma.

Station	Altitude	Longitude	Latitude	Période d'observation
Guelma	227	7°28'E	36°28'N	2012/2022

I.3.3 Facteurs climatiques :

I.3.3.1 Précipitations :

La précipitation est une composante essentielle du cycle de l'eau. Généralement exprime la quantité d'eau mesurée tombée durant un certain temps en millimètres (mm).

Selon les données de la station météorologique de Guelma durant la période (2012-2022) (Fig.3) on peut dire que les mois avec les plus fortes précipitations sont Janvier (82.9 mm) et Novembre (75.63 mm). Ces mois peuvent être identifiés comme des périodes de fortes précipitations. Les mois avec les plus faibles précipitations sont Juillet (2.33 mm) et Juin (7 mm), ce qui indique une saison sèche.

Chapitre I Contexte naturel

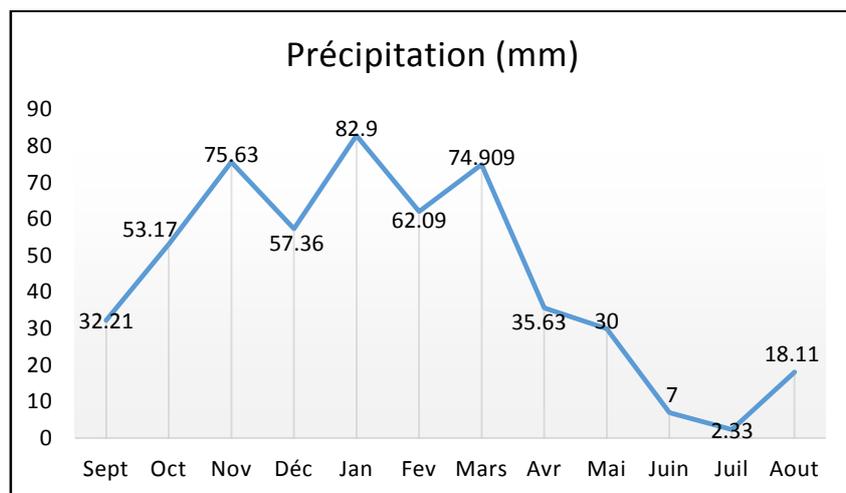


Fig.3 les variations de la précipitations moyennes mensuelles (2012-2022).

I.3.3.2 Température :

Le second facteur le plus important dans l'étude climatique est la température elle est une mesure de la chaleur ou du froid de l'air, et c'est une variable clé dans le bilan hydrologique, affectant directement et indirectement les différents composants du cycle de l'eau.

D'après les résultats obtenus (Fig.4) en remarque que :

Les mois les plus froids de l'année correspond à janvier (9.87°C) et Février (10.39 °C) les mois les plus chauds sont les mois de Juillet (27.70°C) et Aout (27.51°C).

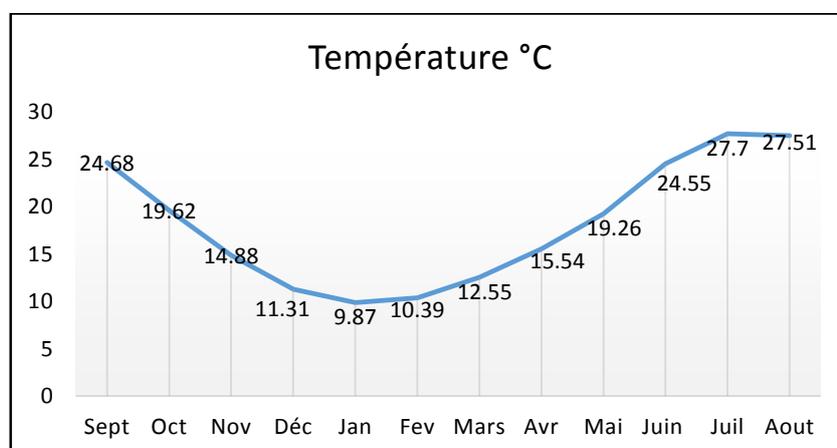


Fig.4 les variations de la températures moyennes mensuelles (2012-2022).

Chapitre I Contexte naturel

I.3.3.3 Bilan hydrologique

Le bilan hydrologique est un outil essentiel pour comprendre et gérer les ressources en eau dans une région donnée. Il permet de quantifier les entrées et sorties d'eau et d'identifier les variations de stockage.

Il est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I \quad \text{Les termes sont en mm}$$

P : Précipitations.

ETR : Évapotranspiration réelle.

R : Ruissellement.

I : Infiltrations.

a. Bilan de Thornthwaite

Le bilan hydrologique de Thornthwaite est un outil essentiel pour comprendre et gérer les régimes hydriques dans diverses régions. Elle fait ressortir les quatre paramètres qui sont l'évapotranspiration réelle et potentielle, l'excédent et le déficit agricole (Tab.4). Il permet aussi de prévoir les besoins en eau et de planifier efficacement l'utilisation des ressources en eau.

Étapes pour Calculer le Bilan de Thornthwaite :

b. Calcul de l'Évapotranspiration Potentielle (ETP) :

Utiliser la formule de Thornthwaite qui prend en compte la température moyenne mensuelle et le facteur de correction saisonnier.

La formule de base est :

$$ETP = 1.6 (10t/T)^a F(\lambda)$$

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois en mm.

T : Température de l'air.

I : Indice annuel = $\sum_{i=1}^{12} (T/5)^{1.5}$.

A = $(1.6/100) I + 0.50$.

F(λ) : Coefficient d'ajustement mensuel qui est fonction de la latitude.

Chapitre I Contexte naturel

Pour le calcul de l'ETR, deux cas sont considérés :

- Si $P > l'ETP$, l'ETR est égale à l'ETP.
- Si $P < l'ETP$, l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol demeurent.

Tous ces paramètres sont directement liés à la RFU, en d'autres termes dépendent de sa valeur qui est très difficile à estimer. Dans notre cas la RFU est prise égale à 100 mm (SOGREAH,1990).

L'analyse du bilan hydrique (Tab.2) permet d'observer l'ETR qui représente 76 % des précipitations le déficit agricole commence à partir du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre avec un maximum au mois de Juillet (174.3 mm). La reconstitution de la réserve utile commence en novembre et s'épuise au mois de Mai. L'écoulement se produit après que la RFU soit satisfaite (RFU=100 mm), il dure 3 mois, de janvier jusqu'à fin Mars avec un maximum au mois de Février (43.9 mm).

Tab.2 Bilan d'eau de Thornthwaite de la station de Guelma (2012-2022).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	24.68	11.2	1.03	117.5	32.21	-85.3	-0.7	0.0	0.0	32.2	85.3	0.0
O	19.62	7.9	0.97	71.3	53.17	-18.1	-0.3	0.0	0.0	53.2	18.1	0.0
N	14.88	5.2	0.86	37.2	75.63	38.4	1.0	38.4	38.4	37.2	0.0	0.0
D	11.31	3.4	0.81	20.7	57.36	36.6	1.8	36.6	75.1	20.7	0.0	0.0
J	9.87	2.8	0.87	17.1	82.90	65.8	3.8	24.9	100.0	17.1	0.0	40.9
F	10.30	3.0	0.85	18.2	62.09	43.9	2.4	0.0	100.0	18.2	0.0	43.9
M	12.55	4.0	1.03	32.1	74.90	42.8	1.3	0.0	100.0	32.1	0.0	42.8
A	15.54	5.6	1.10	51.7	35.63	-16.1	-0.3	-16.1	83.9	51.7	0.0	0.0
M	19.26	7.7	1.21	85.8	30	-55.8	-0.7	-55.8	28.1	85.8	0.0	0.0
J	24.55	11.1	1.22	137.8	7	-130.8	-0.9	-28.1	0.0	35.1	102.8	0.0
J	27.70	13.4	1.24	176.6	2.36	-174.3	-1.0	0.0	0.0	2.4	174.3	0.0
A	27.51	13.2	1.16	163.1	18.11	-145.0	-0.9	0.0	0.0	18.1	145.0	0.0
Annuel	18.2	88.6		929.3	531.4	-397.9				403.9	525.4	127.5

- TP : Température mensuelle en °C.

- P : Précipitation mensuelle (mm).

- It : Indice thermique –RFU : Reserve Facilement Utilisable (mm).

Chapitre I Contexte naturel

- CL : Coefficient de latitude –ETR : Evapotranspiration réelle (mm).
- ETPc : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm).
- Déf: Déficit agricole (mm).
- Exc : Excédent (mm).

c. Diagramme pluviométrique :

La combinaison des paramètres température-précipitation permet de déterminer l’alternance des saisons dans une région et aussi de distinguer le climat d’une région à une autre. La courbe des températures passe au-dessus de celle des précipitations pendant les mois secs.

Il en ressort de (Fig.5) que la saison sèche débute de mois de Mai et se termine à la fin de Septembre. Quant à la saison humide, elle commence à partir d’Octobre et se termine en Avril. Ce dernier cycle est lié sans doute à la sécheresse qui a sévi la région.

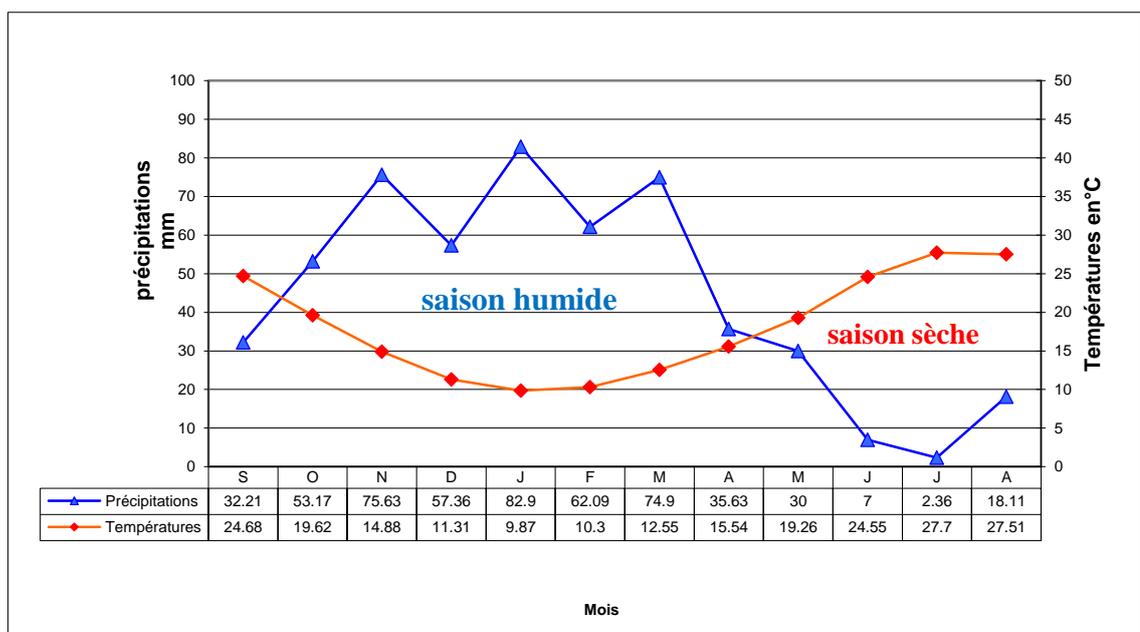


Fig.5 Diagramme Ombrothermique (2012-2022).

I.3.3.4 Ruissellement

Pour estimer l’écoulement, la formule de Tixeront-Berkalof est couramment utilisée en Algérie pour les précipitations inférieures à 600 mm et sur de très petits bassins versants. Toutefois, cette formule présente l’inconvénient de ne pas prendre en compte la nature du sol

Chapitre I Contexte naturel

ou la pente. Il est donc nécessaire d'apporter des corrections en fonction de la nature du sol du bassin et de sa superficie (capacité de rétention, perméabilité, étanchéité, etc.).

La formule est la suivante :

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

Cette relation n'est valable que pour les précipitations inférieures à 600 mm.

R : Ruissellement (mm), P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm/an).

Le ruissellement calculé à l'aide de la formule Tixeront-Berkalof est estimé à Guelma 66.6mm/an.

I.3.3.5 Infiltration

Pour estimer l'infiltration en utilisant le bilan hydrique, nous allons utiliser l'équation simplifiée du bilan hydrique. Cette méthode repose sur le principe de conservation de la masse et prend en compte les précipitations, l'évapotranspiration et le ruissellement pour déterminer l'infiltration.

L'équation du bilan hydrique est :

$$P = ETR + P + I$$

D'où l'infiltration sera égale :

$$I = P - ETR - R$$

La lame d'eau infiltrée est de 48.9 mm/an.

