

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 8 Mai 1945 GUELMA

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : HYDRAULIQUE URBAINE

Présenté par : BOUKHADRA Hamza

**Thème : QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA
NAPPE ALLUVIONNAIRE DE GUELMA**

Sous la direction de : Mme DORBANI Meriem

Juin 2023

Remerciements

Avant tout, je remercie « **Allah** » le tout puissant qui m'a donné le courage, la force et la patience pour réaliser ce travail.

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont participé au bon déroulement de mon travail, m'ont permis de réaliser ce mémoire.

Je témoigne donc toute ma reconnaissance à mon directeur de mémoire Mme : Dorbani Meriem qui a consacré son précieux temps pour m'aider à réaliser ce modeste travail et qui s'est toujours rendu disponible pour me renseigner et a contribué à l'avancement du travail.

Aux membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail, qui' ils Trouvent ici ma sincère et profonde gratitude.

Je remercie également le Chef du département Docteur : Himeur Mohamed et tous les enseignants du département de Génie Civil et Hydraulique.

Je remercie également tout le personnel du département, exceptionnellement Mme : Boukhatem.K et Mme : Ksouri.L

Je remercie aussi le staff de l'ADE Guelma, et la station de traitement de hammam D'ebagh qui étaient toujours disponibles pour me faire profiter ces informations.

HAMZA.

Dédicace

Je dédier ce modeste travail à :

À mon défunt père, qui était une personne incroyable, qui n'a jamais cessé de croire en moi, il avait sacrifié ses plus belles années pour voir un jour mon succès, je prie **Allah** d'avoir pitié de vous, paix à ton âme.

A' ma mère, qui est toujours présente, vigilante, disponible et toujours souriante, tu es celle qui m'a toujours soutenu dans les moments créatif, ce travail est son dote le fruit de son sacrifice.

Je te souhaite une longue et heureuse vie pleine de santé inshallah.

A' mes sœurs, ma femme et à toute ma grande famille.

A' tous mes amis sans exception.

A' toute la promo Hydraulique Urbaine 2023.

HAMZA.

Résumé

L'eau est encore considérée comme l'un des aliments de base, précieux et importants, au cours des 50 dernières années, l'Algérie a subi une des plus fortes variations de la pluviométrie observées à l'échelle du globe, ces fluctuations climatiques ont non seulement affecté le régime des précipitations mais elles ont également engendré des conséquences sur les ressources hydrologiques.

Le bassin de Guelma renferme dans son sous sol un potentiel hydrique assez important, constitué par un réseau de sources utilisées essentiellement pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation des parcelles de terre. malheureusement il a connu une urbanisation rapide et un développement industriel marqué, par conséquent ce développement socio-économique s'accompagne d'une augmentation des débits des rejets des eaux usées, et du degré de pollution des eaux de surfaces et souterraines, les eaux souterraines peuvent contenir des éléments indésirables ou toxiques qui constituent une menace pour la santé humaine à long et à court terme, cependant, il est nécessaire que les consommateurs disposent d'un approvisionnement en eau sûr et sain quoi qu'il arrive, le but de cette étude était de contribuer à l'évaluation de la qualité physique et chimique des eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma.

L'étude est basée sur la détermination des paramètres à savoir: le pH, la conductivité, la turbidité, le chlore, les nitrites et l'ammonium,...etc.

Mots clés: l'eau souterraine, qualité physique et chimique, nappe alluvionnaire de Guelma.

Abstract

Water is still considered one of the most valuable and important staple foods, over the past 50 years, Algeria have experienced one of the largest variations in global rainfall, these climatic fluctuations not only affected the rainfall regime but also had consequences for hydrological resources.

the Guelma basin has a fairly large water potential in its subsoil, consisting of a network of sources used mainly for drinking water supply and irrigation of plots of land, unfortunately it has experienced rapid urbanization and marked industrial development, as a result, this socio-economic development is accompanied by an increase in the flows of waste water discharges and the degree of pollution of surface and ground water, groundwater may contain undesirable or toxic elements that pose a threat to human health in the long and short term however, there is a need for consumers to have a safe and healthy water supply no matter what; the purpose of this study was to contribute to the assessment of the physical and chemical quality of groundwater in the Guelma alluvial layer.

The study is based on the determination of parameters such as ph, conductivity, turbidity, chlorine, nitrites and ammonium, etc.

Keywords: groundwater, physical and chemical quality, Guelma alluvial layer.

ملخص

لا يزال الماء يعتبر من أكثر الأطعمة الأساسية قيمة وأهمية ،على مدى السنوات 50 الماضية شهدت الجزائر أحد أكبر الاختلافات في هطول الأمطار في العالم ، ولم تؤثر هذه التقلبات المناخية على نظام هطول الأمطار فحسب، بل كان لها أيضا عواقب على الموارد الهيدرولوجية.

يتمتع حوض قالمة بإمكانات مائية كبيرة إلى حد ما في باطن أرضه، تتكون من شبكة من المصادر المستخدمة بشكل أساسي لإمدادات مياه الشرب وري قطع الأرض، ولسوء الحظ، شهدت تحضرا سريعا وتطورا صناعيا ملحوظا ، ونتيجة لذلك يصاحب هذه التنمية الاجتماعية - الاقتصادية زيادة في تدفقات المياه المستعملة ودرجة تلوث المياه السطحية والجوفية، وقد تحتوي المياه الجوفية على عناصر غير مرغوب فيها أو سامة تشكل تهديدا لصحة الإنسان في الأجلين الطويل والقصير، ومع ذلك هناك حاجة للمستهلكين للحصول على إمدادات مياه آمنة وصحية مهما حدث ، وكان الغرض من هذه الدراسة هو المساهمة في تقييم النوعية الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية في طبقة قالمة الغرينية.

تستند الدراسة إلى تحديد إعدادات مثل الأس الهيدروجيني والتوصيلية والتعكر والكولور والنتريت والأمونيوم، الخ.

الكلمات الرئيسية: المياه الجوفية، الجودة الفيزيائية والكيميائية، طبقة قالمة الغرينية.

Tables des matières :

- **Remerciements**
- **Dédicace**
- **Résumé**
- **Abstract**
- **ملخص**
- **Tables des matières**
- **Liste des Tableaux**
- **Liste des Figures**
- **Symbole et abréviations**

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

Chapitre I: Revue bibliographique sur l'eau

1.1 Introduction	3
1.2 Définition de l'eau.....	3
1.3 les sources naturelles de Léau.....	5
1.3.1 Les eaux souterraines.....	5
1.3.2 Eaux de surfaces.....	5
1.3.3 Eaux de mers et eaux saumâtres.....	6
1.4 Chimie de l'eau.....	7
1.4.1 Structure de l'eau.....	7
1.4.2 Propriétés de l'eau.....	8
1.5 La pollution de l'eau.....	10
1.5.1 Origine de la pollution.....	10
1.5.2 Les principaux polluants des eaux naturelles.....	12
1.6 Les paramètres de qualité des eaux.....	14
1.6.1 Les paramètres organoleptiques.....	14
1.6.2 Paramètre physico-chimique.....	14
1.6.3 Les paramètres indésirables.....	15
1.6.4 Les paramètres toxiques.....	16
1.6.5 Les caractéristiques biologiques.....	17
1.7 Conclusion.....	17

Chapitre II: Caractère hydrogéologique

2.1 Introduction.....	18
2.2 Quelques définitions.....	18
2.2.1 Eaux souterraine.....	18

2.2.2 Définitions d'un aquifère.....	20
2.2.3 Notion de nappe d'eau souterraine.....	21
2.2.4 Capter une source.....	22
2.3 Les principaux types d'aquifère.....	23
2.3.1 Aquifère à nappe libre.....	23
2.3.2 Aquifère à nappe captive.....	24
2.3.3 Aquifère à nappe semi-captive ou à drainance.....	25
2.4 Les variations du niveau des nappes.....	26
2.4.1 Les nappes d'eau souterraine fluctuent.....	26
2.4.2 Les cycles de recharge et de vidange des nappes.....	26
2.4.3 Influence des activités humaines sur le niveau des nappes.....	27
2.5 La piézométrie.....	27
2.5.1 Le piézomètre.....	28
2.5.2 La mesure piézométrique.....	28
2.6 Les paramètres hydrodynamiques.....	29
2.6.1 La perméabilité.....	29
2.6.2 La transmissivité.....	30
2.6.3 Le coefficient d'emmagasinement.....	30
2.7 Alimentation et stockage de l'eau.....	31
2.8 Conclusion.....	32

Chapitre III: Les paramètres de qualité des eaux souterraines

3.1 Introduction.....	33
3.2 Qualité physico-chimique.....	33
3.2.1 Les paramètres physiques.....	34
3.2.2 Les paramètres chimiques.....	37
3.3 Qualité microbiologique des eaux souterraines.....	41
3.4 Transferts des pollutions dans les eaux souterraines.....	41
3.4.1 Les transferts d'ordre physique.....	41
3.4.2 Les transferts d'ordre chimique.....	42
3.4.3 Les transferts d'ordre biologique.....	42
3.5 Conclusion.....	43

Chapitre IV: Cadre physique de la zone d'étude et hydroclimatologie

4.1 Introduction.....	44
4.2 Cadre physique de la région d'étude.....	44
4.2.1 Situation géographique.....	44
4.2.2 Orographie et géomorphologie.....	45
4.2.3 L'orographie et l'hydrographie.....	46
4.2.4 La géologie locale.....	47

4.3 Cadre climatique.....	53
4.3.1 Analyse Des Paramètres Climatiques.....	53
4.3.2 Répartition Saisonnière Des Précipitations.....	57
4.3.3 Répartition Moyennes Mensuelles Des Précipitations.....	58
4.3.4 Répartition moyennes annuelles des pluies.....	59
4.3.5 Évolution des températures.....	62
4.3.6 Répartition Des Températures Moyennes Mensuelles Interannuelles.....	62
4.3.7 Répartition Des Températures Moyennes Annuelles.....	63
4.4 Indices climatiques.....	65
4.4.1 Calcul de l'indice d'aridité de Martonne.....	65
4.4.2 Climagramme D'emberger.....	66
4.5 Notion Du Bilan D'eau.....	67
4.5.1 Étude de l'évapotranspiration.....	68
4.5.2 Estimation de la lame d'eau Écoulée.....	71
4.5.3 Infiltration Efficace.....	72
4.6 Conclusion.....	73

Chapitre V: Résultats et discussions

5.1 Introduction	74
5.2 Échantillonnage et analyse des paramètres physico- chimiques (eaux des sources)	74
5.2.1 Échantillonnage des points.....	74
5.2.2 Analyses physico-chimiques des eaux.....	78
5.3 Vulnérabilité à la pollution et périmètre de protection	119
5.3.1 La vulnérabilité.....	119
5.3.2 Périmètres de protection.....	124
5.4 Conclusion	125
Conclusion générale.....	126

Références bibliographiques

Annexe 1

Annexe 2

Liste des tableaux :

Tableau 1.1	Principales différence entre eaux de la surface et eaux souterraines.	6
Tableau 1.2	représente la toxicité des métaux lourds.	17
Tableau 4.1	Forages de la nappe alluvionnaire de Guelma (DRE 2018).	50
Tableau 4.2	Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique de Guelma.	53
Tableau 4.3	Evolution du coefficient pluviométrique (1988/2020).	56
Tableau 4.4	Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma.	58
Tableau 4.5	Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020).	60
Tableau 4.6	Moyennes mensuelles interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020).	62
Tableau 4.7	Moyenne annuelle des températures à la station de Guelma (1988-2020).	64
Tableau 4.8	Indice annuel d'aridité (A).	65
Tableau 4.9	Paramètres climatique déterminant l'indice d'EMBERGER.	66
Tableau 4.10	Bilan Hydrique de Thornthwaite de la station de Guelma (1988-2020).	70
Tableau 4.11	Ruissellement selon la formule de Tixiront-Berkaloff.	72
Tableau 4.12	Les valeurs de l'infiltration efficace.	72
Tableau 5.1	Représentation des forages avec leurs caractéristiques.	77
Tableau 5.2	Condition de conservation des prises d'essais pour L'analyse Physico-chimique.	79
Tableau 5.3	variation de la température de l'eau dans différents forages.	80
Tableau 5.4	variation du pH de l'eau dans différents forages.	82

Tableau 5.5	variation de la conductivité de l'eau dans différents forages.	84
Tableau 5.6	variation de la turbidité de l'eau dans différents forages.	86
Tableau 5.7	variation des concentrations du sulfate dans différents forages.	88
Tableau 5.8	variation des concentrations des Nitrates dans l'eau.	90
Tableau 5.9	variation des Nitrites dans l'eau dans différents forages.	92
Tableau 5.10	variation de l'ammonium dans l'eau dans différents forages.	94
Tableau 5.11	variation de la concentration du phosphate dans l'eau.	96
Tableau 5.12	variation de concentration du fer dans l'eau.	98
Tableau 5.13	variation de la concentration des MES.	100
Tableau 5.14	variation du calcium dans l'eau dans différents forages.	102
Tableau 5.15	variation de l'alcalinité (TAC) dans l'eau dans différents forages.	104
Tableau 5.16	variation des résidus secs dans l'eau dans différents forages.	106
Tableau 5.17	variation de magnésium dans l'eau dans différents forages.	108
Tableau 5.18	variation du Potassium dans l'eau dans différents forages.	110
Tableau 5.19	variation de la dureté (TH) de l'eau dans différents forages.	112
Tableau 5.20	variation de la salinité dans l'eau dans différents forages.	114
Tableau 5.21	variation de la Matière organique dans l'eau dans différents forages.	115
Tableau 5.22	variation de la concentration du chlorure dans l'eau.	117
Tableau 5.23	variation du bicarbonate dans l'eau dans différents forages.	118

Liste des figures :

Figure 1.1	Cycle de l'eau.	4
Figure 1.2	forme de la molécule d'eau.	7
Figure 1.3	Etats physiques de l'eau.	8
Figure 2.1	Ecoulement de l'eau souterraine.	19
Figure 2.2	Les états de l'eau dans le sol.	20
Figure 2.3	Représentation d'un aquifère.	21
Figure 2.4	présentation des eaux souterraines.	22
Figure 2.5	les éléments d'une source aménagée.	23
Figure 2.6	Schéma de l'aquifère à nappe libre.	24
Figure 2.7	Schéma de l'aquifère à nappe captive.	25
Figure 2.8	Schéma de la drainance.	26
Figure 2.9	Profondeur de la nappe.	28
Figure 4.1	Situation géographique de la ville de Guelma.	45
Figure 4.2	Carte du relief de la wilaya de Guelma (Mouchara N., 2008).	46
Figure 4.3	Carte géologique du bassin versant de la moyenne Seybouse (par vila 1980, modifiée).	48
Figure 4.4	Point de forages de la nappe alluvionnaires de Guelma.	51
Figure 4.5	Localisation du poste pluviométrique de référence.	54
Figure 4.6	Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie – ANRH 2005 –	55
Figure 4.7	Variation annuelle des précipitations a la station de Guelma (1988- 2020).	57
Figure 4.8	Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 1988 à 2020.	58
Figure 4.9	Répartition des précipitations moyennes mensuelles interannuelles à la station de Guelma (1988-2020).	59
Figure 4.10	Précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988- 2020).	61
Figure 4.11	Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020).	63
Figure 4.12	Variation de températures annuelles à la station de Guelma (1988-2020).	64
Figure 4.13	Position de la station de l'ONM: de Guelma sur le Climagramme d'EMBERGER.	67
Figure 4.14	Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station de Guelma (1988-2020).	70

Figure 5.1	Station de traitement Hammam Debagh Guelma (ADE).	75
Figure 5.2	Laboratoire de station de traitement Hammam Debagh ADE Guelma.	75
Figure 5.3	Carte des points d'eau prélevés dans le bassin versant de la moyenne –Seybouse–	76
Figure 5.4	Variation moyenne de la température de l'eau dans différents forages.	81
Figure 5.5	Variation moyenne du pH de l'eau dans différents forages.	83
Figure 5.6	Variation moyenne de la Conductivité de l'eau dans différents forages.	85
Figure 5.7	Variation moyenne de la turbidité de l'eau dans différents forages.	87
Figure 5.8	Variation moyenne du sulfate des différents forages.	89
Figure 5.9	Variation moyenne des Nitrates dans l'eau dans différents forages.	91
Figure 5.10	Variation moyenne des Nitrites dans l'eau des différents forages.	93
Figure 5.11	Variation moyenne de l'ammonium dans l'eau des différents forages.	95
Figure 5.12	Variation moyenne du phosphate dans l'eau dans différents forages.	97
Figure 5.13	Variation moyenne du fer dans l'eau dans différents forages.	99
Figure 5.14	Variation moyenne des MES dans l'eau dans différents forages.	101
Figure 5.15	Variation moyenne du calcium dans l'eau des différents forages.	102
Figure 5.16	Variation moyenne de l'alcalinité (TAC) dans l'eau dans différents forages.	103
Figure 5.17	Variation moyenne du résidu sec dans l'eau des différents forages.	107
Figure 5.18	Variation moyenne de magnésium dans l'eau dans différents forages.	109
Figure 5.19	Variation moyenne du Potassium dans l'eau dans différents forages.	111
Figure 5.20	Variation moyenne de la dureté dans l'eau des différents forages.	113
Figure 5.21	Variation moyenne de la salinité de l'eau dans différents forages.	114
Figure 5.22	Variation moyenne de la matière organique dans l'eau des différents forages.	116
Figure 5.23	Variation moyenne du chlorure dans l'eau des différents forages.	117
Figure 5.24	Variation moyenne du bicarbonate dans l'eau des différents forages.	119
Figure 5.25	Carte de localisation des sources de pollution dans la région de Guelma (in Latifi.S, 2017).	121
Figure 5.26	Carte de vulnérabilité de la nappe aquifère de la plaine de Guelmaselon la méthode de GOD. (Latifi.S, 2017 modifiée).	123

Symbole et abréviations :

ADE	: Algérienne des Eaux.
AEP	: Alimentation en Eau Potable.
AEI	: Alimentation en Eau Industriel.
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydriques.
CP	: Coefficient Pluviométrique.
° C	: Degré Celsius.
DA	: Déficit agricole
DRE	: Direction de Ressource en Eau.
EDTA	: Acide éthylène Diamine Tétra Acétique.
ETP	: Evapotranspiration Potentielle.
ETR	: Evapotranspiration Réelle
EXC	: Excédent.
I	: Infiltration.
l/hab/an	: Litre par habitant par année.
MES	: Matière en suspension.
MO	: Matière Organique.
NO₃⁻	: Nitrate.
NO₂⁻	: Nitrites.
NTU	: Unités de Turbidité Néphélométrique.
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé.
ONM	: Office Nationale de Météorologie.
P	: Précipitation.
pH	: Potentiel d'hydrogène.
PO₄³⁻	: Phosphates.
R	: Ruissellement.
RFU	: Réserves Facilement Utilisables.
µs/cm	: micro siemens par centimètre.
TAC	: Titre Alcalimétrique Complet.
TDS	: Taux des Sels Dissous.

Introduction générale

Introduction générale :

L'eau constitue un élément vital, pour le développement et le maintien de la vie sur notre planète, pour cela il faut préserver et assurer la persistance continue de l'eau, non seulement pour fournir à l'homme une quantité suffisante pour ces besoins mais pour lui assurer une irréprochable qualité de cette eau, pour cela l'eau fait l'objet de nombreux contrôles physico-chimique et bactériologiques.

La question de la ressource en eau est aujourd'hui devenue une préoccupation à toutes les échelles, nous sommes tous concernés par cet élément vital, face à la croissance très importante des usages de l'eau au cours des dernières décennies, face à la diversité des activités qui utilisent cette ressource naturelle, il est apparu nécessaire de se poser la question de la rationalité de son utilisation.

La situation actuelle en Algérie, se caractérise par un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles, la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit durant les deux dernières décennies, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole, les besoins exprimés par les différents utilisateurs sont nettement supérieurs aux ressources en eau mobilisées, ce qui engendre des conflits d'affectation, et nécessite parfois des arbitrages difficiles.

Les eaux souterraines représentent environ la majorité de la quantité d'eau mobilisée pour l'approvisionnement en eau potable, elles offrent en général l'avantage de ne pas nécessiter des traitements poussés avant leur mise à disposition pour la distribution.

La recherche de la qualité qui préside à l'ensemble du processus de production et de distribution constitue la préoccupation première et constante des professionnels de l'eau. de ce fait la potabilité des eaux de surface ou des nappes phréatiques constitue pour l'homme un des enjeux majeurs, le fait qu'une eau soit conforme aux normes, ne signifie pas qu'elle est exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre la santé du consommateur en danger.

En outre, les pollutions des nappes par les rejets domestiques, industriels et agricoles qui ne sont pas traités avant de les rejeter dans les cours d'eau, il s'agit de phénomène de la dégradation de la qualité de l'eau, il nous appartient de déterminer l'étendue de ce déséquilibre, de réfléchir aux causes pour mieux en comprendre l'ampleur, ces dégradations réduisent les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés. il nous appartient aussi de proposer certaines solutions.

Le bassin de Guelma a connu une urbanisation rapide et un développement industriel marqué, par conséquent, ce développement socio-économique s'accompagne d'une augmentation des débits des rejets des eaux usées, et du degré de pollution des eaux de surfaces et souterraines.

Les travaux réalisés (mouassa.s. 2017, guettaf.m. 2015) montrent que les eaux de la plaine de Guelma et surtout celles de l'oued Seybouse indiquent une dégradation de leur qualité, cette dégradation est provoquée par les différents apports issus des rejets (industriels, domestiques et agricoles), le retour des eaux d'irrigation constitue également une source de pollution avérée, en effet, les engrais utilisés vont percoler vers la nappe suite aux irrigations et vont revenir dans les eaux et accentuer le risque de pollution.

La nappe alluvionnaire de Guelma est située dans la vallée d'oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. elle est sillonnée par l'oued Seybouse d'ouest en est, depuis Medjez Amar jusqu'à nador.ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et des apports latéraux du bassin versant de Guelma, elle est actuellement exploitée par **25 forages** qui sont destinés que ce soit en AEP et à AEI, ou à irrigation, mobilisant un débit de **432 l/s** et un débit d'exploitation réel pour la population est de **165 l/s**, la profondeur de la nappe varie d'un endroit à l'autre.

ce travail a pour objectif de déterminer à travers les résultats obtenus des analyses des différents paramètres physico-chimiques, de pollution, de minéralisation globale et d'éléments indésirables d'identifier les eaux des forages et puits pollués appropriés pour la consommation humaine, notre problématique est clairement de déterminer la qualité des sources pour pouvoir l'exploiter antérieurement.

Pour pouvoir approcher et cerner cette problématique, et atteindre l'objectif de l'étude, nous avons développés les chapitres suivants :

- **le premier chapitre** : généralités sur l'eau souterraine;
- **le deuxième chapitre** : caractère hydrogéologique;
- **le troisième chapitre** : paramètres de qualités des eaux souterraines;
- **le quatrième chapitre** : cadre physique de la zone d'étude et hydroclimatologie;
- **le cinquième chapitre** : résultats et discussions;
- et on a terminé avec une conclusion.

Chapitre I :
Revue bibliographique sur
l'eau

Chapitre I :

Revue bibliographique sur l'eau

1.1 Introduction :

La gestion rationnelle des ressources en eau douce est une des principales préoccupations des sociétés humaines, que cette ressource soit abondante, qu'elle l'ait été, mais se raréfie ou qu'elle ait toujours plus ou moins manqué, l'eau est maintenant partout considérée comme un bien précieux, la gestion de l'eau s'articule autour d'un certain nombre de points portant sur :

- ➔ la fourniture d'eau potable aussi bien dans les villes que les campagnes, aussi bien dans les agglomérations structurées que dans les extensions périurbaines, voire les bidonvilles.
- ➔ l'assainissement et le traitement des eaux usées. l'approvisionnement des populations en eau potable et le traitement de leurs eaux usées sont les conditions pour prévenir les maladies d'origine hydrique.
- ➔ prévention des pollutions chroniques ou accidentelles d'origine domestique, agricole ou industrielles seul moyen de protéger la ressource d'eau alimentaire d'abord, mais aussi les hydro systèmes aériens ou souterrains et les équilibres floristique ou faunistiques qu'il s'abritent
- ➔ l'approvisionnement en eau des industries et de l'agriculture qui fournissent les biens de consommation, les énergies et les aliments nécessaires aux populations.
- ➔ la lutte contre les risques naturels liés à l'eau: inondations, coulées de boue, érosion, aridité, sécheresse, feux de forêt, etc.
- ➔ le maintien des activités " aquatiques " qui vont du transport fluvial à la pêche professionnelle en passant par une grande variété d'activités de loisir : baignade, canotage, pêche de loisir, etc. [1]

1.2 Définition de l'eau :

C'est une substance naturelle, souvent liquide et inodore, incolore, et sans saveur à l'état pure, de formule chimique H_2O , et peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, ou gazeux), l'eau est l'un des agents ionisants les plus connus, on l'appelle fréquemment le solvant universel [2].

La composition chimique de l'eau naturelle varie énormément d'une région à l'autre et pour une même région d'une saison à l'autre, ces variations chimiques dépendent de plusieurs paramètres comme la solubilité des sels constituant l'écorce terrestre ($CaCO_3$, $CaSO_4$, $MgCO_3$, $NaCl$), ainsi la composition physique des roches.

notre planète est très aqueuse, donc vue de l'espace, la terre semble bleue car l'océan couvre près des trois quarts (70%) de la surface de la terre. la totalité de l'eau sur terre sous forme liquide, solide ou gazeuse représente un volume de **1,4 milliard** de kilomètres cubes.

Cependant, la majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans l'océan et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'homme.