I.3.3.6 Calcul d'indice d'aridité

Il a été défini par De MARTONNE (1923) selon la formule suivante :

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

$$A = 18.84$$

La formule climatique de MARTONNE et appelée indice d'aridité, il est fonction de la température et de la précipitation :

Chapitre I Contexte naturel

P : précipitation mm.

T : température moyenne annuel °C.

Si $A < 5$ le climat est hyperaride.

Si $5 < A < 7.5$ le climat est désertique.

Si $7.5 < A < 10$ le climat est steppique.

Si $10 < A < 20$ le climat est semi-aride.

Si $20 < A < 30$ le climat est tempéré.

Si $A > 30$ le climat est humide.

L'indice d'aridité calculé à la station de Guelma est estimé à 18.84 ce qui traduit que la zone d'étude est située sous un climat semi –aride.

I.3.4 Conclusion

La région est caractérisée par un climat semi-aride. Le bilan hydrologique réalisé montre une ETR de 403.9 mm et un déficit d'écoulement de 525.4mm à ruissellement de 66.6mm. Ces résultats montrent clairement que la région fait face à des conditions de stress hydrique. La ETR et le déficit d'écoulement signifient que l'eau disponible est principalement utilisée pour satisfaire les besoins atmosphériques et végétaux, laissant peu d'eau pour le ruissellement et les réservoirs souterrains.

I.4 Contexte Hydrogéologique

I.4.1 Etude des paramètres hydrodynamiques

I.4.1.1 La transmissivité

La transmissivité est un paramètre qui régit le débit d'eau qui s'écoule par unité de largeur d'un aquifère, sous l'effet du gradient hydraulique, incluant l'épaisseur de l'aquifère.

Chapitre I Contexte naturel

Les valeurs des transmissivités vont de 0.23 à $5.50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ sans descendre de l'ordre de $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Fig.6). Les plus fortes valeurs proviennent de la basse terrasse où les épaisseurs mouillées sont faibles.

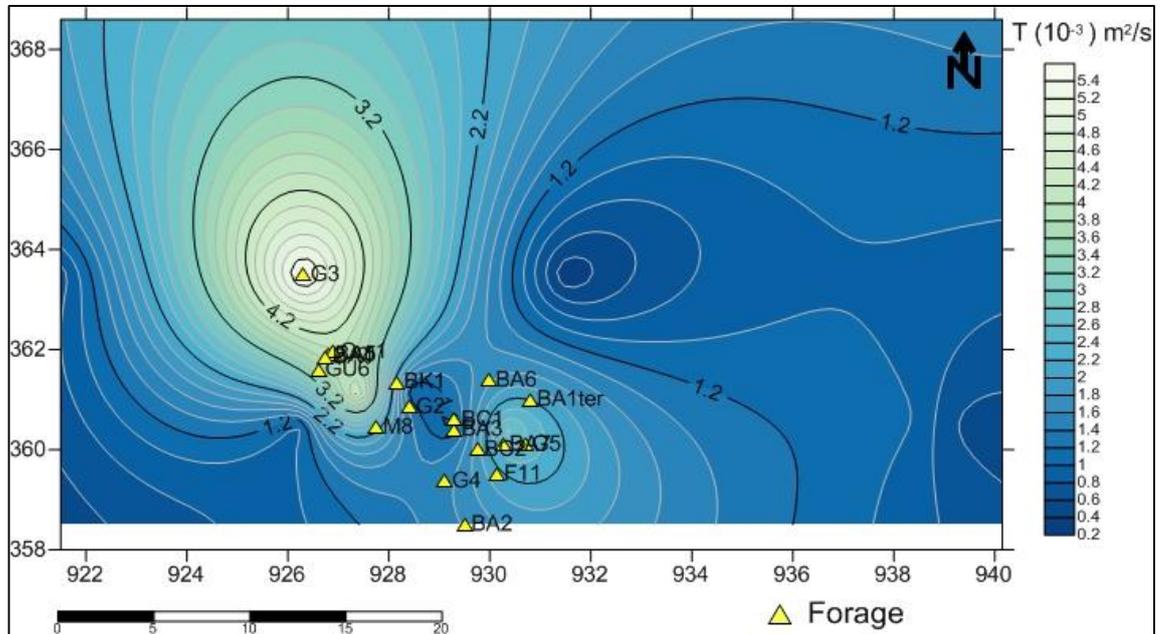


Fig.6 Carte iso- teneur de la transmissivité.

I.4.1.2 La perméabilité

La perméabilité en hydrogéologie (K), souvent désignée par le terme "conductivité hydraulique" décrit la facilité avec laquelle l'eau peut passer à travers des matériaux poreux tels que le sol, le sable, le gravier, ou la roche.

Les perméabilités varient entre 0.0110^{-5} et 3.410^{-4} m/s (Fig.7).

La décroissance des transmissivités et perméabilités (K de l'ordre de 10^{-5} m/s) est influencée par la trame argileuse et les épaisseurs mouillées importantes.

Chapitre I Contexte naturel

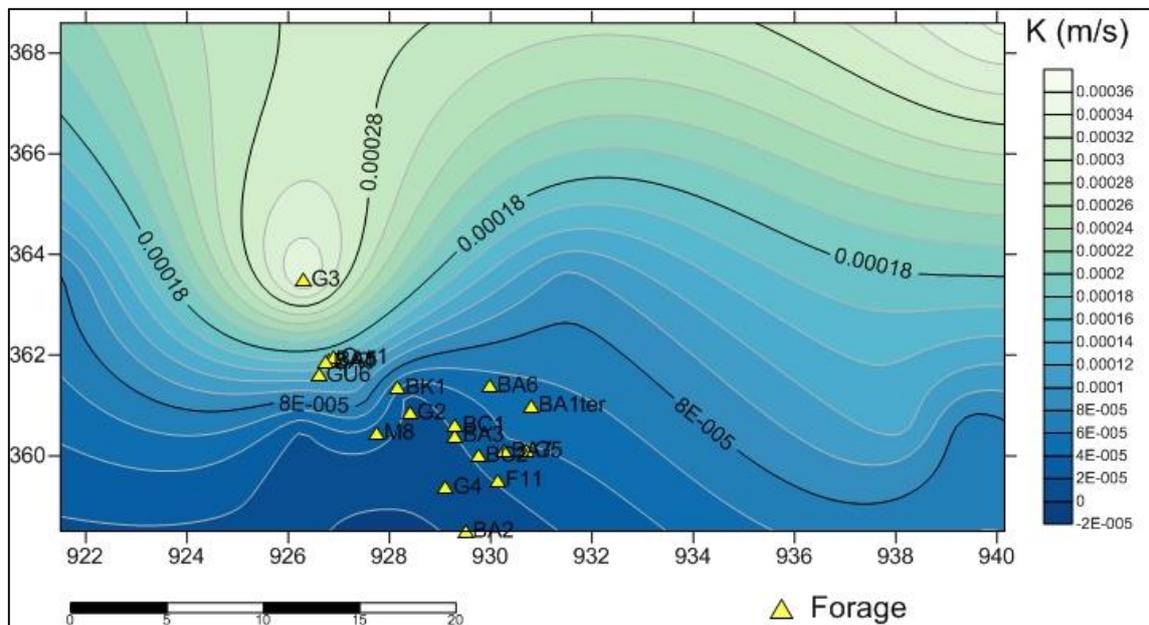


Fig.7 Carte iso- teneur de la perméabilité

I.4.1.3 Les épaisseurs mouillées

Les épaisseurs mouillées sont un concept clé en hydrogéologie et en ingénierie hydraulique. Elles se réfèrent à la portion d'un aquifère ou d'un matériau poreux qui est saturée par l'eau. Sont variables allant de 2 à 70 m (Fig.8). Les fortes épaisseurs mouillées proviennent des forages situés sur la haute terrasse.

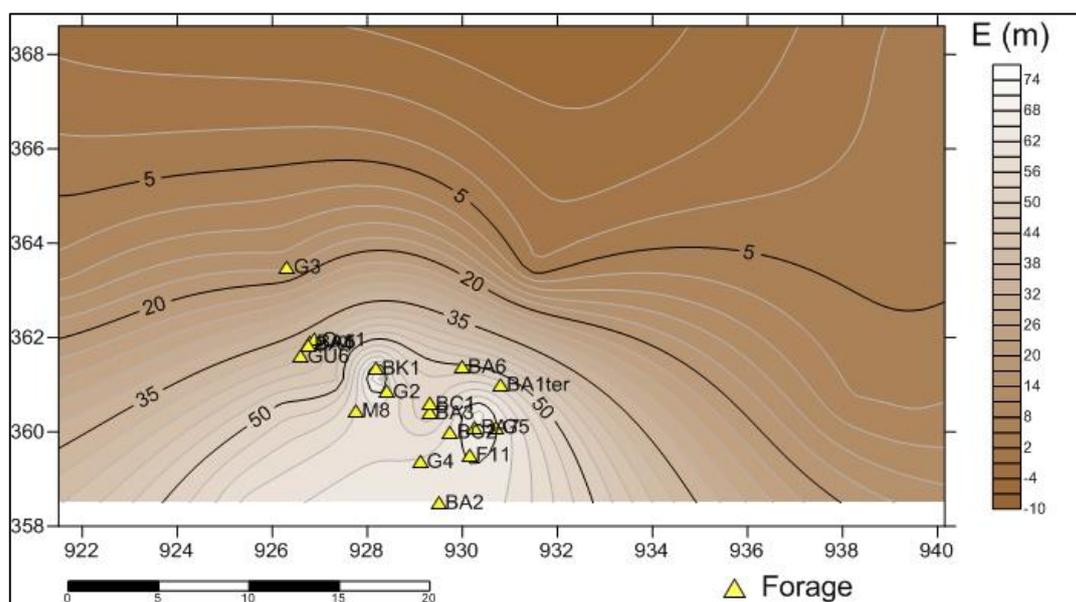


Fig.8 Carte iso- teneur des épaisseurs mouillés

Chapitre I Contexte naturel

I.4.1.4 La piézométrie

La piézométrie est une branche de l'hydrogéologie qui étudie la distribution et la variation des pressions de l'eau dans les aquifères. Elle se base sur la mesure des niveaux d'eau dans des puits ou des forages pour déterminer la surface piézométrique.

La piézométrie a été étudiée par Mouassa 2017 montre que l'écoulement se fait du sud vers le nord. La carte montre qu'il existe des dépressions au niveau centrale de la nappe ; ceci est du probablement aux prélèvements intense dans les forages. L'alimentation de la nappe alluviale se fait essentiellement par les travertins et accessoirement par la molasse (Fig.9).

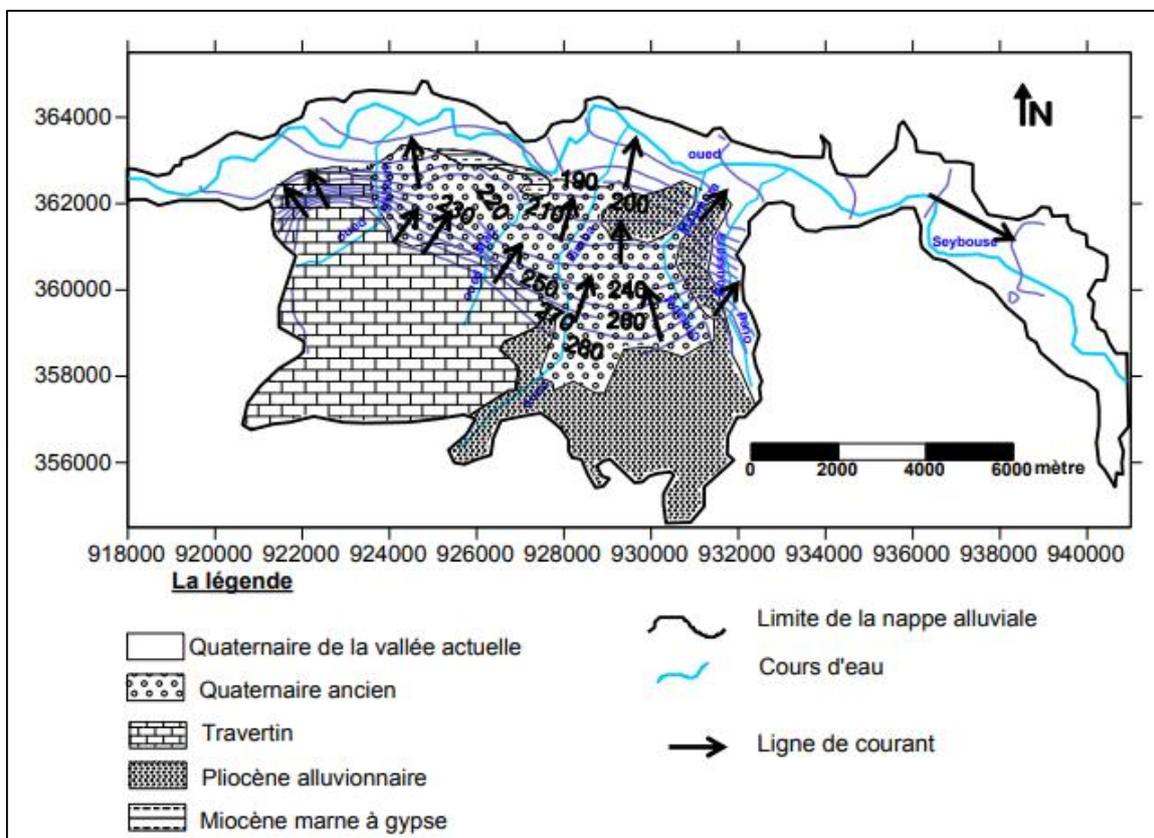


Fig.9 Carte piézométrique de la nappe alluviale de Guelma. (Mouassa 2017).