L'eau douce n'est que de 3% et inquiète:

- ▶ essentiellement des glaciers de montagne
- ▶ eau souterraine douce (moins de 1 %, la plupart des eaux souterraines sont salées et donc non douces).
- ▶ eaux de surface (cours d'eau, pergélisol, marécages et lacs d'eau douce : 0,03 %).
- ▶ atmosphérique (0,001 %) ; biologique (0,0001 %). la moitié de cette eau douce représente l'eau disponible pour l'usage humain, et seulement 0,3 % de l'eau de la terre, soit 4 millions de kilomètres carrés. [3]

L'eau est presque omniprésente sur terre et est essentielle à tous les êtres vivants connus, les masses d'eau peuvent être des océans, des mers, des lacs, des rivières, le cycle de l'eau dans les différents compartiments terrestres est décrit par son cycle hydrologique, le cycle de l'eau (**figure : 1.1**). [4]

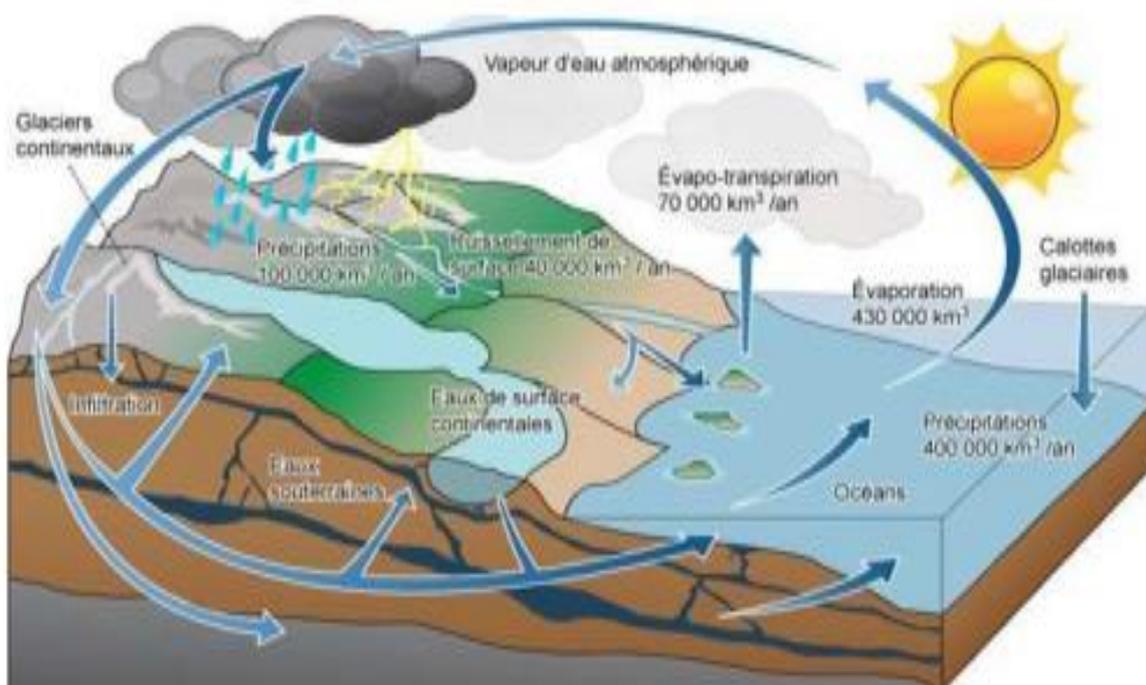


Figure 1.1: Cycle de l'eau.

1.3 Les sources naturelles de l'eau :

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer. [5]

Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant.

Les eaux naturelles contiennent des substances dissoutes, principalement des sels minéraux provenant des couches géologiques que l'eau a traversées.

On retrouve aussi, à l'état de trace, du manganèse, du fer, du zinc, du cobalt, du plomb.

Le corps humain est arrangeant : il accepte une très grande variation de composition d'eau.

Nos cellules et notre sang contiennent des électrolytes (des sels).

1.3.1 Les eaux souterraines :

Sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol et se caractérise par une turbidité faible ou leurs eaux bénéficient de filtration naturelle important car elles sont habituellement à l'abri des sources de pollution, elles sont enfouies dans le sol. [6]

Les principales caractéristiques de ces eaux sont :

- ▶ contamination bactérienne faible
- ▶ turbidité faible ;
- ▶ température constante ;
- ▶ indice de couleur faible ;
- ▶ débit constant ;
- ▶ dureté souvent élevée ;
- ▶ concentration élevée de fer et de manganèse.

1.3.2 Eaux de surfaces :

Par opposition aux eaux souterraines, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol, qualifie toutes les eaux naturellement ouvertes sur l'atmosphère, dans une zone donnée, il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, les fleuves, les mers, des océans, des lacs de barrage, les retenues collinaires et des eaux de ruissellement qui s'y trouvent, le terme s'applique également aux sources, aux puits et autres collecteurs d'eau qui subissent directement l'influence des eaux superficielles.

Sa température varie en fonction du climat et des saisons, ces matières en suspension sont variables selon la pluviométrie, la nature et le relief des terres à son voisinage. sa composition en sels minéraux est variable en fonction du terrain, de la pluviométrie et des

rejets. Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone. [5]

Tableau 1.1: principales différences entre eaux de la surface et eaux souterraines.

caractéristiques	eaux de surface	eaux souterraines
température	variable suivant les saisons	relativement constante
turbidité	variable, parfois élevée	faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
couleur	liée surtout aux matières solides sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	liée surtout aux matières en solution (acides humiques...)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	Sensiblement constante en général nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fer et manganèse dissous	Généralement absents	Généralement présents
nitrate	peu abondants en général	teneur parfois élevée
micropolluants minéraux et organiques	présents dans les eaux des pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.	généralement absents mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
éléments vivants	bactéries, virus	virus, bactéries fréquentes

1.3.3 Eaux de mers et eaux saumâtres :

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97.4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles), les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « *eaux saumâtres* », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement. [6]

La salinité observée dans les différents océans ou mers du globe résulte d'un équilibre entre évaporation, pluies et apport des fleuves (salinité faible) d'une part et d'échange d'eau avec les autres mers ou océans auxquels ils sont reliés d'autre part. [7]

Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer, la concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre **1** et **10 g/l** alors qu'elle est (en moyenne) de **35 g/l** pour l'eau de mer, dans les estuaires maritimes, la conjonction des courants d'eau douce avec l'eau de mer donne naissance à des poches d'eau saumâtre.

1.4 Chimie de l'eau :

1.4.1 Structure de l'eau :

La molécule d'eau est une molécule exceptionnelle dont les propriétés particulières liées à sa nature dipolaire, ont permis la vie sur la terre, l'eau chimiquement pure n'existe donc pas hors des laboratoires, comme elle solubilise les impuretés, l'eau lave bien et se salit facilement, pour être propre à la consommation, l'eau doit contenir un peu de sels minéraux, la formation de liaisons hydrogènes entre les molécules explique que, sous nos conditions de température et de pression, il existe une phase liquide abondante sur notre planète, la molécule d'eau, de formule H_2O (**figure 1.2**) est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène liés à l'atome d'oxygène par deux liaisons de covalence, sa masse molaire est de **18g**. [8]

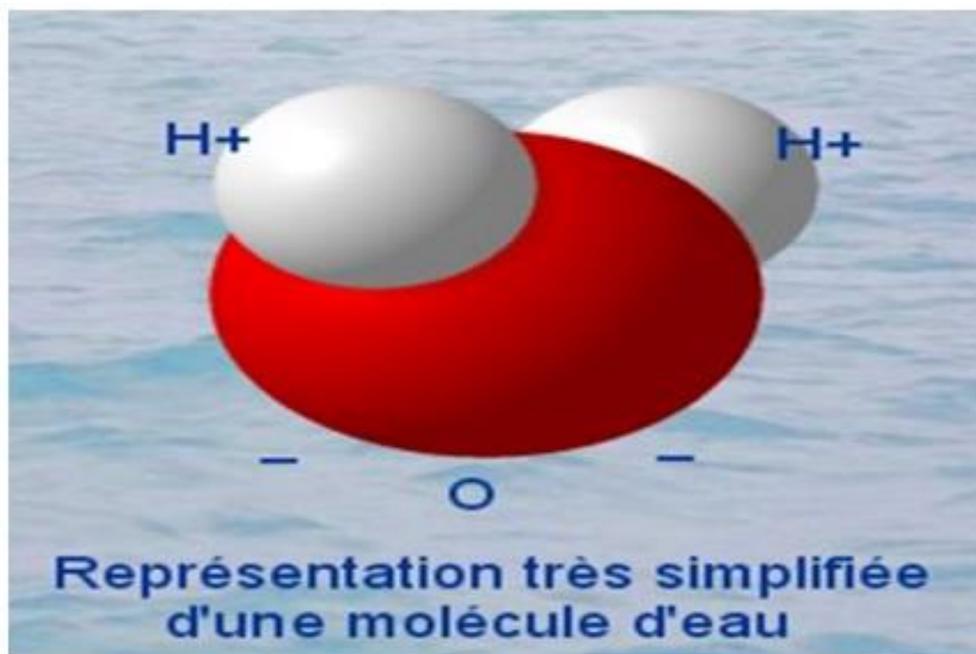


Figure 1.2: forme de la molécule d'eau.

L'eau existe sous trois états : solide, liquide et gazeux. il est solide quand la température est inférieure à 0 °C, liquide entre 0 °C et 100 °C, et gaz quand la température est supérieure à 100 °C, ces trois phases coexistent dans la nature (**figure 1.3**), toujours observables deux à deux, et plus ou moins en équilibre : eau glace, eau- vapeur, glace- vapeur selon les conditions de température et de pression, l'eau décrit la substance dynamique formée par de petites molécules, dépourvue de goût, de couleur et d'odeur.

- ➔ **l'état solide:** c'est la glace, les molécules d'eau sont parfaitement organisées de façon à former quelque chose de dur et solide.

- ➔ **l'état liquide:** c'est l'eau des rivières, de l'océan, du robinet, même des nuages, les molécules d'eau sont un peu dans tous les sens, mais assez proches les unes des autres.
- ➔ **l'état gazeux :** c'est de l'eau qui n'est pas visible à l'œil nu. il y en a partout dans l'air que l'on respire. les molécules d'eau sont désordonnées et très espacées les unes des autres.

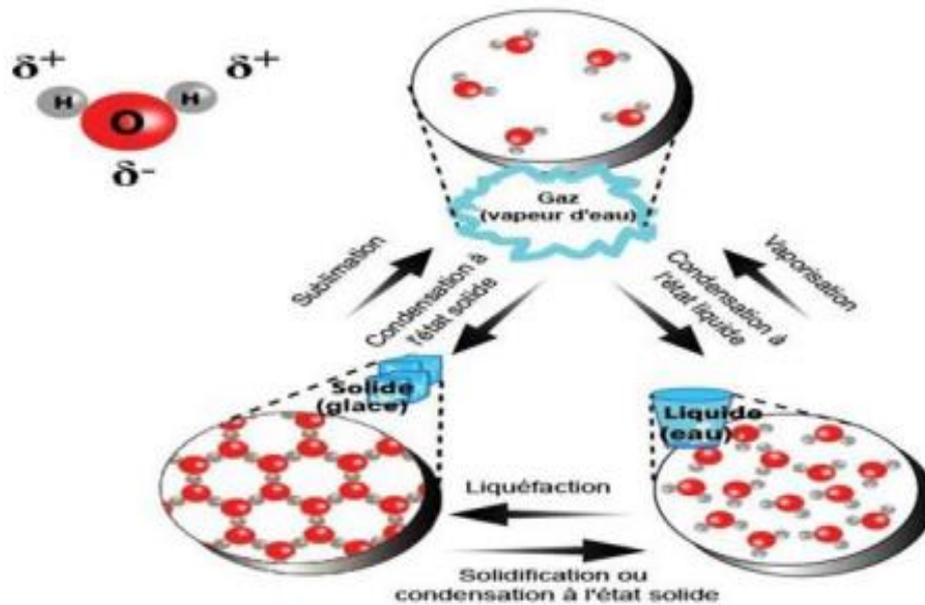


Figure 1.3: Etats physiques de l'eau.

1.4.2 Propriétés de l'eau :

1.4.2.1 Propriétés physiques de l'eau :

L'eau sur terre a une phase liquide particulièrement importante avec les principales propriétés physiques suivantes :

✚ point d'ébullition :

Dans les phases liquide et solide de l'eau, les liaisons hydrogène maintiennent fermement les molécules ensemble. c'est parce que ces liaisons doivent être rompues que l'eau a un point d'ébullition particulièrement élevé pour les molécules de cette masse molaire, cette propriété de l'eau permet l'existence d'une phase liquide importante aux températures que nous connaissons sur terre, cette phase liquide est nécessaire à l'émergence et au maintien de la vie telle que nous la connaissons sur cette planète.

+ Viscosité :

La viscosité de l'eau varie considérablement en fonction de sa composition chimique et de sa température, de sorte que deux eaux peuvent être non miscibles, ce phénomène est la continuité des courants océaniques qui régulent les climats planétaires est particulièrement importante.

+ Solvant :

L'eau est le solvant le plus important à la surface de la terre, par conséquent, il traite les minéraux et les matières organiques qu'il traverse et les dissout.

+ Tension :

La tension superficielle de l'eau est très élevée, cette propriété permet la formation de gouttes et favorise l'ascension capillaire.

+ chaleur spécifique :

L'eau est l'élément naturel dont la chaleur spécifique est la plus élevée : $4185 \text{ j}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{k}^{-1}$, elle demande donc beaucoup d'énergie pour être réchauffée et pour être refroidie.

+ chaleur latente :

Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont élevées, comme l'énergie est prélevée sur le substrat on comprend que le phénomène d'évaporation de l'eau vers l'atmosphère refroidisse continuellement les océans, ces caractéristiques expliquent que l'hydrosphère liquide agisse comme un tampon thermique qui régularise la température terrestre.

+ capacité thermique :

L'eau présente une très grande capacité thermique de tous les fluides, du fait de cette capacité, les masses d'eau agissent comme des tampons ou régulateur contre les changements élevés de température.