A decorative scroll frame with a blue outline and scroll-like ends on the left and right sides. The text is centered within the frame.

**Chapitre II MATERIELS
ET METHODES**

II.1 Introduction

Dans le but de procéder à une analyse physico-chimique des eaux de notre zone étude, nous avons procédé à un prélèvement des échantillons de ces eaux dans le respect strict suivant les techniques d'échantillonnage. Notre étude est fondée sur l'échantillonnage de dix-huit forages, puits et source permettant à la fois une étude de chaque point et leur comparaison sur la base de prélèvements simultanés.

II.2 Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, il convient d'avoir des connaissances précises sur les conditions de prélèvement et de son importance pour la fiabilité des résultats.

II.2.1 Matériel et méthodes de prélèvement

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière, pour la physicochimie, on utilise des bouteilles en plastiques d'une contenance d'un demi-litre. Pour l'analyse physico-chimique, au moment de prélèvement, la bouteille sera rincée plusieurs fois par l'eau à analyser puis remplie jusqu'au bord et la fermer. Les prélèvements doivent être scellés et munis d'une étiquette : la date, l'heure et le point de prélèvement.

II.2.2 Transport des échantillons

Pour optimiser un meilleur résultat sur les analyses

- Le délai entre le prélèvement et l'analyse au laboratoire doit être le plus court possible
- Les échantillons doivent être transportés dans un glacière à une température de 4°C pour les protéger contre le rayonnement solaire. .

II.2.3 Analyses physico-chimiques

II.2.3.1 Les paramètres physiques

Mesures in situ :

Quatre paramètres physiques (PH, température, conductivité électrique et TDS) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi paramètre de terrain de marque HANNA H19828. Il faut suivre les procédures suivantes après avoir plané directement la sonde de mesure dans un récipient d'eau échantillonnée.

- Immerger la sonde dans l'échantillon à mesurer en évitant les chocs
- Allumer l'instrument.
- L'instrument affiche les différents paramètres selon la programmation effectuée

II.2.3.1.1 Potentiel en hydrogène (pH)

Le pH (potentiel en hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. L'alcalinité mesure donc l'ensemble des substances susceptibles de réagir avec les ions hydrogènes. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie.

II.2.3.1.2 La température (T°C)

La température de l'eau est le paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérien et l'évaporation de l'eau. Elle dépend de :

- La situation géographique.
- La saison.
- La profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface).
- La couleur de l'eau (une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur).
- Le volume de l'eau.
- L'origine des eaux alimentant les lacs, les rivières (les eaux venant de la montagne sont plus froides que les eaux de ruissellement).
- Les rejets industriels qui généralement élèvent la température de l'eau.

II.2.3.1.3 La conductivité (CE)

La conductivité électrique d'une eau (γ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 à 2 cm² de surface et séparées l'une à l'autre de 1cm.

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

En mesurant la conductivité, nous essayons d'avoir une estimation de la quantité de sels ionisables dissous.

II.2.3.2 Les paramètres chimiques :

➤ Analyses au laboratoire

On procède à une analyse complète de tous les éléments majeurs (Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; Na^+ ; K^+ ; Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^- ; PO_4^-) ainsi que le titre alcalimétrique complet TAC et le titre hydrotimétrique TH.

II.2.3.2.1 Dosage du calcium (Ca^{+2}) :

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

a) Principe (méthode par complexométrie) :

Le dosage est fait avec le PH élève (entre 12 et 13), le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

b) Réactifs :

-indicateur coloré : murexide

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

-solution d'hydroxyde de sodium à 2N.

c) Mode opératoire :

Chapitre II Matériels et méthodes

-introduire 50ml d'eau à analyse dans un erlenmeyer au col large.

-ajouter 2ml de solution d'E.D.T. A jusqu'à virage du rose au violet soit V le volume de solution

d'E.D.T. A versé.

d) Expression des résultats :

Le facteur de correction est égal :

$$F_c = \frac{\text{volume versé}}{\text{volume théorique}}$$

$$[Ca^{+2}]mg/l = V (E.D.T.A) \times f_c \times 8$$

II.2.3.2.2 Dosage de sodium et potassium (Na+et K+)

1) Principe

La photométrie de flamme permet le dosage des cations alcalins Li ; Na et K.

La photométrie de flamme est constituée de trois éléments : le bruleur, le monochromateur et d'une cellule photoélectrique ; d'un afficheur.

- -mode opératoire
- -préparation des solutions étalons
- **Solution mère**

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

-NaCl pur pour les analyses : 0.127g

-KCl pur pour les analyses : 0.286g

-eau distillée.

2) Résultats

La lecture se fait directement sur l'écran.

II.2.3.2.3 Les chlorures (Cl⁻) :

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

a) Principe

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

b) Réactifs

-solution de chromate de potassium à 10%

-solution de nitrate d'argent N/10

c) Mode opératoire

-introduire 25ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer à col large ;

-ajouter 02 à 03 gouttes de solution de chromate de potassium à 10%

-verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3minutes ;

-soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N /50 utilisées

Expression des résultats

$$Teneur = V(ml) \times 142$$

II.2.3.2.4 Détermination des sulfates (SO₄²⁻) :

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

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

Chapitre II Matériels et méthodes

a) Principe

L'objet de la présente est de décrire la détermination de sulfate par spectroscopie. Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction :



b) Réactifs

-Solution mère de sulfate à 1g/L à partir de Na_2SO_4

Peser 2.4 mg Na_2SO_4

1000ml d'eaux distillée

-Solution stabilisante

Acide chlorhydrique..... 600ml

Ethanol..... 200ml

Chlorure de sodium..... 150ml

Eau distillée..... 1000ml

-Solution de chlorure baryum

Chlorure de baryum..... 150ml

Expression de résultat

Acide chlorhydrique 5ml

Eau distillée..... 1000ml

c) Gamme d'étalonnage

-Prendre 8 béchers de 25ml

-Laver très bien avec du savon et une lavette.

-Rincer abondamment avec l'eau de robinet.

-Rincer avec une solution d'acide chlorhydrique.

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

d) Mode opératoire

- prendre 20ml d'eau à analyser puis compléter à 100ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 minute.
- Passer au spectrophotomètre à $\lambda=420\text{nm}$.

Expression des résultats

$$\text{Mg/l SO}^2\text{-4} = \text{La valeur lue sur le spectraux la dilution}$$

TAC/TA :

Titre alcalimétrique simple et complet (TA et TAC).

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

Les définitions de titres TA et TAC peuvent sembler étonnants mais découlent de la méthode de dosage utilisée qui est un dosage acido-basique.

Les titres alcalimétriques TA et TAC sont mesurés par ajout d'une solution acide titrée (liqueur alcalimétrique) en présence d'indicateurs colorés (ou d'un PH-mètre) dont le changement de couleur indique leur neutralisation.

a) Principe

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

b) Réactifs

- Acides chlorhydrique (HCl) concentré à 37%
- Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01 N

c) Matériels

- PH-mètre ;

Chapitre II Matériels et méthodes

-Electrode.

-burette manuelle ou burette automatique.

-Agitateur magnétiques.

-béchers de 50 ml.

d) Mode opératoire

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

Si le PH est supérieur à 8.3, verser lentement l'acide chlorhydrique pour obtenir cette valeur.

Noter le volume V1 au dosimat. Suivre les instructions de l'utilisation du PH-mètre.

e) Mesure et calcul du résultat

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

-TA= (V1x N x1000) × masse molaire des carbonates /V.

-TAC= (V2 x N x 1000) × masse molaire des bicarbonates/V.

-la concentration des bicarbonates sera :

$$(HCO_3) \text{ mg/l} = V_2 \times 61 \text{ volume échantillon} \times N/1000$$

V2= Volume de la solution d'acide chlorhydrique à 0.01 N versé de la burette.

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

II.2.3.2.5 Dosage de nitrates (NO₃-) :

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

a) Principe (méthode salicylate de sodium) :

En présence de salicylate de sodium 0.5% (renouvellement toutes les 24 heures).

-Solution d'hydroxyde de sodium 0.5% ; 30g de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

-H₂SO₄ concentré.

Chapitre II Matériels et méthodes

-Tartrate double sodium et de potassium.

-Hydroxyde de sodium.....400g

-Tartrate double sodium et de potassium.....60mg

-eau distillée.....1000ml

Laisser refroidir avant de compéter à 1000ml.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

-Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000mg/l ;

-Nitrate de potassium anhydre.....0.722g

-Eau distillée.....1000ml

-Chloroforme.....1ml

-Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5mg/l.

Appareillage : Etuve ; spectrophotomètre H.V visible.

a) Mode opératoire :

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser

Ajouter 02 à 03 gouttes de NaOH à30% ;

Ajouter 1ml de salicylate de sodium ;

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75-88°C.

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

Reprendre les résidus avec 2 ml de H₂SO₄, laisser reposer 10mn

Ajouter 15 ml d'eau distillée ;

Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectraux au 415nm. Le résultat est directement lu sur l'appareil en mg/l.

II.2.3.2.6 Dosage des nitrates (méthode spectrométrique) :

Les nitrates NO_3 sont généralement absents (ou à peine mesurables). Leur présence est indicatrice d'une pollution due à des rejets d'eau non épurée ou d'un ralentissement du processus de nitrification. Ils sont toxiques à faibles doses (dose létale pour les poissons 3_5 mg/l).

a) Principe

Les ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{pH}=1.90$) avec le sulfamide en formant sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyle) - ethylénediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge. $\lambda_{\text{Max}}=543\text{nm}$.

b) Réactifs

- Solution de nettoyage.
- Solution d'acide chlorhydrique (à $d=1.12\text{g}=25\%$).
- Solution du réactif.

20g de sulfamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$) à dissoudre dans un mélange de 50ml d'acide phosphorique $d=1.71\text{g/ml}=85\%$ de masse et d'eau distillée. Dans cette solution, dissoudre 1g de N-(1naphtyle) -ethylénediamine-dichlorohydraté($\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{CL}_2\text{N}_2$).

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

- Solution d'acide phosphorique

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

- Solution standard de 100mg/l.

Dissoudre 0.50g \pm 2mg de nitrite de sodium (NaNO_2), sécher pendant 2heures à 105°C dans 750ml d'eau distillée compléter à 1 litre.

II.2.4 Conclusion :

Le respect des principes d'échantillonnage ainsi que l'efficacité des techniques de mesure nous ont permis d'avoir un bon résultat des teneurs en éléments majeurs des eaux d'études, ce qui nous permet de faire une bonne analyse physico-chimique des eaux afin de déterminer leur usage respectif tout en mettant en évidence les corrections à apporter à ces eaux.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left and a horizontal bar at the bottom, both with rounded ends. The text is centered within this frame.

**Chapitre III Aptitude des
eaux à différents usages**

III.1 Hydrochimie

Le chimisme des eaux dépend essentiellement de la composition des milieux traversés et du temps de séjour. Cette composition chimique est soumise à l'influence de l'événement, des activités anthropiques (culture, épandage d'engrais et rejet des eaux usées et l'activité bactériologique) la connaissance des caractéristiques physico-chimiques des eaux est nécessaire pour définir les possibilités d'exploitation tant pour l'alimentation en eau potable (AEP), pour l'irrigation que pour l'industrie.