+ Transparence :

L'eau est transparente dans le spectre visible, mais elle absorbe le rayonnement infrarouge dès les premiers mètres d'épaisseur, ce qui explique que seules les eaux superficielles se réchauffent. [9]

1.4.2.2 Propriétés chimiques de l'eau :

L'eau est un excellent solvant pour dissoudre de grandes quantités de sels, de gaz et de molécules organiques, les réactions chimiques de la vie se déroulent en milieu aqueux, ces organismes sont très abondants en eau (jusqu'à plus de **90%**), il a longtemps été considéré comme un solvant neutre qui ne participe guère aux réactions chimiques, la dilution avec de l'eau ralentit surtout l'activité du réactif. en fait, l'eau est un produit chimique très agressif qui peut attaquer les parois du récipient dans lequel elle est contenue, comme dans les bouteilles

en verre, où les ions de silicium traversent l'eau. d'un point de vue réglementaire, l'eau pure peut exister, c'est-à-dire une eau exempte de bactéries et de contaminants chimiques, mais d'un point de vue chimique, elle n'existe pas réellement (même l'eau distillée contient des traces prélevées dans les tuyaux et les conteneurs d'ions ou de molécules organiques).

1.4.2.3 Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions favorables au développement des êtres vivants, il existe un cycle biologique au cours duquel se produisent une série d'échanges dus à l'eau, c'est le composant principal (en volume) des êtres vivants, en particulier le protoplasme de toutes les cellules, l'eau constitue également la majeure partie de notre alimentation (**70 à 95 %** de la plupart de nos viandes, fruits et légumes), on peut voir que "*l'eau c'est la vie*". [9]

1.5 La pollution de l'eau :

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités, elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatique et elle compromet les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique.

1.5.1 Origine de la pollution :

1.5.1.1 L'industrie :

Les activités industrielles rejettent un bon nombre de substances qui vont polluer nos rivières et nos nappes, parfois d'une manière intensive que l'on n'en connaît pas les effets à long terme. [10]

Les rejets industriels renferment des produits divers sous forme insoluble ou soluble d'origine minérale ou organique, à caractère plus ou moins biodégradable et par fois toxique même à très faible concentration, selon l'activité industrielle, on va donc retrouver des pollutions aussi diverses que :

- ▶ des matières organiques et des graisses (abattoirs, industries agro-alimentaires.) ;
- ▶ des hydrocarbures (industries pétrolières, transports) ;
- ▶ des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- ▶ des acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...) ;
- ▶ des eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques) ;
- ▶ des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

1.5.1.2 L'agriculture :

L'agriculture, l'élevage, et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines, l'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses des ressources en eau, lorsque l'on considère les pollutions d'origine agricole, il faut englober à la fois celles qui ont trait aux cultures et à l'élevage. [11]

Les activités agricoles sont, en particulier, largement impliquées dans les apports d'azote et, surtout, de ses dérivés, nitrates et nitrites, que l'on trouve en forte concentration dans les engrains chimiques azotés et phosphorés, des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures, ces produits parfois toxiques lorsqu'ils sont utilisés en excès vont contaminer en période de pluie les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration.

1.5.1.3 Pollution domestique :

Due principalement aux rejets domestiques (eaux de lavage, huiles de vidange, matières fécales, etc.), nos eaux usées urbaines sont constituées de matière organique biodégradable certes mais de grandes consommatrices d'oxygène, de germes pathogènes et de produits chimiques. [12]

Les matières organiques que nous rejetons dans les eaux usées proviennent principalement de nos excréments (urines et matières fécales) évacués par les eaux des vannes (eaux des toilettes), elles contiennent des nombreux micro-organismes, plus ou moins pathogènes. les pollutions qu'elles engendrent sont doublement problématiques : en raison de leur impact en matière de santé publique et parce qu'elles perturbent les écosystèmes, cette pollution présente un danger pour les écosystèmes aquatiques, dans l'eau, en présence d'oxygène, les micro-organismes dits aérobies dégradent la matière organique en composés minéraux, en consommant au passage cet oxygène, par le processus d'oxydation, ainsi, lorsqu'une eau usée, très riche en matières organiques, est rejetée sans traitement préalable dans les eaux de surface, les micro-organismes aérobies utilisent alors une grande partie de l'oxygène dissous dans l'eau, provoquant la diminution de la quantité d'oxygène disponible pour les autres organismes aquatiques, or la vie aquatique dépend de la teneur en O₂ dissous dans l'eau, ce phénomène d'asphyxie perturbe donc l'écosystème aquatique dans son ensemble.

1.5.1.4 Pollutions par les eaux pluviales :

Il ne faut pas oublier par ailleurs la pollution générée par les eaux pluviales, l'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles).

1.5.1.5 Pollution d'origine naturelle :

Certaines substances naturellement présentes dans l'environnement entraînent parfois des problèmes de contamination de l'eau potable, des composés inorganiques comme le

baryum, l'arsenic, les fluorures, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium et les cyanures peuvent contaminer l'eau potable.

L'eau souterraine est particulièrement vulnérable lors qu'il y a présence de métaux dans les formations géologiques environnantes. [13]

1.5.1.6 La pollution par les hydrocarbures (pollution pétrolière) :

Elle est généralement accidentelle à l'image des naufrages des pétroliers (marées noire). Le pétrole est un composant organique biodégradable qui s'élimine facilement s'il est en faible quantité, mais en cas de marée noire la concentration est trop importante pour les capacités d'autoépuration de milieu, cependant une large part de la pollution pétrolière est voltaire elle est due aux opérations de vidange ou dégazage des pétroliers en haute mer.

1.5.2 Les principaux polluants des eaux naturelles :

1.5.2.1 Polluants physiques :

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau, ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

- ➡ les éléments grossiers.
- ➡ les sables.
- ➡ les matières en suspension (MES).

1.5.2.2 Polluants chimiques :

La pollution chimique d'une eau est autrement plus complexe et peut provenir des plusieurs sources.

On distingue selon la nature de la pollution chimique :

- ▶ les éléments chimiques minéraux.
- ▶ les éléments chimiques organiques.

une eau naturelle pure par définition c'est une eau qui renferme des sels minéraux dissous et dissociés en cations et anions ne contenant ni matière en suspension ou colloïdale, et ni matières organiques, la corrosion des métaux et dissolution des acides et des bases sont des phénomènes qui donnent lieu à des eaux de rejets caractérisées par certaines formes de pollution dont les plus représentatives sont :

- ➡ la température
- ➡ le pH
- ➡ les sels

➡ les métaux lourds :

- ▶ calcium (Ca^{2+})
- ▶ magnésium (Mg^{2+})
- ▶ sodium (Na^+)
- ▶ potassium (K^+)
- ▶ les chlorures (Cl^-)
- ▶ les sulfates (SO_4^{-2})
- ▶ l'aluminium (Al^{+3})
- ▶ phosphore (PO_4^{-3})
- ▶ les nitrates (NO_3^-)

✚ les matières organiques :

La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux et des microorganismes, il est donc difficile d'en donner une description précise ou une composition moyenne, elle participe à beaucoup des paramètres de qualité de l'eau: couleur, sous produits des désinfections, odeurs, saveurs...etc.

✚ les matières en suspension :

Elles sont hétérogènes et des formes variées, dans une taille supérieure à $10\mu\text{m}$.

- ▶ dans les eaux de forage :

Se sont fin, le fer oxyde, et quelques algues.

- ▶ dans les eaux de rivières :

Il ya des matières volumineuses foulantes et indécassables et les matières fines comme les sables, les argiles, les débris végétaux et animaux. [12]

✚ les matières dissoutes :

Se sont des matières dispersées de façon homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. [12]

✚ les matières colloïdales :

Sont des particules en suspension de l'ordre de **0.1 à $2\mu\text{m}$** .ont une surface spécifique considérable et charge électronégative.

1.5.2.3 Polluants microbiologiques :

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites), il est dangereux pour la santé humaine, et limite donc les usages que l'on peut faire de l'eau.

1.6 Les paramètres de qualité des eaux :

1.6.1 Les paramètres organoleptiques :

Les paramètres organoleptiques correspondent à la perception de la qualité de l'eau par les sens, essentiellement la vue ; le goût et l'odorat ces paramètres sont importants pour le plaisir du consommateur mais peuvent également, dans certains cas, être en relation avec la qualité hygiénique du produit. La détermination de ces paramètres est subjective car par définition, elle fait appel aux sens qui sont différents d'un individu à l'autre. Cependant, les méthodes normalisées s'appuient sur des méthodologies les plus précises possibles, pour éviter une trop grande variabilité entre les laboratoires, par exemple, pour les paramètres visuels, on utilise des appareils de mesure de la lumière qui traversent l'échantillon, remplaçant ainsi la perception visuelle.

Ces paramètres sont :

- ▶ la turbidité
- ▶ la couleur
- ▶ goût et odeur

1.6.2 Paramètre physico-chimique :

Ces sont ceux qui font l'identité de base de l'eau, ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique, qui permet d'avoir une idée de la salinité de l'eau, et le titre alcalimétrique, qui permet d'apprécier la concentration de tous les carbonates et bicarbonates dans l'eau.

Ils sont :

- ▶ la température.
- ▶ la dureté.
- ▶ le pH.
- ▶ l'alcalinité.
- ▶ la conductivité.

1.6.3 Les paramètres indésirables :

sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit causé des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...), on surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrate et la concentration en fer.

1.6.3.1 Les matières organiques :

- ▶ l'oxydabilité au permanganate de potassium ($KMnO_4$).
- ▶ absorbance UV 254 nm.
- ▶ le carbone organique total (COT).

1.6.3.2 L'azote :

L'élément azote existe principalement sous forme ionique, à savoir NH_4^+ , NO_2^- , et NO_3^- la pollution en ions NH_4^+ existe principalement pour les eaux de surface, leur oxydation conduit à la formation d'ions NO_2^- , ils sont en équilibre avec la forme gazeuse NH_3 , ces deux espèces sont très toxiques pour la faune aquatique et problématique pour la santé publique.

1.6.3.3 Le fer :

Le fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance, il s'emploie largement dans la métallurgie et ses utilisations secondaires dans la chimie sont très variées dans les eaux bien aérées, sa concentration est rarement importante en revanche, dans les eaux souterraines, on peut observer de fortes teneurs en fer quand les conditions de solubilisation sont réunies.

1.6.3.4 Les hydrocarbures dissous :

Les hydrocarbures (ou huiles minérales) rencontrés dans les eaux brutes proviennent, hormis les hydrocarbures d'origine naturelle, d'effluents divers : usines à gaz, pétrochimie, ateliers de mécanique, bitumes, mais aussi de fumées dont les particules sont entraînées par les eaux des pluies, la biodégradabilité des hydrocarbures est lente dans l'environnement.

1.6.3.5 Les métaux lourds ou éléments en trace métalliques:

Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique, l'appellation métaux lourds est cependant une appellation courante qui n'a pas de fondement scientifique, ni application juridique, les métaux lourds sont présents dans

tous les compartiments de l'environnement, mais en général en quantités très faibles, on dit que les métaux sont présents " en traces ", ils sont aussi " la trace " du passé géologique et de l'activité de l'homme. les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout l'arsenic, le cadmium, le plomb et le mercure, ils ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante et sur l'homme comme suit [14]:

- ▶ fer (Fe) et manganèse (Mn)
- ▶ chrome (Cr) et étain (Sn^{+4})
- ▶ zinc (Zn^{+2})
- ▶ plomb (Pb^{+2})
- ▶ aluminium (Al^{+3})
- ▶ nickel (Ni^{+2})
- ▶ cuivre (Cu^{+2})
- ▶ cadmium (Cd^{+2})

1.6.4 Les paramètres toxiques :

Une pollution industrielle du captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière.

Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds : chrome, cadmium, nickel...) ainsi que de substances telles que les cyanures, ou des molécules organiques présentant une action d'inhibition des mécanismes biologiques.

Tableau 1.2 : représente la toxicité des métaux lourds. [15]

particules	toxicité
plomb	troubles du système nerveux, affection du foie.
cadmium	cadmium affections respiratoires, troubles rénaux.
mercure	troubles du système nerveux.
nickel	maladies respiratoires, asthme, malformations.
chrome	cancer, troubles dermatologiques, anémie.

1.6.5 Les caractéristiques biologiques :

L'eau potable ne doit contenir aucun microorganisme pathogène et être exempte de toute bactérie indiquant une pollution par excréments, le principal indicateur bactérien recommandé pour suivre la pollution humaine est constitué par l'ensemble des microorganismes du groupe coliformes, une eau qui est porteuse d'un seul (*Escherichia coli*) par 100ml devient potentiellement dangereuse, ce point est important, car le critère de potabilité de l'eau se fixe partir de la présence ou de l'absence de ces germes témoins. [15]

1.7 Conclusion :

L'eau est un élément nécessaire pour toute survie sur terre, constitue une base pour le développement humain, l'eau est un vecteur de diverses maladies, en Algérie, les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes, nombre de villes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable.

Les problèmes d'approvisionnement en eau potable en Algérie présentent des dimensions à la fois quantitatives (augmentation de la consommation) et qualitatives (contamination sous son influence).

Chapitre II:

Caractère hydrogéologique

Chapitre II: Caractère hydrogéologique

2.1 Introduction :

L'hydrogéologie s'occupe de la distribution et de la circulation de l'eau souterraine dans le sol et les roches, en tenant compte de leurs interactions avec les conditions géologiques et l'eau de surface.