III.2 Protocole d'acquisition des données :

Notre étude est fondée sur l'échantillonnage régulier de plusieurs sources, permettant à la fois une étude de chaque point et leur comparaison sur la base de prélèvements simultanés. 18 points d'eau ont été suivis à un pas d'un mois (Fig.10).

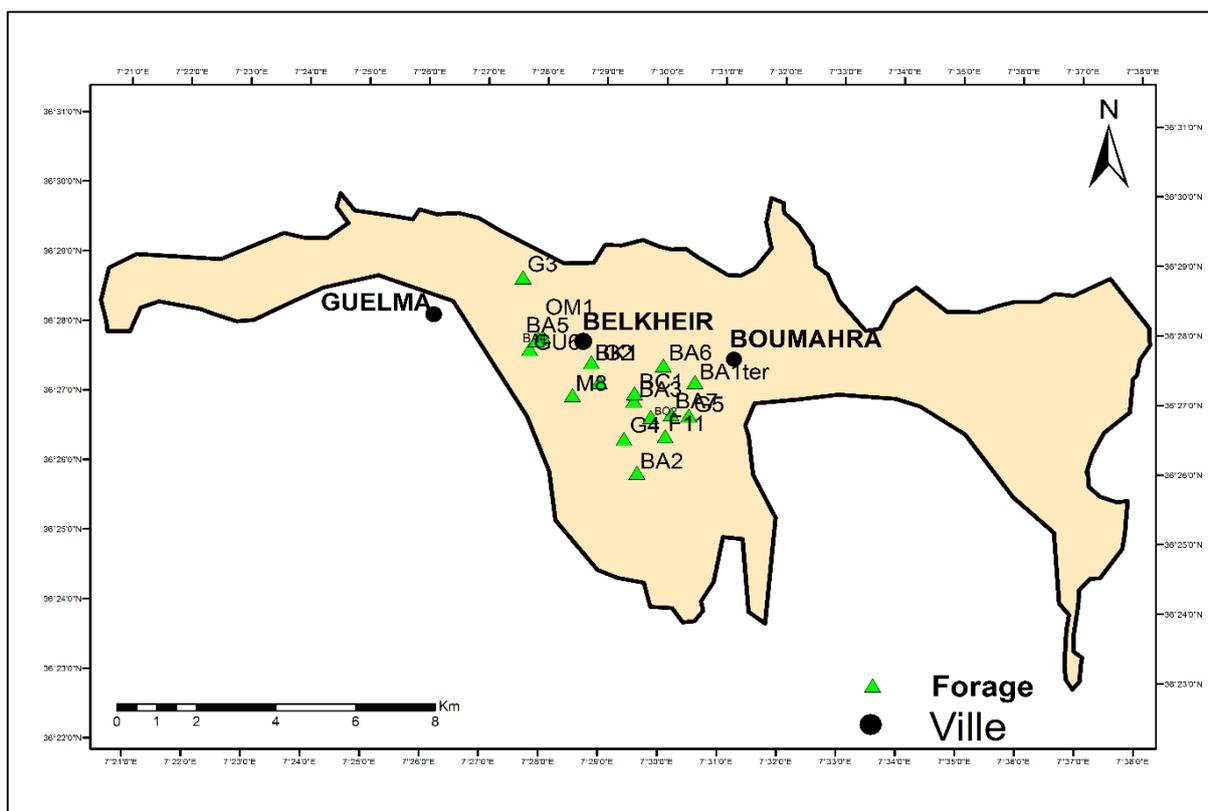


Fig.10 localisation des forages.

Chapitre III Aptitude des eaux à différents usages

III.2.1 Critique des données :

La fiabilité des analyses chimiques est contrôlée à l'aide de la balance ionique dont l'expression est donnée par Schoeller 1962 est la suivante :

$$BI (\%) = [(\Sigma (\text{Cations}) - \Sigma (\text{anions}) / \Sigma (\text{cations} + \text{anions})) \times 100]$$

Dans notre cas les valeurs de la balance ionique calculée sont \leq à 10 % ce qui implique que les données sont fiables à l'étude (Subrumani 2005) (Tab.3).

Tab.3 les valeurs de balances ioniques.

Nom	Balance ionique
G5	9
G2	7
BA1	2
BA2	9
BA3	8
G4	5
BA5	3
Om1	10
BK1	4
BA7	0
BC1	6
F11	10
F8	6
BC2	10
BA6	8
Gu6	10
BA4	3
G3	8

III.2.2 Facies chimique

Le faciès chimique est un terme utilisé en hydrogéologie pour décrire la composition chimique prédominante d'une eau souterraine. Cette classification permet de caractériser et de comparer les eaux souterraines en fonction de leurs caractéristiques chimiques, facilitant ainsi l'interprétation de leur origine, de leur évolution et de leurs interactions avec les roches

Chapitre III Aptitude des eaux à différents usages

environnantes. Nos données ont été projeté sur le diagramme de Piper (1948) il en ressort de ce diagramme (Fig.11) trois types de facies chimiques :

- **Facies bicarbonaté Calcique** dans les forages (OM1, BA2) (zone alimentée par les travertins les bicarbonates provient de l'altération des argiles)
- **Facies chloruré sodique** provient du forage G3 (la dissolution de minéraux évaporitiques riches en chlorures gypse, sels)
- **Facies Chlorurée sulfatée** dans les forages (BA3, BA6, BA7, G5, G2, BA1, G4, BA5, BK1, BC1, F11, F8, BC2, GU6, BA4.)

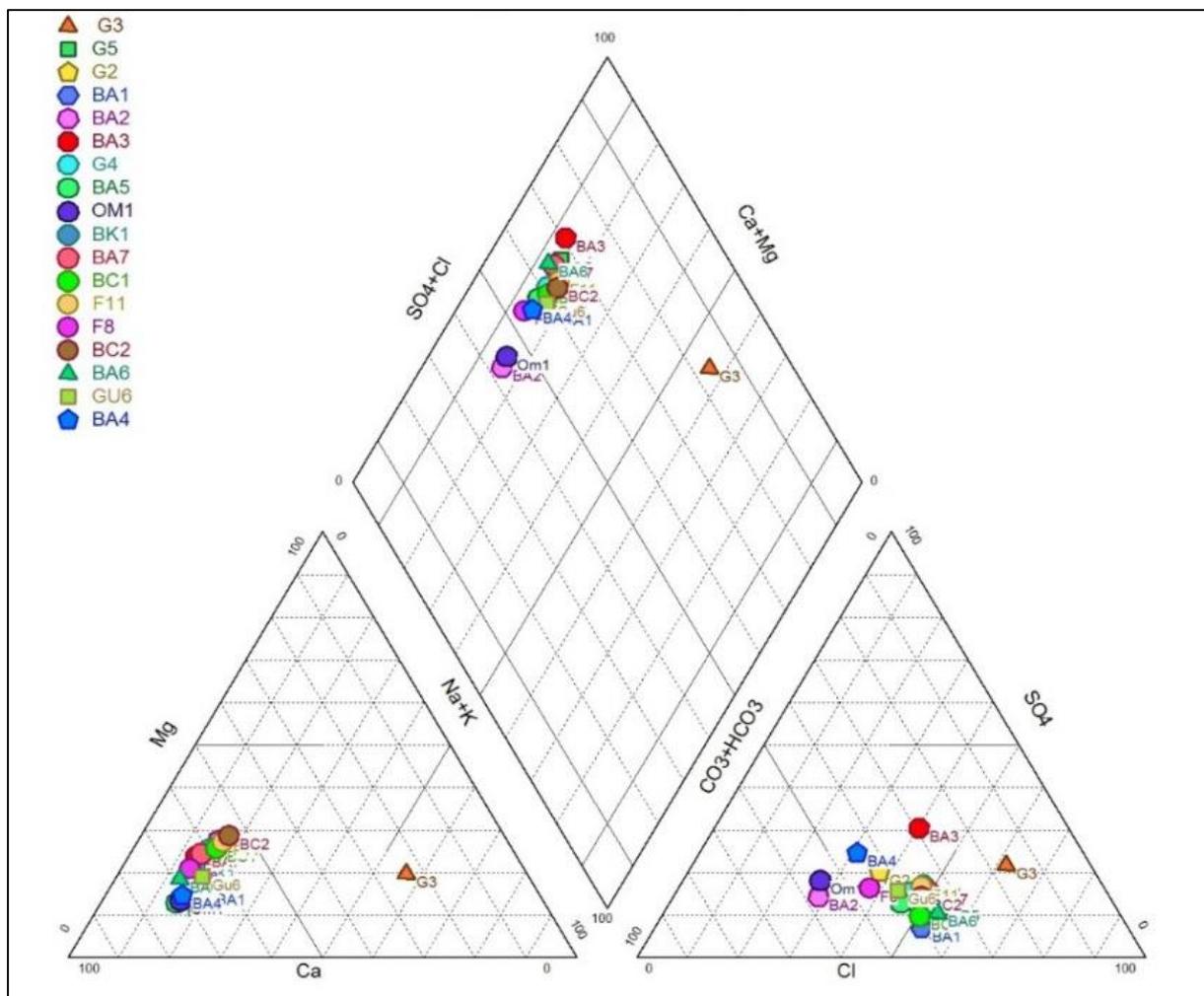


Fig.11 Diagramme de Piper.

III.2.3 Mécanisme contrôlant le chimisme de l'eau :

Les caractéristiques chimiques des eaux souterraines dépendent de divers processus physiques et chimiques tels que la dissolution, la précipitation, l'échange d'ions, l'oxydation et la réduction qui se manifestent lors de l'interaction eau-roche. De cette manière, la nature de sa composition chimique peut être comprise à l'aide de diagrammes géochimiques Gibbs 1980.

Selon les diagrammes élaborés le chimisme de l'eau est influencé par la dissolution des roches pour tous les forages sauf le forage G3 qui est contrôlé par l'évaporation et précipitations.

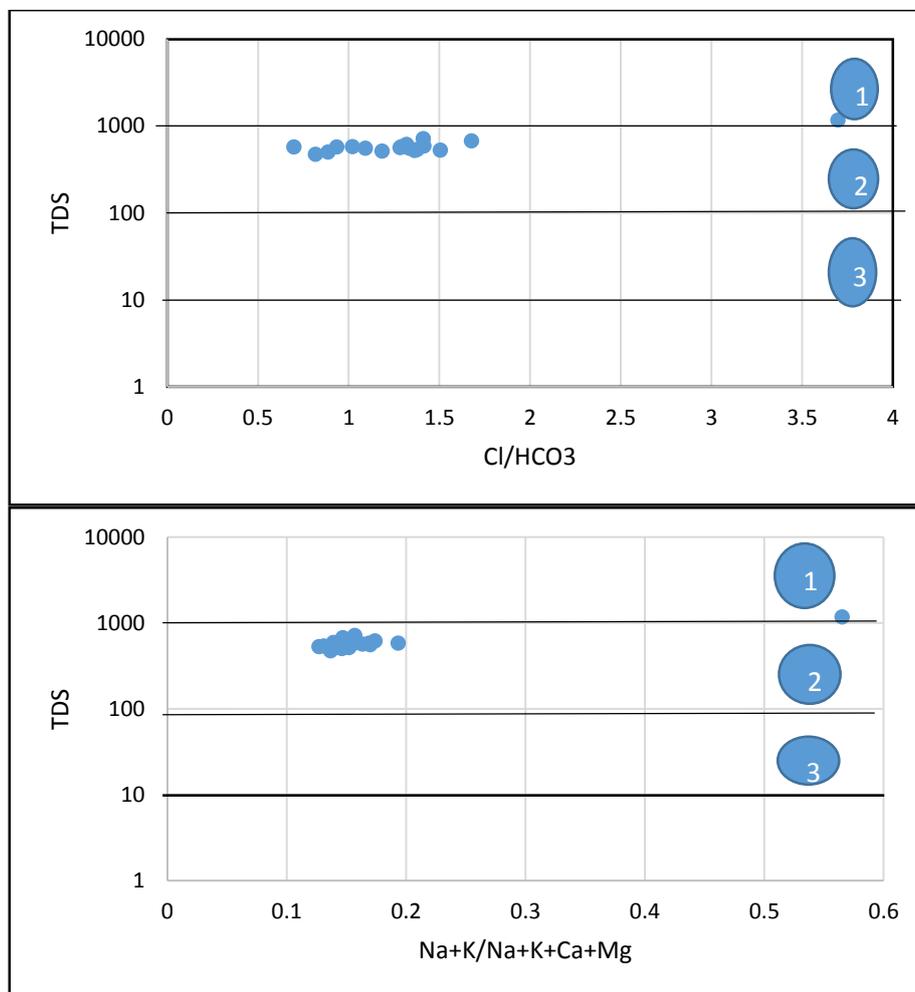


Fig. 12 Diagramme de Gibbs (1970).