Les études hydrogéologiques reposent sur les sciences de la terre : la géologie et l'hydrologie, mais aussi sur la physique, la chimie, la biologie, l'hydraulique souterraine, l'analyse numérique, les techniques de modélisation, mais aussi du forage (sondage, essais in-situ, carottages, piézomètres...)

Les études hydrogéologiques ont pour but, d'une part, de mettre en évidence les problèmes posés par la présence d'eau souterraine, et d'autre part, de fournir tous les éléments nécessaires de connaissance sur les nappes et les écoulements.

2.2 Quelques définitions :

2.2.1 Eaux souterraine :

On entend par « eau souterraine » l'eau qui se trouve sous le niveau du sol et qui remplit soit les fractures du socle rocheux, soit les pores présents dans les milieux granulaires tels les sables et les graviers, contrairement à l'eau de surface, l'eau souterraine n'est pas canalisée comme un ruisseau ou une rivière, mais elle circule en profondeur dans les formations géologiques qui constituent l'espace souterrain, l'eau souterraine est une composante importante du cycle hydrologique; l'eau provenant des précipitations s'infiltré dans le sol, circule verticalement jusqu'à la zone de saturation (nappe phréatique) et se déplace vers la zone naturelle de résurgence (les cours d'eau) située en aval. [16]

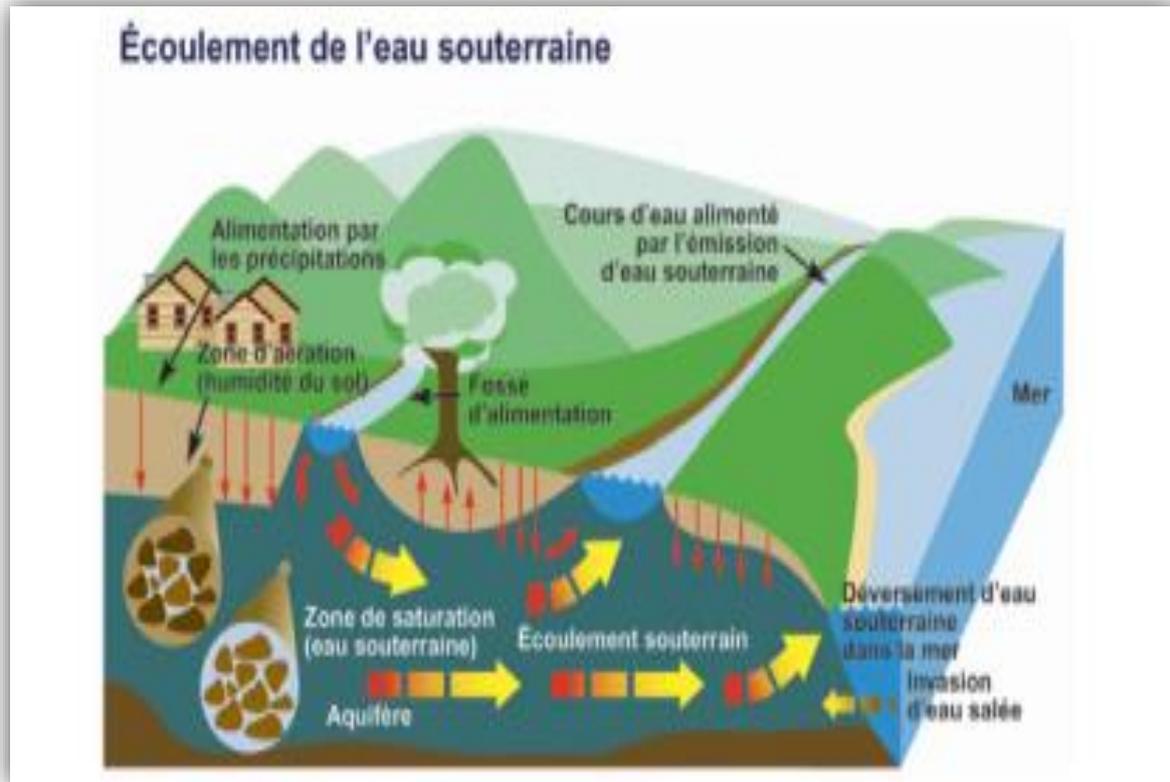


Figure 2.1: Ecoulement de l'eau souterraine.

Dans le milieu poreux, on considère deux types d'eau :

➡ l'eau de gravité, entraînée par la pesanteur, circule dans les pores grossiers et moyens. Elle représente la fraction mobile dans le sol et contribue aux transferts de matière en solution et en suspension. [17].

➡ l'eau de rétention qui est la fraction de l'eau souterraine, maintenue dans les vides à la surface des grains ou des parois des microfissures, par des forces supérieures à celles de la gravité, elle n'est donc pas mobilisable, attirée fortement à la surface du solide, elle fait corps avec lui et appartient physiquement et mécaniquement à la même phase de l'aquifère, réservoir/eau de rétention.

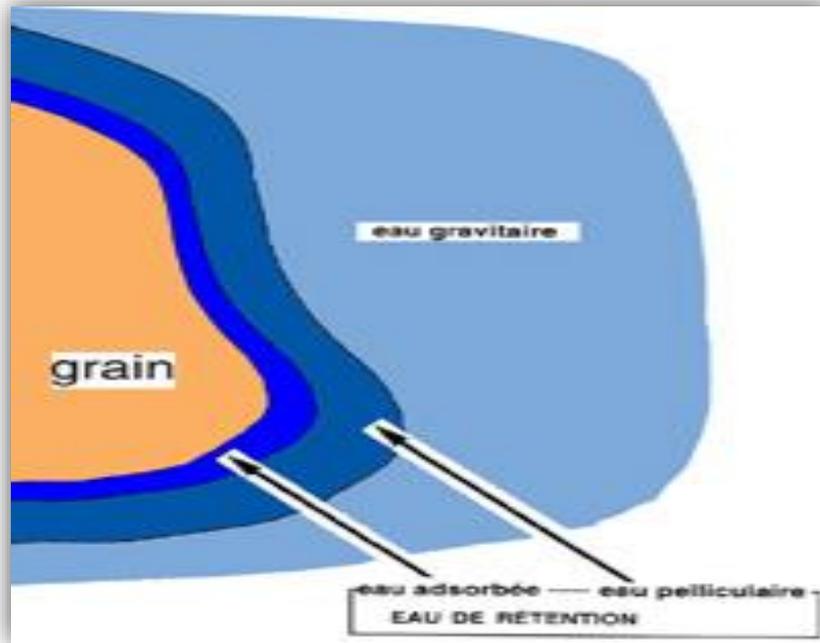


Figure 2.2: Les états de l'eau dans le sol.

2.2.2 Définitions d'un aquifère :

Un aquifère est une formation géologique (ou encore un corps de roche) suffisamment poreuse et perméable pour contenir de l'eau dans les vides de la matière, il comporte une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable

Il contient une nappe d'eau (douce) : l'aquifère est le contenant et la nappe, le contenu qui peut être considéré comme une réserve exploitable par l'homme.

Un aquifère est donc un réservoir (roche) contenant de l'eau (nappe)

Aquifère = réservoir + eau

Il peut comporter une zone non saturée, l'aquifère est homogène quand il a une perméabilité d'interstices (sables, graviers); la vitesse de percolation y est lente, il est hétérogène avec une perméabilité de fissures (granite, calcaire karstique); la vitesse de percolation est plus rapide.
[18]

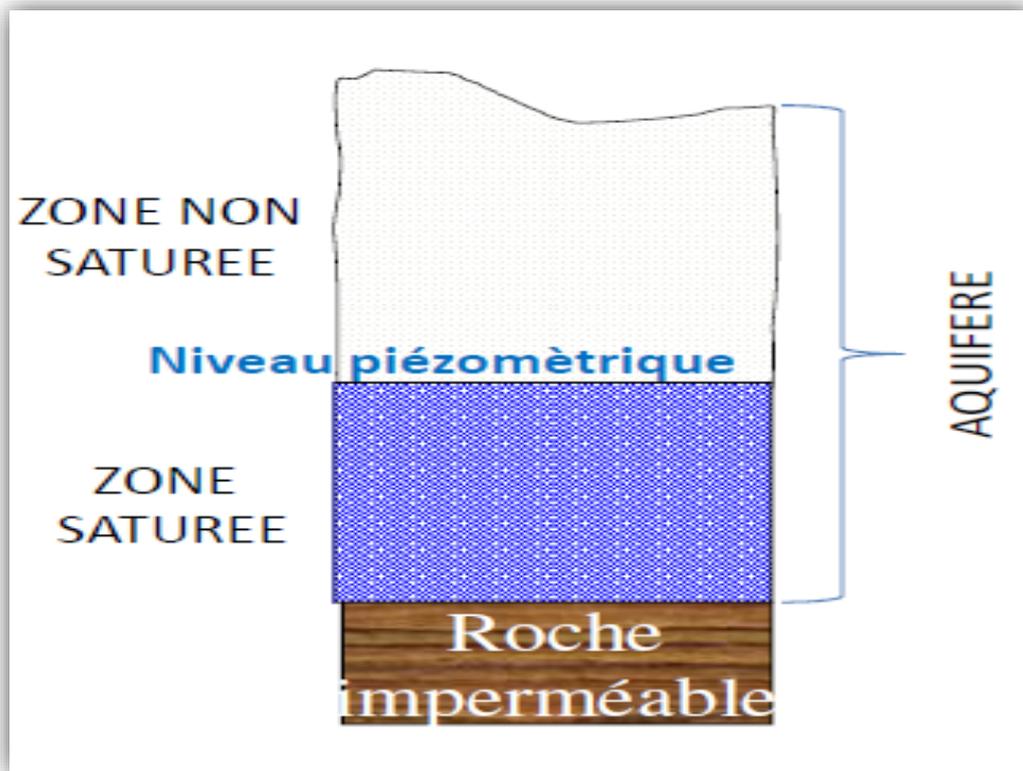


Figure 2.3: Représentation d'un aquifère.

2.2.3 Notion de nappe d'eau souterraine :

C'est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère à porosité d'interstice ou de fissure, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique.

Une nappe c'est l'ensemble des eaux souterraines occupant les terrains perméables dont le quel elle se trouve en communication facile, en distingue en général :

- les nappes d'interstices : des terrains perméables en petit (sable, graviers,...)
- les nappes de fissures et de chenaux : des terrains perméables en grand (gypse, calcaire, granite,...).

Les éléments constituant une nappe sont le **substratum** et l'**aquifère**.

La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau, les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers du débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12 000 kilomètres cubes d'eau par an.

Le niveau de l'eau souterraine, au-dessous duquel les roches ou sédiments sont saturés, est appelé nappe phréatique, on trouve aussi de l'eau au-dessus de la nappe phréatique, dans la zone non saturée, par exemple sous forme d'eau du sol, mais cette eau n'est normalement pas exploitée par l'homme et on ne pas la considérée comme une eau souterraine (**figure 2.4**).

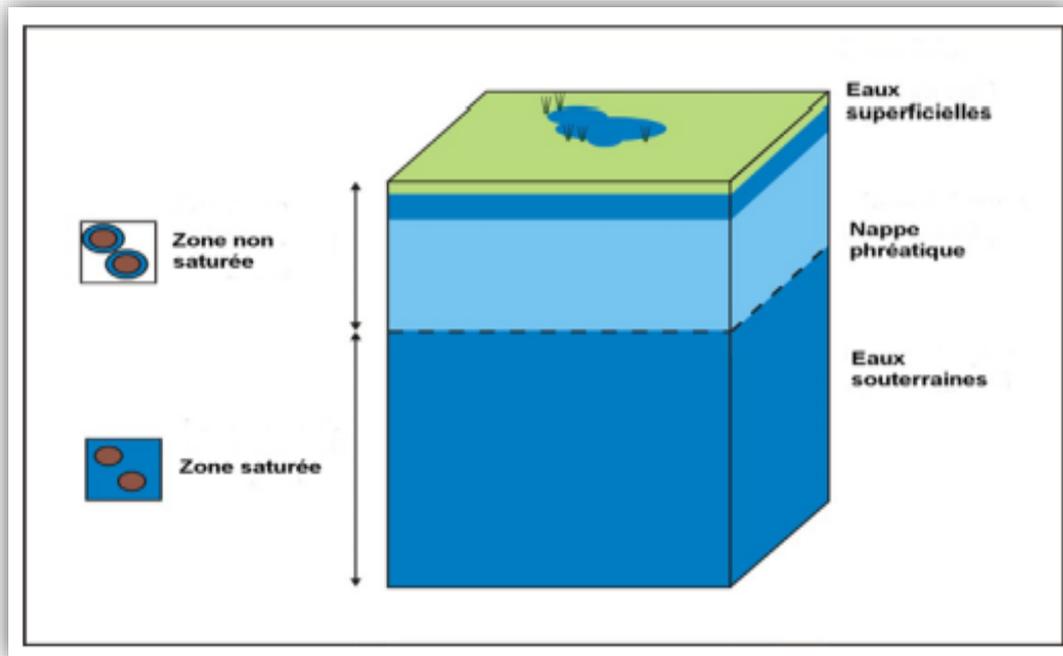


Figure 2.4: présentation des eaux souterraines. [3]

2.2.4 Capturer une source :

C'est capturer et exploiter l'émergence d'une nappe, dont le comportement est toujours particulier et sujet à modification (**figure 2.5**), mais un captage ne se résume pas à la seule chambre de captage, dont, c'est bien sûr drainer et concentrer, mais c'est aussi distribuer une eau de bonne qualité pour chacune des utilisations traditionnelles de la communauté boisson, lessive, toilette, abreuvement, irrigation, la réussite du captage dépend donc beaucoup de la qualité des aménagements, la qualité sanitaire, en particulier, est liée à la protection de l'eau et des ouvrages.

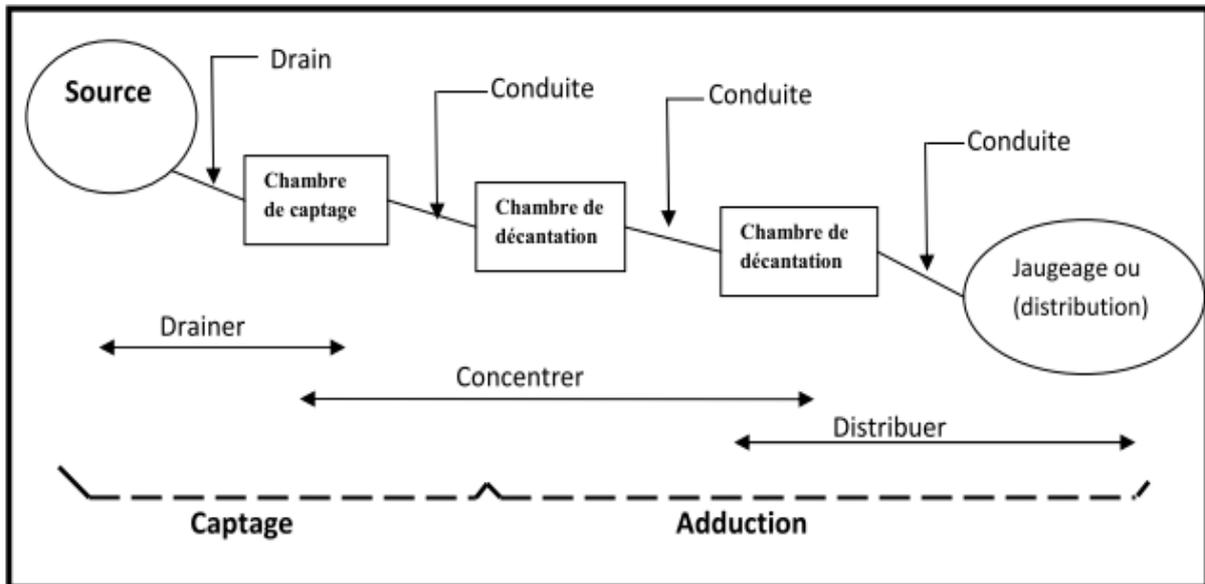


Figure 2.5: les éléments d'une source aménagée.

2.3 Les principaux types d'aquifère :

Une source est généralement caractérisée par son mode d'apparition localisé ou diffus, et par le lieu topographique de son émergence : haut, milieu, bas de pente, rupture de pente, changement géologique,etc.

2.3.1 Aquifère à nappe libre :

Les aquifères souterrains peuvent être divisés en deux types, selon qu'ils coulent sous une couche perméable, les aquifères situés sous un sol perméable sont dits libres. Au-dessus de la nappe phréatique, en effet, les pores d'un sol perméable ne sont que partiellement remplis d'eau, le sol n'est pas saturé sur toute son épaisseur et l'eau de pluie peut toujours pénétrer plus loin, de plus, la nappe phréatique peut être relevée ou abaissée à volonté, ainsi, ces aquifères peuvent contenir des volumes d'eau variables.

Le niveau de la nappe est appelé **niveau piézométrique**, l'ensemble des niveaux piézométriques mesurés en différents points à une date donnée, détermine la surface piézométrique, elle est représentée par des courbes d'égal niveau piézométrique ou courbes hydro isohypses, la surface piézométrique représente la limite supérieure de l'aquifère, c'est la limite hydrodynamique. [20].

Dans le cas d'un aquifère à nappe libre, le niveau statique se trouve toujours sous le niveau du sol.

Cette nappe se caractérise par :

- ➔ contact direct avec l'atmosphère
- ➔ recharge (alimentation) rapide
- ➔ pas de protection naturelle face aux pollutions de surface

Les nappes libres facilement atteinte par sondage ou puits domestique sont aussi appelées nappes phréatiques c'est le cas des eaux contenues dans les alluvions de vallées.

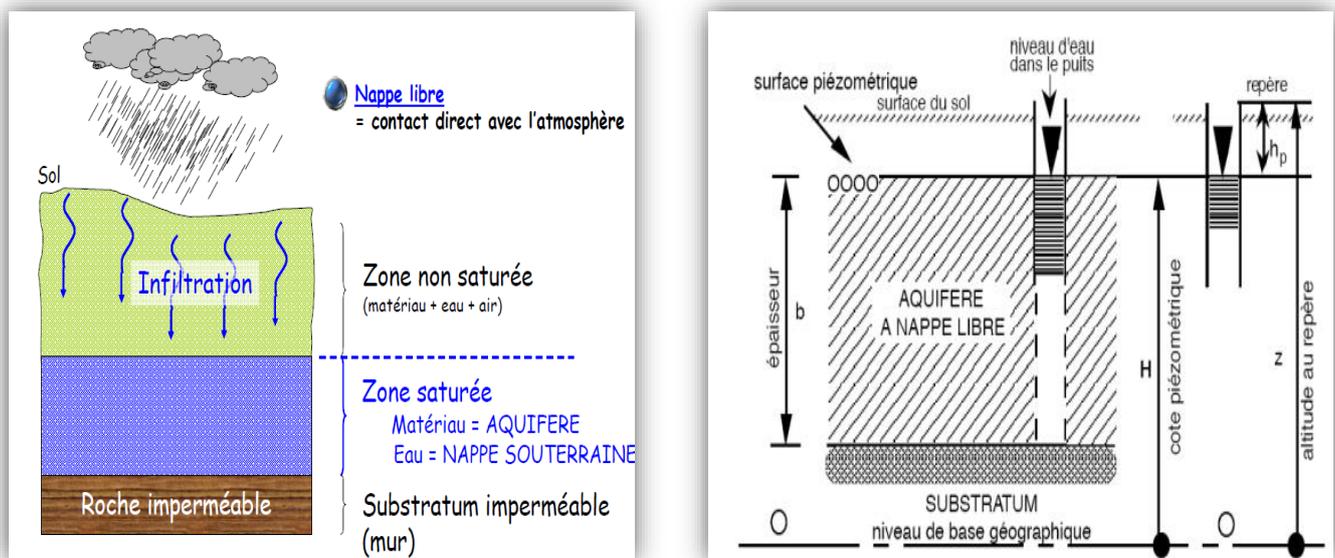


Figure 2.6: Schéma de l'aquifère à nappe libre.

2.3.2 Aquifère à nappe captive :

La formation aquifère est saturée sur toute son épaisseur; elle est limitée vers le haut par une couche imperméable ou semi-perméable, le niveau statique est virtuel tant qu'un forage ou un piézomètre n'a pas atteint l'aquifère, il se trouve toujours au-dessus de la base de la couche imperméable supérieure, le forage est dit artésien.

Lorsque le niveau statique se trouve au-dessus du sol, le forage est dit artésien jaillissant; il s'écoule naturellement sans pompage, c'est notamment le cas des forages de la nappe dite albienne dont la base du toit est à une profondeur de plus de **1800 mètres** dans la région de Biskra, compte tenu de la situation en profondeur, l'aquifère subit une pression géostatique égale au poids de la colonne de terrain (densité moyenne de 2,5 bar par tranche de 10 m) qui le surmonte jusqu'à la surface du sol. [18]

Cette nappe est caractérisée par :

- ➔ pas de contact direct avec l'atmosphère

- ➔ recharge (alimentation) lente
- ➔ protection naturelle face aux pollutions de surface
- ➔ eau généralement fortement minéralisée.

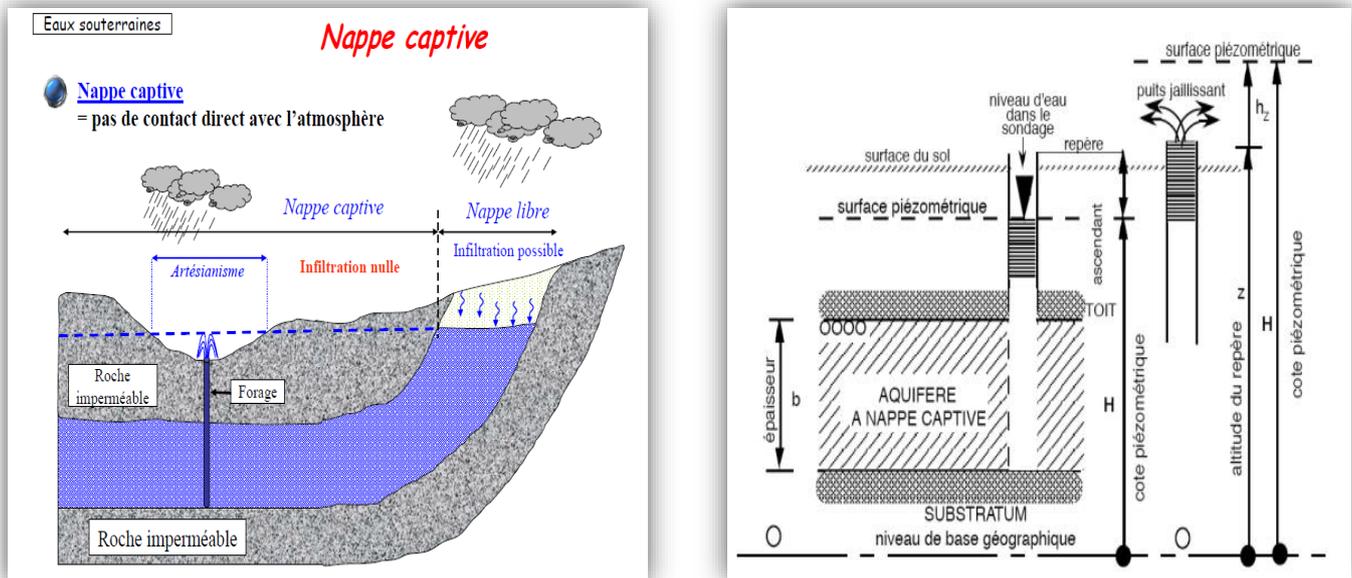


Figure 2.7: Schéma de l'aquifère à nappe captive.

2.3.3 Aquifère à nappe semi-captive ou à drainance :

L'importance du mécanisme de drainance repose sur le fait que des débits importants peuvent traverser des horizons imperméables ou semi-perméables lorsque la superficie de cet horizon est grande et qu'il existe une différence de pression de part et d'autre de cet horizon.

D'après g. c astany, le toit ou le substratum (ou les deux) de l'aquifère sont souvent constitués par une formation hydrogéologique semi-perméable, celle-ci permet, dans certaines conditions hydrodynamiques favorables (différence de charge) des échanges d'eau avec l'aquifère superposé ou sous-jacent, ce phénomène, appelé drainance, implique un aquifère de nappe semi-captive.

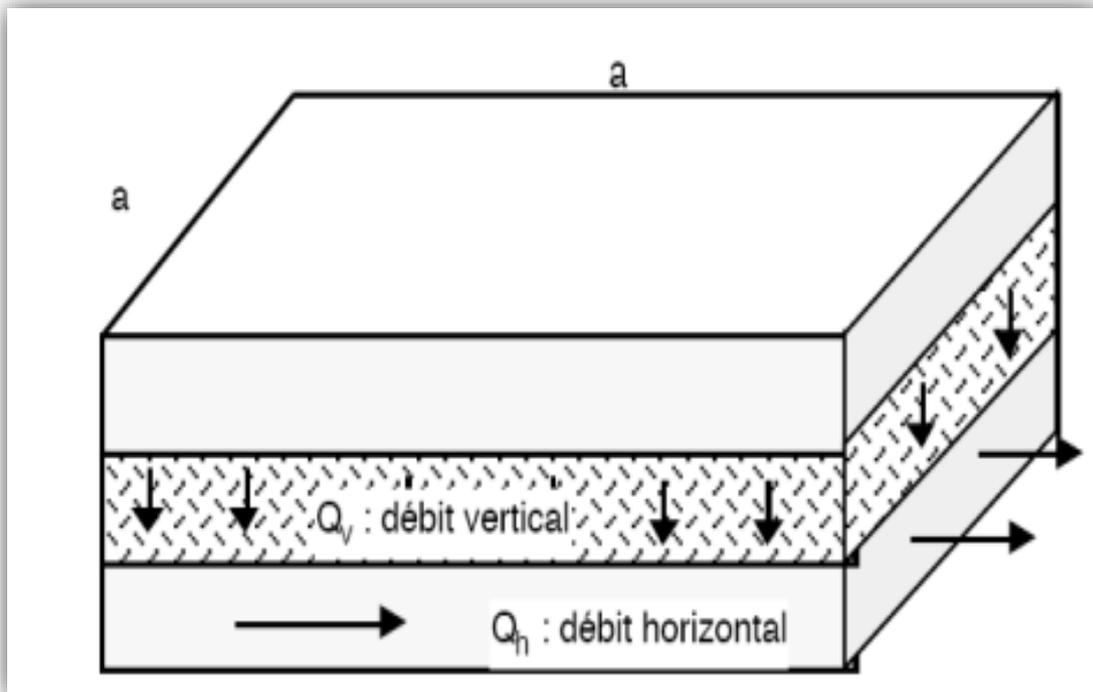


Figure 2.8: Schéma de la drainance.