- 1- Evaporation et précipitation
- 2- Dominance de la dissolution des roches
- 3- Dominance de la Précipitation.

III.2.4 Indice de saturation

L'indice de saturation IS en hydrogéologie, est un paramètre utilisé pour évaluer la tendance agressive ou incrustante de l'eau. Il est calculé en comparant le pH de l'eau avec le pH de saturation.

PHREEQC a aidé à calculer les indices de saturation (Parkhurst et al., 1999).

La valeur IS négative indique que le système n'est pas saturé par rapport à une phase proposée, elle est positive lorsque le système est sursaturé, la valeur de zéro lorsque l'aquifère est en équilibre avec une phase cristalline particulière (Drever, 2002).

À partir de ce tableau (Tab.4), on peut dire que pour la Calcite les eaux des sources sont sursaturées en ce minéral ($IS > 0,1$). Et sous-saturées pour le Gypse et l'Anhydrite (IS inférieure à 0) ce qui signifie que l'eau continue à dissoudre ces éléments. Pour la Dolomite la majorité des sources saturées sauf pour les forages (BA1, BA5, OM1, GU6).

Tab.4 Indice de saturation.

nom	Anhydrite	Calcite	Dolomite	Gypse
G5	-1.62	0.63	0.96	-1.4
G2	-1.69	0.57	0.79	-1.47
BA1	-2.09	0.24	-0.01	-1.87
BA2	-1.55	0.21	0.24	-1.33
BA3	-1.42	0.44	0.59	-1.2
G4	-1.84	0.47	0.72	-1.62
BA5	-1.83	0.29	-0.04	-1.61
Om1	-1.2	0.22	-0.17	-0.98
BK1	-1.73	0.29	0.24	-1.51
BA7	-1.79	0.71	1.16	-1.57
BC1	-1.97	0.37	0.52	-1.75
F11	-1.67	0.38	0.58	-1.45
F8	-1.76	0.42	0.47	-1.54
BC2	-1.68	0.24	0.33	-1.46
BA6	-1.96	0.4	0.37	-1.74
Gu6	-1.48	0.03	-0.33	-1.26
BA4	-1.49	0.48	0.4	-1.27
G3	-1.68	0.26	0.57	-1.46

III.2.5 Matrice de corrélation

La matrice de corrélation est utilisée pour évaluer les corrélations entre plusieurs variables simultanément et par paires. Le résultat est un tableau contenant les coefficients de corrélation entre chaque variable et d'autres variables. Il existe différentes méthodes de test de corrélation : le test de corrélation de Pearson, la corrélation de Kendall et la corrélation de Spearman, qui sont tous des tests basés sur le rang.

- Valeur > 0 signifie une corrélation positive (lorsque l'une augmente, l'autre augmente de manière proportionnelle).
- Valeur $= 0$ signifie aucune corrélation (les variations de l'une n'ont pas de relation linéaire avec les variations de l'autre).
- Valeur < 0 signifie une corrélation négative (lorsque l'une augmente, l'autre diminue de manière proportionnelle).

La matrice de corrélation de Pearson (Tab.5) montre que certains paramètres sont bien corrélés entre eux (valeur positive). Les éléments généralement solubles, dont les concentrations ne sont pas affectées par les processus de précipitation, de dissolution ou d'échange d'ions, présentent ces corrélations élevées. Les coefficients les plus forts relient Na-K et CE-TDS.

Tab.5 Matrice de corrélation des différents paramètres.

	TDS	PH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
TDS	1	0.16	0.97	-0.5	0.65	0.83	0.77	-0.33	0.8	0.61	-0.03
PH	0.16	1	0.32	-0.38	0.36	0.29	0.22	-0.65	0.45	0.12	-0.03
CE	0.97	0.32	1	-0.57	0.68	0.9	0.84	-0.53	0.88	0.53	0.03
Ca ²⁺	-0.5	-0.38	-0.57	1	-0.68	-0.56	-0.45	0.38	-0.59	-0.36	0.13
Mg ²⁺	0.65	0.36	0.68	-0.68	1	0.6	0.4	-0.21	0.62	0.34	-0.23
Na ⁺	0.83	0.29	0.9	-0.56	0.6	1	0.97	-0.55	0.69	0.41	-0.07
K ⁺	0.77	0.22	0.84	-0.45	0.4	0.97	1	-0.55	0.59	0.42	-0.04
HCO ₃ ⁻	-0.33	-0.65	-0.53	0.38	-0.21	-0.55	-0.55	1	-0.59	-0.22	-0.23
Cl ⁻	0.8	0.45	0.88	-0.59	0.62	0.69	0.59	-0.59	1	0.32	-0.03
SO ₄ ²⁻	0.61	0.12	0.53	-0.36	0.34	0.41	0.42	-0.22	0.32	1	-0.36
NO ₃ ⁻	-0.03	-0.03	0.03	0.13	-0.23	-0.07	-0.04	-0.23	-0.03	-0.36	1

III.3 Destination de l'eau :

L'utilisation de l'eau pour la consommation potable, les besoins domestiques et les activités agricoles dépend de conditions physico-chimiques spécifiques que l'eau doit respecter. Pour être adaptée à ces usages, l'eau doit répondre à des critères de qualité bien définis, assurant qu'elle est sûre pour la consommation humaine, appropriée pour les tâches ménagères et efficace pour l'irrigation et autres pratiques agricoles.

III.3.1 Usage domestique :

La destination de l'eau à l'usage domestique est discutée selon la dureté, la conductivité électrique, TDS et les cations et anions.

III.3.1.1 Paramètres physique

III.3.1.1.1 TDS

Le TDS (Total Dissolved Solids) est une mesure des matières dissoutes dans l'eau, évaluant ainsi la pureté de l'eau en quantifiant les substances organiques et inorganiques présentes, à l'exception des molécules d'eau pure. Cette mesure est cruciale pour déterminer la potabilité de l'eau, car des niveaux élevés de TDS peuvent indiquer une contamination excessive, rendant l'eau impropre à la consommation humaine.

L'OMS fixe la valeur recommandée de TDS pour l'eau potable à 500 mg/L, avec une acceptabilité possible jusqu'à 1000 mg/L sous certaines conditions.

Par rapport au TDS la qualité de la majorité des forages est de bonne qualité à acceptable sauf le forage G3 qui est classé comme eau polluée (Tab.6).

Tab.6 Classification de TDS des forages selon les normes de l'OMS.

Forage	TDS	Qualité
Tous les forages sauf le G5 BA2 BC2 G3	≤ 500	Eau potable
G5 BA2 BC2	Entre 500 et 1000	Acceptable sous certaine condition
G3	≥ 1000	Eau polluée

Chapitre III Aptitude des eaux à différents usages

III.3.1.1.2 La dureté de l'eau

La dureté de l'eau est une caractéristique importante à prendre en compte pour assurer la qualité de l'eau potable et prévenir les problèmes associés à une eau dure.

Elle est calculée par la relation :

$$TH \text{ (mg/L)} = 50 * (\text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$$

Ca²⁺ et Mg²⁺ sont exprimées en méq/l.

Tab.7 Classification de la dureté de l'eau selon Sawyer and McCarthy (1967).

Dureté (mg/L)	Classification
>75	Excellente
75-150	Modérément élevée
150-300	Dure
>300	Très dure

Dans notre cas, les valeurs de la dureté calculée sont supérieures à 300 (Tab.8). En les comparant avec la classification de Sawyer and McCarthy (1967), il en résulte que les eaux de notre étude sont des eaux fortement dures.

Tab.8 les valeurs de la dureté.

forage	TH (mg/L)	Forage	TH (mg/L)
G5	501.70	BA7	456.74
G2	399.75	BC1	441.77
BA1 ter	437.70	F11	433.78
BA2	509.74	F8	421.77
BA3	475.73	BC2	451.76
G4	401.80	BA6	433.75
BA5	447.69	Gu6	411.73
OM1	457.67	BA4	473.29
BK1	439.76	G3	435

III.3.1.1.3 Le pH

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande que le pH de l'eau potable se situe généralement entre 6,5 et 8,5 pour assurer sa sécurité et son acceptabilité pour la consommation humaine. Cependant, l'OMS précise également que dans certaines situations, des valeurs de pH légèrement en dehors de cette plage peuvent être acceptables.

D'après la carte ci-dessous (Fig.13) le pH des eaux de notre étude est ≤ 8 donc elles sont acceptables à la consommation humaine.

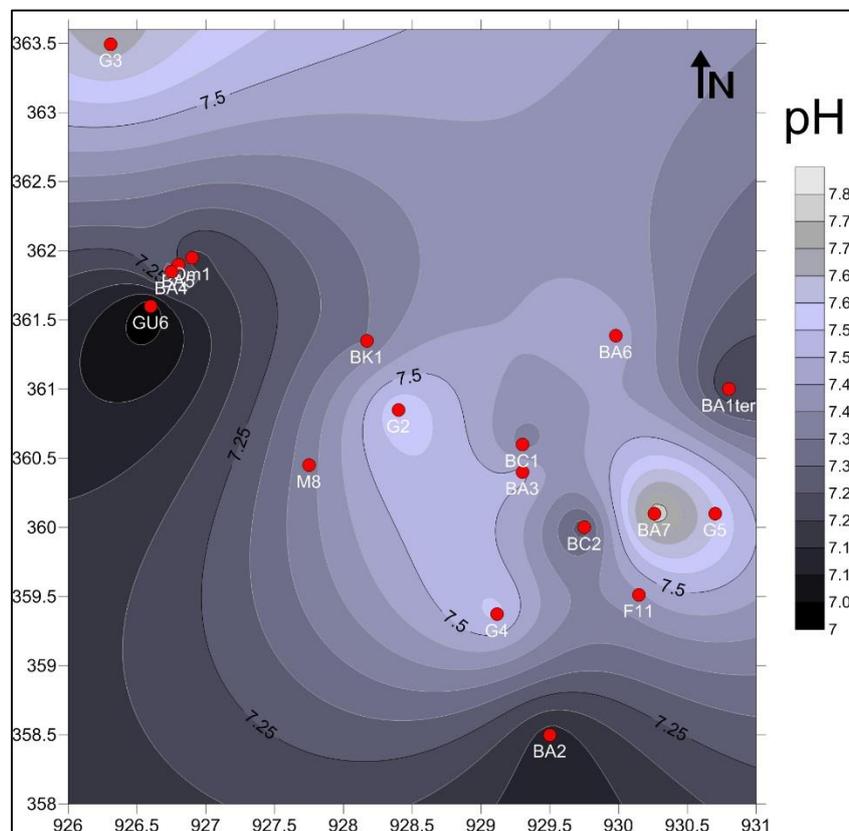


Fig.13 Carte iso- teneur de pH.

III.3.1.2 Classification des éléments chimiques selon l'O.M. S :

Les données sont recueillies d'ANRH pour les 18 forages qui sont : les cations (calcium, magnésium, sodium), les anions (chlorure, sulfate, nitrate et les bicarbonates).

III.3.1.2.1 Le calcium

Le calcium est un élément essentiel dans l'eau, bénéfique pour la santé humaine et important pour la qualité de l'eau.

L'OMS ne fixe pas de limite stricte pour le calcium dans l'eau potable. Des concentrations jusqu'à 200 mg/L sont acceptables et peuvent être bénéfiques pour la santé. Des niveaux plus élevés peuvent être tolérés, bien qu'ils puissent contribuer à la dureté de l'eau.

Selon les résultats des analyses, la concentration de calcium se varie entre 94 – 158 mg/l (Fig.14) donc d'après les normes de l'OMS elles sont acceptables à la consommation humaine.

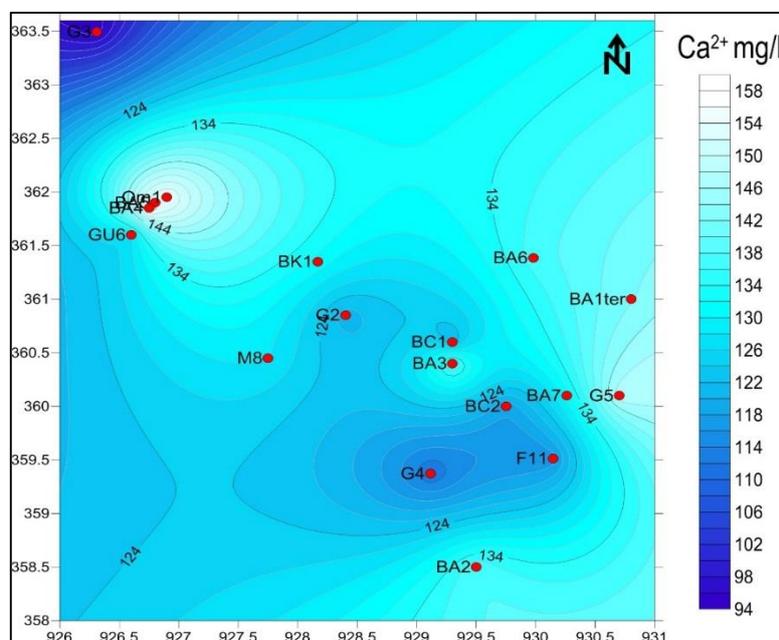


Fig.14 Carte iso- teneur de calcium.