2.4 Les variations du niveau des nappes :

Le fonctionnement des nappes d'eau souterraine est lié à la nature géologique et à la géométrie de la roche réservoir, l'aquifère, mais aussi à leur caractère libre ou captif et aux autres milieux aquatiques avec lesquels elles échangent.

2.4.1 Les nappes d'eau souterraine fluctuent :

Les réservoirs d'eau souterraines que constituent les aquifères sont caractérisés par leur capacité d'accumulation (quantifiée par le coefficient d'emménagement) et la vitesse de circulation des eaux (caractérisée par la perméabilité de la roche).

En revanche, l'alimentation des nappes est en générale irrégulière et discontinue. en particulier, dans le cas des nappes libres alimentées pour l'essentiel par l'infiltration des pluies, ainsi les variations du stock d'eau des aquifères amortissent les écarts entre alimentation et émergences, ces variations de la réserve en eau souterraine se manifestent par des fluctuations des niveaux, observables dans les forages et les piézomètres au cours de l'année.

2.4.2 Les cycles de recharge et de vidange des nappes :

L'analyse des fluctuations des niveaux piézométriques annuelles et saisonnières permet de déterminer des cycles de recharge et de vidange de la nappe.

À la fin de la période estivale, pendant laquelle se vidange la nappe, la nappe atteint ainsi son niveau le plus bas de l'année : cette période s'appelle l'**étiage** ou période de basses eaux.

Ces niveaux d'étiage sont généralement observés au cours des mois d'octobre à novembre, les niveaux de hautes eaux sont en général enregistrés après la recharge hivernale, entre mars et mai. Ainsi le niveau des nappes s'élève rapidement en automne et en hiver, jusqu'au milieu du printemps.

Les mesures du niveau de la nappe permettent de déterminer la variabilité de la nappe dans le temps et de calculer une amplitude entre les niveaux les plus bas et les plus hauts, aussi appelé « **rabattement de la nappe** ».

2.4.3 Influence des activités humaines sur le niveau des nappes :

Tout captage local d'eau souterraine fait baisser le niveau de la nappe tout autour, avec une influence variant selon les terrains et les volumes prélevés. Si le débit de pompage est relativement continu et constant, la valeur de cet abaissement, le rabattement de la nappe, se stabilise, sans effacer les fluctuations naturelles de la nappe (dont le niveau évolue seulement plus profondément).

L'alimentation en eau potable, les prélèvements agricoles et industriels ne sont pas les seuls prélèvements d'eau souterraine, l'exploitation des mines et carrières, les projets d'aménagements urbains (sous-sols, parkings, voies de communication...) nécessitent généralement des pompes d'exhaure pendant les travaux, voire même des pompes permanents ou saisonniers pour maintenir la nappe à une cote inférieure.

L'eau souterraine contribue donc pour une large part à l'alimentation des cours d'eau et des rivières, et bien au-delà des seules sources et émergences bien connues, cette fonction lui confère un rôle important dans le maintien des ressources en eau de surface et la préservation des zones humides.

2.5 La piézométrie :

La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'un aquifère, à sa caractérisation, à l'évaluation de ses capacités...elle permet également de déceler des interactions entre exploitation de différents ouvrages, des piézométries peuvent être mesurées à différentes échelles : d'un ouvrage à plusieurs nappes, suivant les objectifs poursuivis.

La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. La profondeur de la nappe correspond à l'épaisseur de la zone non saturée, différence entre le niveau du sol et la surface de la nappe.

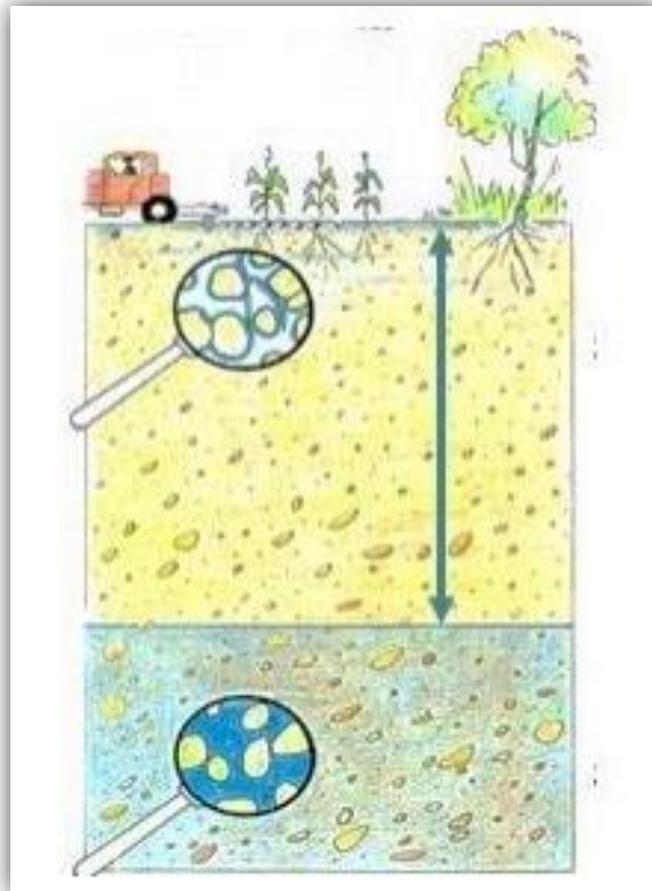


Figure 2.9: Profondeur de la nappe.

2.5.1 Le piézomètre :

Un piézomètre est un forage non exploité qui permet la mesure du niveau de l'eau souterraine en un point donné de la nappe.

il s'agit d'un « dispositif servant à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un système aquifère, qui indique la pression en ce point, en permettant l'observation ou l'enregistrement d'un niveau d'eau libre ou d'une pression »

2.5.2 La mesure piézométrique :

Le niveau piézométrique est exprimé soit par rapport au sol en mètre, soit par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en mètre.

Le niveau peut être mesuré ponctuellement par une sonde manuelle ou suivi en continu à l'aide d'un enregistreur automatique :

- ✚ capteur de pression
- ✚ système de flotteur
- ✚ le matériel de mesure peut être télétransmis permettant la récupération des données acquises à distance.

2.6 Les paramètres hydrodynamiques :

Par définition, un paramètre hydrodynamique est un paramètre physique définissant quantitativement le comportement d'un milieu ou d'un corps conducteur vis-à-vis d'un fluide, c'est-à-dire son aptitude à le contenir, à permettre son écoulement et à régir les propagations d'influence.

Les principaux paramètres régissant l'écoulement des eaux souterraines sont la **transmissivité**, la **perméabilité**, le **coefficient d'emmagasinement** et la **porosité efficace**.

Certains paramètres sont indispensables pour connaître les débits exploitables par un forage, ils peuvent être déterminés au laboratoire ou sur le terrain, notamment lors de test de pompages dans un puits.

2.6.1 La perméabilité :

La perméabilité est l'aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide (liquide ou gaz), l'eau ne circule pas en ligne droite dans une nappe et peut emprunter différents chemins pour aller d'un point a à un point b. la distance réelle parcourue par les eaux souterraines est donc plus importante que la distance en ligne droite entre le point a et le point b. cette distance réelle est difficile à connaître et dépend de la porosité efficace de la roche traversée.

La notion de perméabilité permet d'appréhender la vitesse réelle des eaux souterraines, en prenant en compte la porosité efficace de la roche traversée, la perméabilité traduit l'aptitude de la roche à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'une pression (ou gradient hydraulique), plus la perméabilité est élevée, plus l'eau s'écoulera vite.

Cette perméabilité est due à l'existence d'une porosité efficace, c'est-à-dire à l'existence de vides interconnectés. selon le type de porosité, il existe une perméabilité « en petit » (circulation dans les pores) et une perméabilité « en grand » (circulation dans les fissures, fractures, karsts...) qui peuvent cohabiter au sein d'une même roche (craie fissurée ou karstique par exemple).

Le **coefficient de perméabilité** (de darcy) est un paramètre mesurant la perméabilité d'un corps (roche, matériau) assimilé à un milieu continu et isotrope vis-à-vis d'un fluide homogène déterminé, de densité et viscosité cinématique constantes, notamment de l'eau, il exprime le volume de fluide qui traverse, en une unité de temps, sous l'effet d'une unité de gradient hydraulique, une unité de surface orthogonale à la direction du flux dans des

conditions de validité de la loi de darcy, il s'agit de la constante de proportionnalité k liant la vitesse de filtration au gradient hydraulique dans la loi de darcy.

2.6.2 La transmissivité :

La productivité d'un captage dans un aquifère dépend du coefficient de perméabilité k et de l'épaisseur e de l'aquifère, la productivité peut être estimée à l'aide du paramètre t , transmissivité, par la formule suivante :

$$t = k \times e.$$

Avec :

t en m^2/s ; k en m/s ; e en m .

Le paramètre t correspond au débit d'une couche aquifère, sur toute son épaisseur par unité de largeur et sous l'effet d'un gradient hydraulique égal à l'unité, il ne faut pas la confondre avec la conductivité hydraulique qui est calculée sur une épaisseur égale à l'unité.

La transmissivité t est calculée à partir des pompages d'essai long duré, à la descente et à la remontée, au puits de pompage et sur les piézomètres.

2.6.3 Le coefficient d'emménagement :

Le coefficient d'emménagement est une valeur sans dimension, notée s , qui représente le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface de l'aquifère à la variation unitaire de charge hydraulique, δh , correspondante.

Pour une nappe libre, il s'agit du volume d'eau libéré par gravité (égouttage du terrain). s varie alors entre 1.10^{-2} et $2,5.10^{-1}$ et est assimilable à la porosité efficace de l'aquifère (n_e).

Pour une nappe captive, il s'agit du volume d'eau expulsé par décompression de l'aquifère, s varie alors entre 1.10^{-3} et 1.10^{-4} , le coefficient d'emménagement est calculé d'après les pompages d'essai long duré uniquement sur les piézomètres.

La connaissance des paramètres t et s permet de prévoir le comportement d'un aquifère à long terme, notamment dans des configurations d'exploitation différentes.

2.7 Alimentation et stockage de l'eau :

Les eaux souterraines proviennent essentiellement de l'infiltration des eaux superficielles: on parle d'**eaux vadoses**, les eaux dites *juvéniles* sont d'origine profonde, les *eaux fossiles* sont des eaux d'infiltration anciennes, les **eaux connées** sont des eaux salées datant de l'époque du dépôt des sédiments, les **eaux géothermales** sont généralement des eaux vadoses réchauffées en profondeur.

La source d'alimentation en eau d'un bassin hydrologique est donc fournie par les *précipitations efficaces*, c'est à dire par le volume d'eau qui reste disponible à la surface du sol après soustraction des pertes par évapo - transpiration réelle, l'eau se répartit en 2 fractions:

- ➡ le ruissellement qui alimente l'écoulement de surface collecté par le réseau hydrographique;
- ➡ l'infiltration qui alimente le stock d'eau souterrain.

La hauteur d'infiltration est la quantité d'eau infiltrée à travers le sol pendant une durée déterminée, le taux d'infiltration est le rapport entre la hauteur d'infiltration et la hauteur de précipitation efficace.

Les parts respectives du ruissellement et de l'infiltration sont régies par de nombreux facteurs:

- ➡ la géomorphologie du bassin: pente topographique, réseau hydrographique;
- ➡ la lithologie du sous-sol;
- ➡ le sol: nature, humidité, couverture végétale;
- ➡ la profondeur de la surface piézométrique;
- ➡ l'aménagement des eaux et des sols: barrages, dérivation des cours d'eau, rectification de lit, drainage des zones humides, imperméabilisation des surfaces (zones urbaines, voies de communication), pratiques agricoles...

2.8 Conclusion :

Les eaux souterraines sont une source importante de vie sur terre, car elles constituent 30% de l'eau douce mondiale, et les 69% restants sont répartis entre l'eau sous forme de glace et de neige, et seulement 1% de l'eau douce se trouve dans les rivières et les lacs.

Un tiers de la consommation humaine dépend des eaux souterraines, et dans certains endroits, elles sont entièrement dépendantes, en plus d'être une source importante dans l'économie, dans l'irrigation des cultures et dans les industries alimentaires, et son importance pour l'environnement est qu'elle joue un rôle important dans le maintien du niveau d'eau des rivières et des lacs et des zones humides lorsqu'elles s'y déversent depuis l'intérieur de la terre, en particulier pendant les saisons sèches.

Pour utiliser au mieux ces volumes, il est important de définir aussi précisément que possible les différents paramètres qui régissent le stockage, la répartition et la circulation des eaux souterraines :

- ➡ nature de la nappe (libre ou captive),
- ➡ nature des apports et des écoulements (bilan de la nappe),
- ➡ perméabilité,
- ➡ porosité,
- ➡ coefficient d'emmagasinement,
- ➡ transmissivité,

La circulation des eaux souterraine est régie par la loi de darcy, elle permet, par l'intermédiaire du coefficient de perméabilité du réservoir, de calculer le débit d'une nappe d'eau, l'évaluation de la ressource, du taux et de la durée du renouvellement de la réserve en eau sont également des grandeurs essentielles pour la « *gestion* » de l'aquifère, à partir de ces données, il est alors possible de définir une stratégie d'exploitation afin de rationaliser les prélèvements d'eau dans la nappe.