III.3.1.2.2 Magnésium

Le magnésium est un minéral essentiel nécessaire à de nombreuses fonctions biologiques, y compris la santé osseuse, la fonction nerveuse et musculaire. Selon l'OMS des concentrations jusqu'à 150 mg/L sont acceptables et peuvent être bénéfiques pour la santé.

L'examen de la carte de magnésium montre que tous les valeurs sont inférieures à 150 mg/l (Fig.15) donc elles sont acceptables à la potabilité.

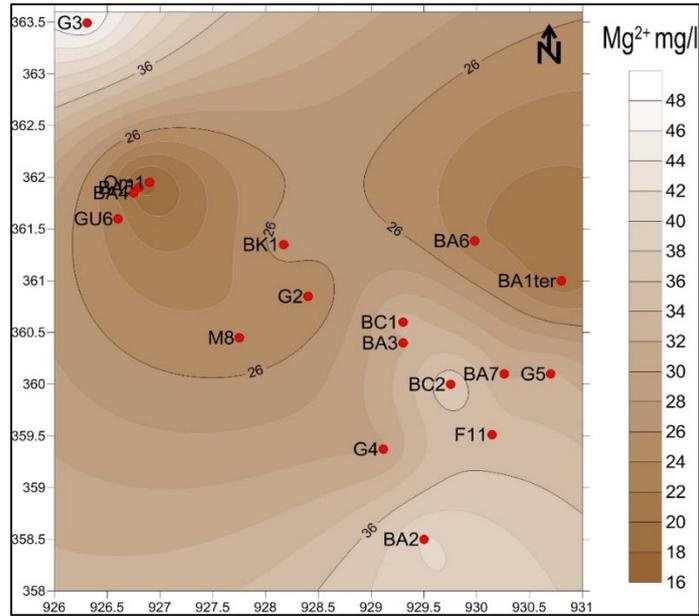


Fig.15 Carte iso- teneur de Mg²⁺.

III.3.1.2.3 Sodium (Na⁺) :

Le sodium dans l'eau potable est une considération importante pour la santé et la qualité de l'eau. L'OMS recommande une valeur guide de 200 mg/L de sodium dans l'eau potable. Selon la carte ci-dessous les valeurs de Na varie entre 16-100 mg/l (Fig.16) elle sont inférieurs à 200 mg/l donc cette eau est acceptable a la consommation humaine.

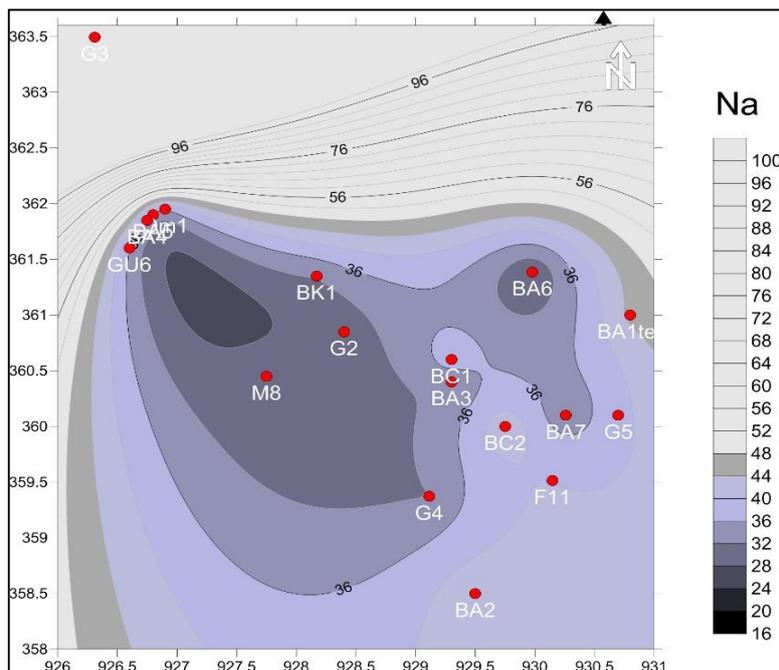


Fig.16 Carte iso- teneur de Na⁺ (mg/l).

III.3.1.2.4 Le sulfate

Le sulfate est un ion commun dans l'eau potable, souvent provenant de sources géologiques et anthropiques. À des concentrations élevées (au-delà de 400-600 mg/L), le sulfate peut avoir des effets laxatifs, provoquant des diarrhées, en particulier chez les personnes non habituées à une eau contenant de fortes concentrations de sulfate.

L'OMS recommande une valeur guide de 250 mg/L de sodium dans l'eau potable.

Selon les résultats des analyses, la concentration de sulfate se varie entre 30 – 290 mg/l (Fig.17) donc d'après les normes de l'OMS la majorité des forages sont acceptables à la consommation humaine. Sauf le forage OM1 qui dépasse la norme avec une valeur de 297 mg/l.

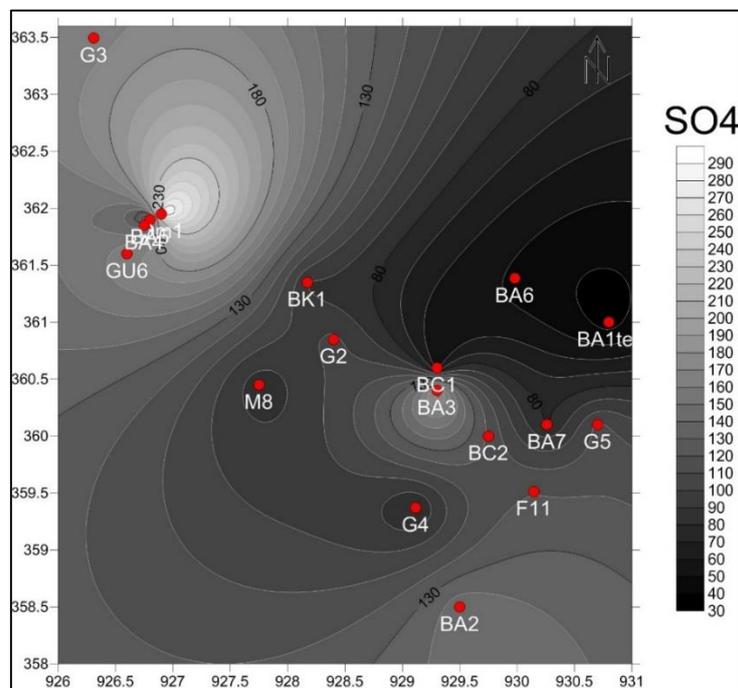


Fig.17 Carte iso- teneur de sulfate (mg/l).

III.3.1.2.5 Chlorure

Le chlorure (Cl^-) est un anion couramment présent dans l'eau potable, provenant de diverses sources naturelles telles que le sel de table (chlorure de sodium), ainsi que de sources anthropiques telles que les rejets industriels et les effluents domestiques. Les niveaux élevés de chlorure sont souvent associés à des niveaux élevés de sodium, ce qui peut poser des risques pour les personnes souffrant d'hypertension ou d'autres affections liées au sodium.

Chapitre III Aptitude des eaux à différents usages

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande une valeur guide de 250 mg/L pour le chlorure dans l'eau potable.

Il en ressort de la carte des concentrations de chlorure (Fig.18) que tous les analyse sont inférieurs à 250 mg/l (eau potable selon l'OMS) sauf deux forages G5 et G3 avec des valeurs supérieures à 250 mg/l.

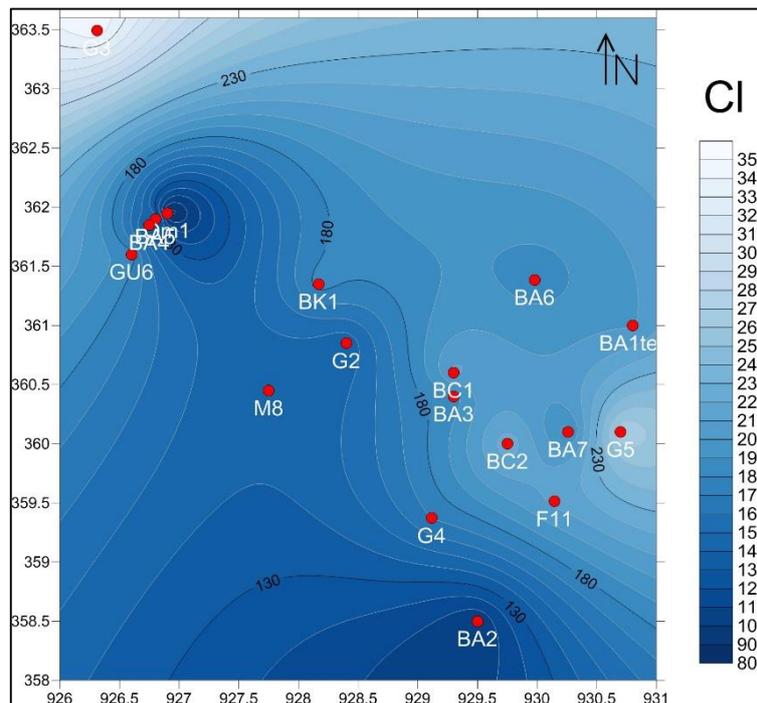


Fig.18 Carte iso- teneur de Chlorure (mg/l).

III.3.1.2.6 Le nitrate (NO_3^-)

Le nitrate (NO_3^-) est un anion couramment présent dans l'eau potable, provenant principalement de sources agricoles telles que les engrais, les déchets animaux et les effluents d'élevage. Il peut également être présent dans l'eau en raison de processus naturels tels que la décomposition des matières organiques. À des concentrations élevées, les nitrates peuvent poser un risque pour la santé, en particulier pour les nourrissons.

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande une limite de 50 mg/L pour les nitrates dans l'eau potable. En comparant les résultats des analyses présentés dans la carte

ci-dessous (Fig.19) avec la limite de l'OMS nous pouvons voir que tous les valeurs respectent les normes de l'OMS sauf le forage BA6 avec une valeur supérieure à 50 mg/l.

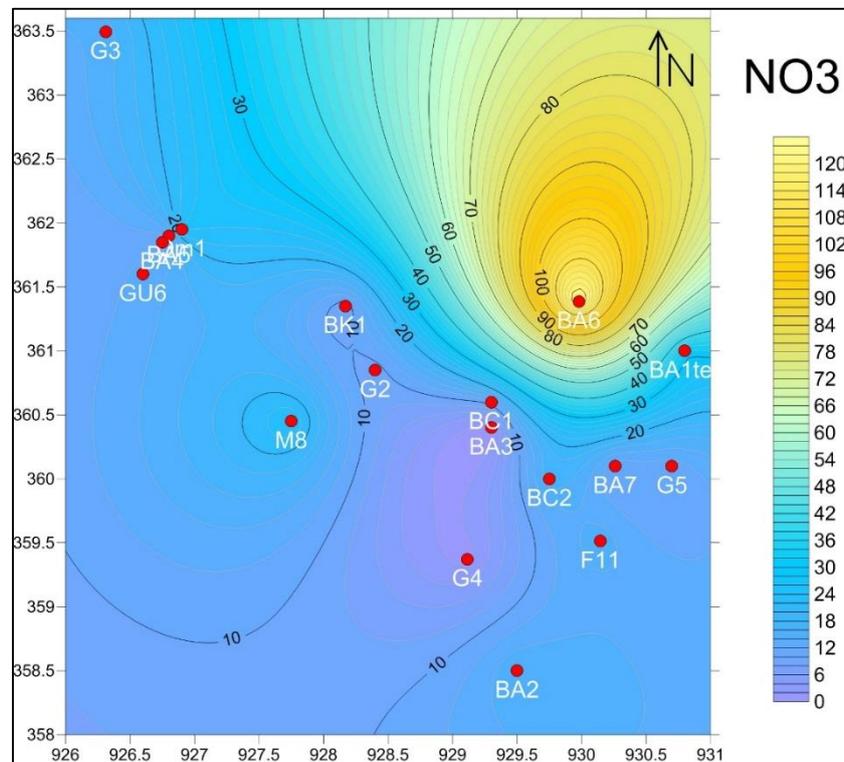


Fig.19 Carte iso- teneur de nitrate (mg/l).

En conclusion, les analyses montrent que les eaux souterraines de la région sont globalement de bonne qualité pour un usage domestique. Les concentrations en contaminants sont généralement inférieures aux seuils recommandés par les normes de potabilité, assurant ainsi une eau sûre pour la consommation humaine.

III.3.2 Aptitude à l'irrigation :

III.3.2.1 Taux d'absorption de sodium (SAR) :

Le taux d'absorption de sodium (SAR, pour "Sodium Adsorption Ratio" en anglais) est une mesure utilisée pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation et son impact potentiel sur la structure du sol. Le SAR indique le rapport entre la concentration de sodium (Na^+) et les concentrations de calcium (Ca^{2+}) et de magnésium (Mg^{2+}) dans l'eau. Cette mesure est importante parce que des niveaux élevés de sodium par rapport aux niveaux de calcium et de

Chapitre III Aptitude des eaux à différents usages

magnésium peuvent entraîner la dispersion des particules de sol, réduisant ainsi la perméabilité du sol et sa capacité à retenir l'eau.

L'eau est excellente pour l'irrigation si le SAR est inférieur à 10 (Richards, 1954). Les valeurs de SAR sont calculées selon la formule suivante :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})^{1/2}$$

Les concentrations $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ et Na^+ sont en méq/l.

Tous les valeurs du SAR varient de 0.41 à 3.61 méq/L avec une moyenne de 0.69 méq/L (Tab.9). Donc les échantillons sont aptes à l'irrigation.

Les valeurs des conductivités électriques et valeurs du SAR sont projetés sur le diagramme de Richards (1954), (la classification des eaux selon la méthode du SAR). A partir de ce diagramme (Fig.20) les eaux de notre étude sont situées dans la catégorie C3S1 (Salinité importante et faible alcalinité) et C3S2 (Salinité importante et alcalinité moyenne). En général ces eaux peuvent être utilisées en irrigation avec certaines précautions pour le deuxième cas.

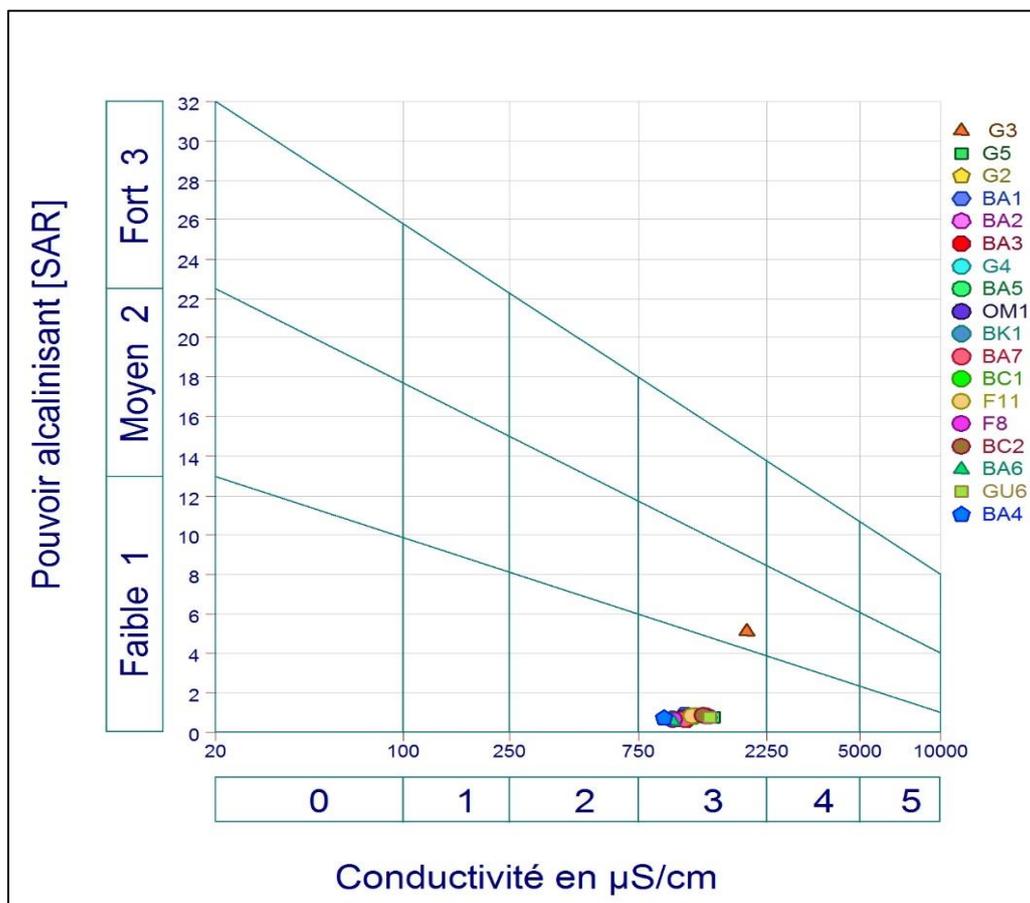


Fig.20 Classification des eaux d'irrigation selon le diagramme de Richards.

III.3.2.2 Pourcentage de sodium Na^+

Le pourcentage de sodium soluble est un autre indicateur utilisé pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation et son potentiel impact sur la structure du sol. Il représente la proportion de sodium par rapport à la somme totale des cations (positivement chargés) présents dans l'eau d'irrigation. La formule pour calculer le pourcentage de sodium soluble est la suivante :

$$Na \% = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \cdot 100$$

Des valeurs Na % inférieures ou égales à 50 indiquent une eau de bonne qualité tandis que des valeurs supérieures à 50 sont impropres à l'irrigation (Wilcox, 1955).

Les valeurs du Na % calculées varient de 12.35 à 55 méq/L (Tab.9).

Le diagramme de Wilcox (Fig.21) fait ressortir cinq classes, excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise. Selon cette classification la majorité des forages sont aptes à l'irrigation à l'exception du forage G3 qui présentent une salinité excessive.

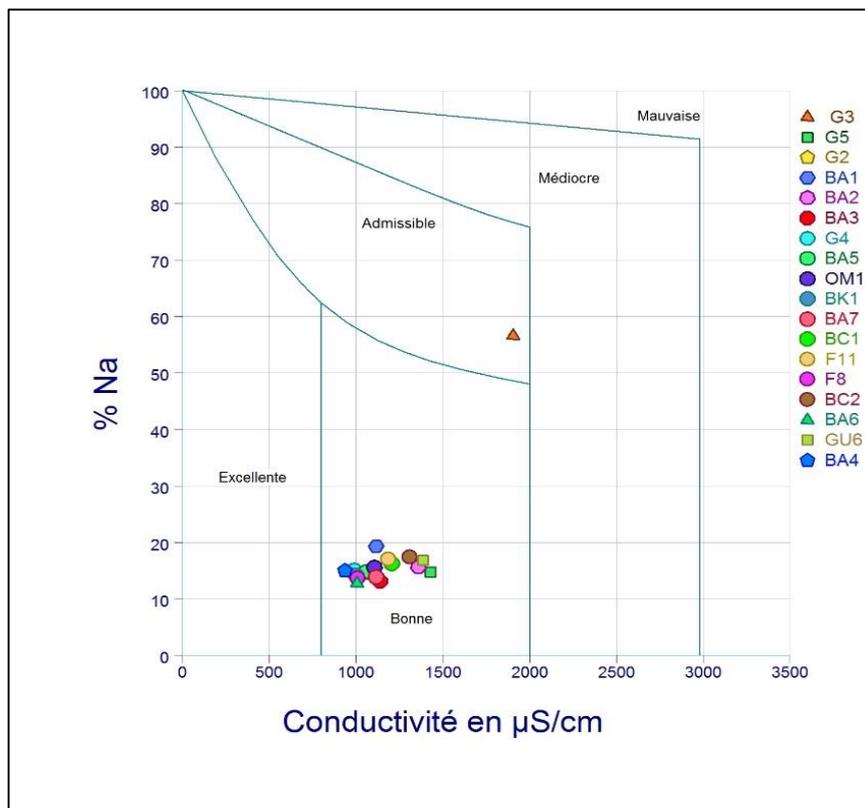


Fig.21 Diagramme de Wilcox..

III.3.2.3 Carbonate de sodium résiduel (RSC) :

Le RSC est un paramètre utilisé pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation, en particulier pour déterminer son impact potentiel sur les sols et les cultures. En raison des niveaux élevés d'ions bicarbonates dans l'eau, la présence de carbonates entraîne la précipitation de Ca^{2+} et de Mg^{2+} , entraînant ainsi une augmentation de la teneur en sodium du sol.

La formule simplifiée du RSC, sans inclure les carbonates :

$$RSC = (HCO^{3-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ méq/l}$$

- RSC < 1.25 méq/L : Eau sûre pour l'irrigation, faible risque de sodicité.
- RSC entre 1.25 et 2.5 méq/L : Eau avec un risque modéré de sodicité, nécessitant des mesures de gestion.
- RSC > 2.5 méq/L : Eau avec un risque élevé de sodicité, nécessitant des mesures correctives importantes.

Tous les valeurs de RSC des forages sont < 1.25 meq/L (Tab.9), l'eau est sûre pour l'irrigation car elle présente un faible risque de sodicité. Un RSC négatif indique que les cations de calcium et de magnésium sont en excès par rapport aux anions bicarbonates, ce qui est favorable pour la structure du sol.

III.3.2.4 Mg ratio

Un rapport, à savoir l'indice de risque pour le magnésium, a été développé par Paliwal (1972) et a été calculé par l'équation suivante :

Où, tous les ions sont exprimés en méq/l.

$$Mg^{2+} \text{ Ratio} = 100 \times [(Mg^{2+} / Ca^{2+} + Mg^{2+})]$$

Chapitre III Aptitude des eaux à différents usages

Les valeurs de Mg ratio varient entre 15.1 et 45.4 % (Tab.9) .100 % des échantillons tombent en dessous de la limite admissible de 50 %, indiquant l'effet favorable sur le rendement des cultures et la diminution de l'alcalinité du sol. Dans la zone d'étude, tous les échantillons sont adaptés à des fins agricoles en ce qui concerne le Mg ratio.

Tab.9 Différents paramètres intervenant dans la qualité des eaux à des fins agricoles.

Forage	CE	SAR	Na %	RSC	Mg ratio %
G5	1432	0.53	14.46	-5.49	26.7
G2	1075	0.46	14.03	-3.47	24.5
BA1 ter	1113	0.66	18.27	-4.41	19.1
BA2	1362	0.58	15.50	-4.51	32.5
BA3	1141	0.45	12.76	-5.73	27.3
G4	990	0.49	14.76	-3.97	30.3
BA5	1059	0.49	14.21	-4.91	15.1
OM1	1105	0.51	14.61	-4.43	15.73
BK1	999	0.47	13.77	-4.97	25.4
BA7	1117	0.47	13.58	-5.45	28.4
BC1	1207	0.57	16.11	-4.15	30.7
F11	1183	0.59	16.71	-4.17	32.7
F8	1009	0.44	13.40	-3.53	24.1
BC2	1311	0.62	17.15	-4.18	34.5
BA6	1005	0.41	12.31	-5.21	21.2
Gu6	1385	0.54	15.98	-3.13	22.8
BA4	934	0.50	14.19	-4.30	17.2
G3	1905	3.61	55.0387597	-6.04	45.4

III.3.2.5 Conclusion

En conclusion, les paramètres SAR, Na %, RSC et Mg ratio indiquent que la plupart des échantillons d'eau de forage sont de bonne qualité et appropriés pour l'irrigation. L'exception notable est le forage G3, qui présente une salinité excessive nécessitant des mesures de gestions spécifiques. En prenant des actions correctives pour le forage G3, telles que l'ajout de gypse et le lessivage, il est possible de maintenir la santé des sols et la productivité des cultures.

III.3.3 Usage industriel

L'évaluation de l'agressivité d'une eau envers le calcaire est cruciale pour la protection des infrastructures et des équipements industriels. Pour définir l'aspect ou le caractère agressif nous avons utilisé un logiciel de calcul appelé Equilibre (EQUIL1) Ce dernier s'appuie sur les données d'analyses demandées par le diagramme de Langelier, permet de définir certains indices calco-carbonique.

III.3.3.1 Indice de Saturation de Langelier (LSI) :

Cet indice est utilisé pour prédire la tendance d'une eau à dissoudre ou à déposer du carbonate de calcium.

La formule pour calculer LSI est la suivante :

$$LSI = pH - pHs$$

Si le LSI est inférieur à 0, l'eau dissout le calcaire et accélère la corrosion des équipements. Un LSI de 0 indique un équilibre, minimisant les risques de corrosion et d'incrustation. Un LSI supérieur à 0 signifie que l'eau dépose du calcaire, causant des problèmes d'entartrage et réduisant l'efficacité des systèmes industriels.

Les valeurs de LSI calculées dans notre cas sont inférieures à 0 (Tab.10), cela signifie que l'eau de ces forages est agressive et à tendance à dissoudre le calcaire.

Tab.10 Les valeurs de LSI

forage	LSI	forage	LSI
G5	-0.9	BA7	-0.9
G2	-1	BC1	-1.03
BA1 ter	-1.1	F11	-0.96
BA2	-1.08	F8	-0.92
BA3	-1.18	BC2	-1.04
G4	-1.23	BA6	-1.12
BA5	-1.25	Gu6	-1.29
OM1	-1.12	BA4	-1.05
BK1	-1.15	G3	-1.12

III.3.3.2 Indice de Ryznar (IR) :

L'indice de Ryznar (IR) est un autre indicateur utilisé pour évaluer la tendance de l'eau à être corrosive ou incrustante. Il est basé sur le pH de saturation (pHS) et le pH réel de l'eau. Cet indice aide à prévoir le potentiel de dépôt de calcaire ou de corrosion dans les systèmes de distribution d'eau.

Donnée par la relation :

$$IR = 2pHS - pH \quad (\text{Ryznar, 1944})$$

- $IR < 6$: L'eau est incrustante, ce qui signifie qu'elle a tendance à déposer du carbonate de calcium. Cela peut mener à la formation de tartre dans les canalisations et les équipements.
- IR entre 6 et 7 : L'eau est considérée comme stable, avec un léger potentiel de corrosion ou d'incrustation.
- $IR > 7$: L'eau est corrosive, ce qui signifie qu'elle tend à dissoudre le carbonate de calcium, entraînant la corrosion des matériaux.

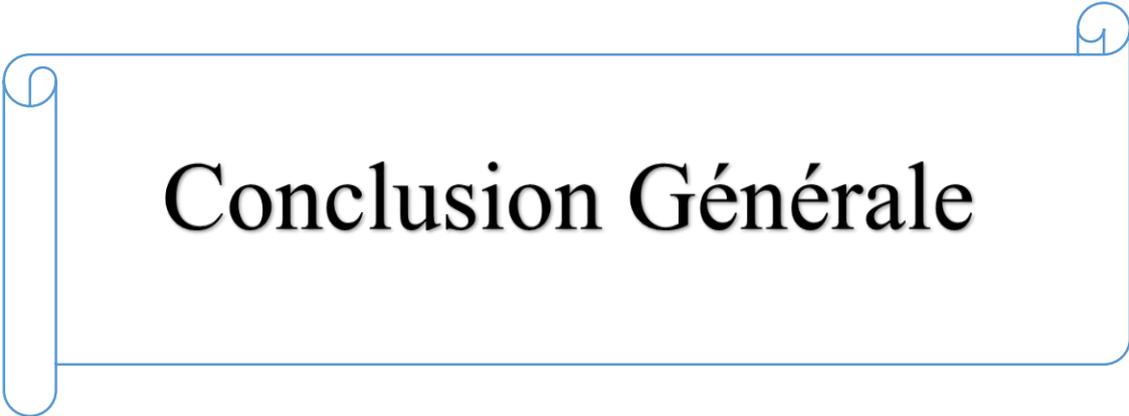
Selon les résultats de IR calculés dans le tableau ci-dessous (Tab.11) l'eau est corrosive (des valeurs de $IR > 7$).

Tab.11 Valeurs de IR.

Forage	IR	Forage	IR
G5	9.5	BA7	9.5
G2	9.6	BC1	9.4
BA1 ter	9.5	F11	9.3
BA2	9.4	F8	9.2
BA3	9.9	BC2	9.4
G4	10	BA6	9.7
BA5	9.7	Gu6	9.6
OM1	9.4	BA4	9.5
BK1	9.7	G3	10

III.3.3.3 Conclusion

La combinaison d'un IR élevé et d'un LSI négatif indique une eau potentiellement corrosive et agressive envers le calcaire. Il est impératif de mettre en œuvre des mesures correctives efficaces pour protéger les infrastructures industrielles et assurer la qualité de l'eau pour les processus industriels.

A decorative blue scroll frame with rounded corners and a vertical scroll on the left side. The text "Conclusion Générale" is centered within the frame.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude que nous avons abordée dans la région de la nappe de Guelma intitulée "Influence de la salinité sur les eaux souterraines" a permis d'explorer de manière approfondie les caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines. Les analyses menées ont visé à évaluer la qualité de ces eaux pour divers usages, notamment domestiques, industriels et agricoles.

La région étudiée, caractérisée par un climat semi-aride, est particulièrement vulnérable aux variations de salinité en raison des faibles précipitations et des taux élevés d'évaporation. Les échantillons d'eau de forage ont été prélevés et soumis à des analyses physico-chimiques pour déterminer les principaux paramètres de qualité de l'eau, tels que le Sodium Adsorption Ratio (SAR), le pourcentage de sodium (Na %), le Résiduel Sodium Carbonate (RSC) et le ratio magnésium/calcium (Mg ratio) etc.

Pour l'usage Domestique : Les analyses montrent que les eaux souterraines de la région sont globalement de bonne qualité pour un usage domestique. Les concentrations en contaminants sont généralement inférieures aux seuils recommandés par les normes de potabilité, assurant ainsi une eau sûre pour la consommation humaine.

En revanche pour l'usage industriel, La combinaison d'un IR élevé et d'un LSI négatif indique une eau potentiellement corrosive et agressive envers le calcaire, rendant ces eaux moins adaptées pour un usage industriel sans traitement préalable.

Pour l'irrigation Agricole : D'après les diagrammes de RICHARDS et de WILCOX, RSC et Mg ratio la majorité des échantillons d'eau de forage ont été jugés appropriés pour l'irrigation, à l'exception notable du forage G3. Ce dernier présente des valeurs de SAR et de pourcentage de sodium élevées, indiquant un risque potentiel pour la structure du sol et la santé des cultures. L'excès de sodium dans ce forage pourrait entraîner une dispersion des particules d'argile, réduisant la perméabilité du sol et compliquant la gestion de l'eau d'irrigation.

En conclusion, bien que la plupart des forages offrent une eau de qualité acceptable pour les usages domestiques et agricoles, une attention particulière doit être portée aux forages présentant des anomalies, comme le forage G3. La gestion proactive et l'adoption de technologies de traitement appropriées sont essentielles pour assurer la durabilité et la qualité des ressources en eau souterraine dans cette région vulnérable.

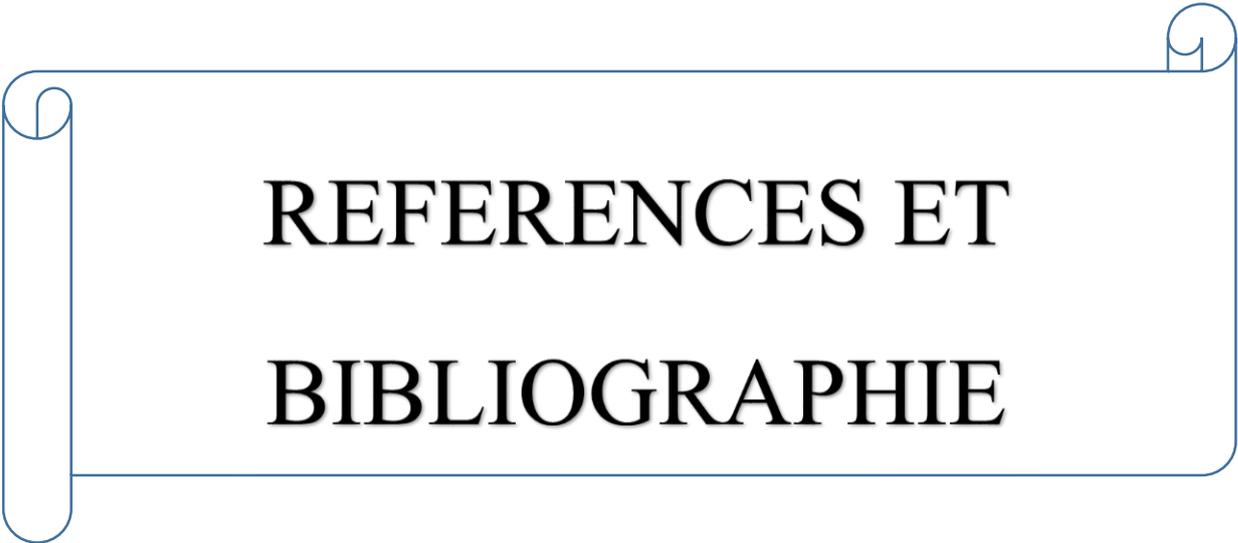
Recommandations

Surveillance Continue : Il est recommandé de mettre en place un programme de surveillance continue de la qualité des eaux souterraines pour détecter rapidement toute variation de la salinité et adapter les stratégies de gestion en conséquence.

Traitement de l'Eau : Pour l'usage industriel, un traitement préalable de l'eau est nécessaire pour réduire la salinité et prévenir la corrosion des équipements.

Gestion Agricole : Pour les forages utilisés à des fins d'irrigation, des pratiques agricoles durables doivent être adoptées, en particulier pour le forage G3.

Sensibilisation et Éducation : Il est crucial de sensibiliser les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau aux risques associés à la salinité et aux meilleures pratiques de gestion de l'eau et des sols pour garantir une agriculture durable dans la région.

A decorative border in the shape of a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the central text.

**REFERENCES ET
BIBLIOGRAPHIE**

REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE

ADE Guelma les analyses des eaux souterraines

Beclod. (S. D.). Traitement de l'eau - Méthode de détermination du phs. Degremont Suez. <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/neutralisation-remineralisation/methodes-de-determination-du-phs>

Bull., 962, Washington, D.C., p. 1-40.

Direction des ressources en eau de la wilaya de Guelma - Données climatiques de la période (2012-2022) région de Guelma.

Djabri L. (1993). Etude des caractéristiques d'une nappe côtière de l'Est algérien (cas de la nappe alluviale de Guelma-Bouchegouf-Annaba) -revue hydrogéologie n°10, PP13-29

Drever J.I. (2002). The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments. 3rd Ed. Prentice- Hall, p. 24-26

Gandolfi J.M., Bouroullec I., Mary F., Porquet M. et Delacroix S., (2007) - BISMUTH : Banque d'Information sur le sous-sol en Milieu Urbain de Toulouse - Phase 2. BRGM/RP-55514-FR. Rapport d'avancement - 119p

Gibbs R.J (1970). Mechanism controlling world water chemistry. Science, 170 (3962) :1088-1090

Glossaire. (S. D.). <https://www.oreau.eu/glossaire.php?Defid=34&search=I>

MOUASSA Souad (2017) Évaluation des ressources en eau dans le sous bassin versant de la moyenne Seybouse, région de Guelma Nord-Est Algérien.

OMS (2017). Guidelines for Drinking-water Quality, 4th edition, incorporating the first addendum.)

Parkhurst D.L., Appelo, C.A.J. (2013). User's guide to PHREEQC (ver. 2): A computer program for speciation, batch reaction, one dimensional transport, and inverse geochemical calculations. USGS Water Resources Investigation Report, 99, 4259.

Piper A.M (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. Eos, transactions. Am Geophys Union 25(6) :914-928

Postel, S. (1999). *Pillar of Sand : Can the Irrigation Miracle Last ?* W.W. Norton & Company. Page 58.

REFERENCES ET BIBLIOGRAPHIE

Richards L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline alkali soils. Agriculture, Vol.160. Handbook 60. Washington DC : US Department of Agriculture.

Subramani, T., Elango, L. and Damodarasamy, S.R. (2005) Groundwater Quality and Its Suitability for Drinking and Agricultural Use in Chithar River Basin, Tamil Nadu, India. Environmental Geology, 47, 1099-1110.

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

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

Wilcox L.V. (1948). The quality of water for irrigation use. US Dept. of Agriculture, Tech. Bull., 962, Washington, D.C., p. 1-40.