Chapitre III :

Les paramètres de qualité des eaux souterraines

Chapitre III :

Les paramètres de qualité des eaux souterraines

3.1 Introduction :

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale, en Algérie la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile, la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine, déjà en quantité limitée.

Actuellement, les cours d'eau reçoivent en permanence les rejets urbains et industriels chargés d'éléments chimiques et organiques, souvent toxiques, c'est substances polluantes peuvent affecter de façon dangereuse la santé publique, si elle continue à être déversée dans la nature sans traitement préalable, le mécanisme de pollution des eaux souterraines est un processus évolutif dans l'espace et dans le temps, difficilement maîtrisable. [1]

En Algérie, les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes, nombre de villes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène, donc, l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité. [2]

3.2 Qualité physico-chimique :

Il est important de noter qu'une évaluation ponctuelle de l'eau peut ne pas refléter la nappe phréatique ou la qualité globale du plan d'eau, l'analyse physico-chimique de l'eau souterraine désigne toutes les actions visant à déterminer la valeur d'un échantillon, qu'il s'agisse d'analyse, de mesure, d'observation, etc. réalisées en laboratoire ou sur site à une station de mesure.

Les informations relatives aux résultats de l'analyse sont fournies par l'organisme responsable de l'analyse et communiquées sous la responsabilité de l'organisme générateur des données, qui est chargé de confirmer ou non les résultats liés à la connaissance et à la maîtrise du processus analytique, la génération des données et la probabilité et la représentativité de qui a commis ou non les données par rapport au contexte dans lequel l'échantillon a été collecté. [19]

3.2.1 Les paramètres physiques :

3.2.1.1 La température :

La température de l'eau est un paramètre de confort d'utilisation il corrige également les paramètres analytiques dépendant de la température (en particulier la conductivité), elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH, la connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines, elle doit être mesurée sur place, les conductimètres ou les pH-mètres ont souvent des thermomètres intégrés, en général, la température de l'eau est affectée par sa source. [18]

C'est aussi un facteur important de la production biologique, car il affecte ses propriétés physiques et chimiques, en particulier sa densité, sa viscosité, la solubilité des gaz (en particulier l'oxygène) et la vitesse des réactions chimiques et biochimiques.

Elles semblent ainsi indiquer l'influence de la température de l'air ambiant sur les eaux souterraines, traduisant une circulation peu profonde. [19]

3.2.1.2 La turbidité :

La turbidité est la mesure de l'aspect trouble de l'eau, c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence des matières non dissoutes, elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES), comme les argiles, les limons et les micro-organismes, une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organique ou minérale. [13,14]

La turbidité résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi dévié dans toutes les directions, ce sont des particules en suspension dans l'eau qui diffusent la lumière, leur origine peut être extrêmement variable : érosion des roches, entraînement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspension grossière, pour mesurer la turbidité on utilise certains instruments [15,16] :

- Le turbidimètre de Jackson (méthode visuelle).
- L'opacimétrie.
- Le turbidimètre de Hellige.
- La néphélométrie de Hach.

3.2.1.3 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH, mesure la concentration d'ions H_3O^+ dans une solution aqueuse, par conséquent, la valeur du pH peut connaître l'acidité de l'eau, le pH et la turbidité font partie des facteurs affectant la sensibilité de l'IMS, dont le plus important est la concentration en carbone dioxyde associé à la minéralisation, selon la provenance de l'eau, les propriétés géologiques

de la matrice et l'intersection du versant du bassin, il semble que le pH n'ait un effet direct que sur la survie et le transport des microorganismes pathogènes. [13]

L'effet du pH du sol sur la migration des microorganismes pathogènes se situe principalement au niveau du processus d'adsorption. [16]

Le pH est la mesure du caractère acide ($1 < \text{pH} < 7$) ou basique ($7 < \text{pH} < 14$) des eaux.

En général, l'activité biologique se situe entre 6.5 et 8 unités de pH, en dehors de cet intervalle, le pH affecte la vie aquatique et par conséquent influence l'autoépuration du milieu naturel. [15]

3.2.1.4 La conductivité :

La conductivité, caractéristique physico-chimique de l'eau liée à la concentration des substances dissoutes et à leur nature, les matières organiques et colloïdes ne présentent qu'une faible conductivité, elle varie avec la température, la conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm, elle s'exprime en micro siemens/ cm, la mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau, une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée. [15,14]

La conductivité est un des moyens de valider l'analyse physico-chimique de l'eau, en effet, le contraste des conductivités mesurées sur un milieu peut mettre en évidence des zones de contamination, de mélange ou de permutation.

3.2.1.5 L'alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH :

- ▶ Alcalinité au virage du rouge de méthyle, elle correspond à l'alcalinité totale eau pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- , cette alcalinités se nomment également titre alcalimétrique complet TAC.
- ▶ Alcalinité au point de virage de la phénophtaléine (alcalinité composite): elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} cette alcalinité composite est nul pour une eau dont le pH est inférieur ou égal à 8.3, l'alcalinité composites nomme également titre alcalimétrique TAC. [15, 18,20]

3.2.1.6 La dureté :

La dureté ou titre hydrométrique correspond essentiellement à la présence de sels de calcium et de magnésium, elle est directement liée à la nature des terrains traversés, ils proviennent des roches calcaires ou dolomitiques, dans une eau naturelle, on peut distinguer différents types de dureté [14,19] :

- ▶ **Dureté totale:** somme des concentrations en Calcium et Magnésium ;
- ▶ **Dureté calcique:** concentration globale en Calcium ;
- ▶ **Dureté magnésienne:** concentration globale en Magnésium.

La dureté calcique et la dureté magnésienne peuvent s'exprimer en mg/l de Ca et en mg/l de Mg.

3.2.1.7 La couleur :

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu claire car les longueurs d'onde courtes sont peut adsorbées alors que les grandes longueurs d'onde (rouges) sont adsorbées très rapidement, la couleur des eaux des surfaces ou des eaux souterraines est due généralement à des substances colorées d'origines variées et proviennent de la décomposition de la matière végétale ou des algues pouvant donner une coloration variable en fonction des pigment qu'elle contiennent, des substances minérales, en particulière le fer et le manganèse, dont les formes précipitées sont colorées, ainsi le rejets industriels, par exemple des teinturerie, pouvant aussi colorer l'eau.

Le terme de couleur décrit la perception visuelle d'une combinaison d'effet chromatique et achromatique, mais la norme distingue différents types de coloration :

- ▶ La couleur d'une eau : propriété optique consistant à modifier la composition spectrale de la lumière transmise ;
- ▶ La couleur apparente d'une eau : couleur due aux substances dissoutes et aux matières suspension ;
- ▶ La couleur vraie d'une eau : couleur due seulement aux substances dissoutes.

3.2.1.8 Goût et odeur :

La mesure de ces paramètres est plutôt une évaluation qui consiste à rechercher la délimitation la plus forte de l'eau à laquelle la sensation apparait, la norme **NFV00-150** donne les définitions suivantes pour ses sensations

➡ **Le goût :**

Ensemble des sensations gustatives, olfactives et des sensibilités chimiques communes qui est perçu lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche, ces aussi la propriété des produits qui provoquent ces sensations.

➔ L'odeur

Les tests olfactifs sont plus sensibles et précis que les tests gustatifs, cependant, elle ne permet pas d'apprécier des modifications de la teneur en substances odorantes inférieures à 30 %. Au test de goût, son avantage est qu'il peut être pratiqué sur de l'eau brute, et qu'il n'est pas si fatiguant à opérer. [17]

3.2.2 Les paramètres chimiques :

3.2.2.1 Ions majeurs :

La minéralisation dans la plupart des eaux est dominée par 8 ions, communément appelés ions primaires.

On distingue :

- ▶ **Les cations:** calcium, magnésium, sodium et potassium,
- ▶ **Les anions:** Chlorure, sulfate, nitrate et bicarbonate.

Les indications fournies dans ce paragraphe permettent d'interpréter les résultats d'analyses courantes.

➔ Les Cations :

✚ Calcium:

Le calcium est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature, notamment dans les roches calcaires sous forme de carbonates, composant principal de la dureté de l'eau, le calcium est généralement l'élément principal de l'eau potable, son contenu varie essentiellement selon la nature du terrain traversé, il existe principalement à l'état de bicarbonate, et une petite quantité existe sous forme de sulfate et de chlore. [17]

✚ Magnésium:

Le magnésium est l'un des éléments les plus communs trouvés dans la nature; il représente environ 2,1 % de la croûte terrestre, la plupart de ses sels sont extrêmement solubles dans l'eau, même les carbonates peuvent se dissoudre jusqu'à 300 mg/l à 20 °C, la teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaire, dolomie, Jurassique ou Trias moyen), les valeurs les plus basses ont été relevées dans la plupart des eaux de l'ancienne parcelle.

Le magnésium est un composant important de la dureté de l'eau, il dépasse rarement 15mg/l, il existe sous forme de carbonate et de bicarbonate.

Sodium:

Les cations sodium (Na^+) sont très abondants sur terre, il existe dans les roches cristallines et sédimentaires (sable, argile, évaporite), l'halite (évaporite de NaCl) est du sel de cuisine, il est très soluble dans l'eau, d'autre part, le sodium n'est généralement pas très élevé dans les roches carbonatées.

Potassium:

Bien que le potassium soit presque aussi important que le sodium dans les roches ignées, sa présence presque constante dans l'eau naturelle ne dépasse généralement pas 10 à 15 mg/l.

Les anions :

Sulfate:

Dissolution de roches sédimentaires évaporatives, notamment du gypse (CaSO_4), mais aussi de la pyrite (FeS) et des roches magmatiques plus rares (galène, sphalérite, pyrite), les causes d'origine humaine sont la forte production de sulfures provenant de la combustion du charbon et du pétrole, ainsi que l'utilisation d'engrais chimiques et de nettoyants.

En général, la présence de sulfates dans une eau naturelle non contaminée entraîne la présence de gypse ou de pyrite, le soufre est un élément non métallique présent naturellement dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et sous forme minérale (sulfure, sulfate et soufre élémentaire).

Le chlorure :

Les principales sources de chlorure dans l'eau sont dues à la dissolution des roches sédimentaires déposées dans le milieu marin qui n'ont pas été complètement emportées et à la présence d'évaporites, l'intrusion d'eau de mer et l'évaporation des bassins d'écoulement internes sont également des sources possibles de chlorures, les roches cristallines jouent un petit rôle dans la minéralisation des chlorures, en raison de la proximité de la mer, la contribution des précipitations est plus importante dans le domaine de l'intervention humaine, l'apport humain est secondaire, la teneur en ions chlorure de l'eau naturelle est essentiellement liée à la teneur en sodium, selon les normes Algérienne, la concentration de cet élément ne doit pas dépasser 300 mg/l [20].

Nitrates et composés azotés :

Les nitrates (NO_3^-) font partie du cycle de l'azote, la principale réserve d'azote est l'atmosphère, dans les eaux naturelles, l'azote provient principalement des précipitations ($1 < c < 3 \text{ mg/l}$) et du drainage du sol.

L'action humaine est donc importante : utiliser des engrais azotés et de la boue, de même, les émissions des stations d'épuration ou, plus simplement, des toilettes et des fosses septiques représentent un apport de matière organique susceptible de produire des nitrates.

Et en milieu naturel, sa concentration dépasse rarement 0,45 mg/l, des valeurs supérieures indiquent des rejets d'eaux usées dans les milieux aquatiques superficielles et souterraines, et surtout une utilisation excessive de fertilisants utilisés en agriculture. [18]

➔ **Le Fer :**

Il est très largement distribué et il se classe au quatrième rang des éléments de la croûte. Il est largement utilisé en métallurgie et ses utilisations secondaires en chimie sont variées. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à plusieurs mg/L de fer provenant du lessivage à travers le sol ou de la pollution industrielle, étudiez les niveaux de fer dans l'eau jusqu'à 10 mg/L.

Les eaux minérales et principalement les eaux minérales chaudes peuvent contenir plus de 10 mg/l. [17]

➔ **Le Nitrite :**

Le nitrite provient d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, d'une nitrification incomplète ou de la réduction du nitrate sous l'influence de la nitrification, l'eau contenant du nitrite est considérée comme suspecte car elle est souvent associée à une détérioration de la qualité microbienne. [17]

➔ **Le Manganèse :**

Le manganèse est largement répandu dans la nature, les concentrations dans la croûte peuvent varier de 500 à 600 mg/kg, les minerais les plus connus sont la pyrolusite, la rhodochrosite et la limonite, certaines nappes phréatiques avoisinent 1 mg/l, notamment lorsqu'il y a un porteur dans le milieu réducteur, ou sous l'action de certaines bactéries. [17]

➔ **L'Arsenic :**

L'arsenic est assez répandu dans la biosphère : les roches ignées en contiennent 1 à 10 mg/kg. Phosphate naturel 20 mg/kg Charbon 45 mg/kg et Pyrite 5 à 6 g/kg, il existe principalement sous forme de sulfure. [17]

➔ **Le Zinc :**

Le zinc est généralement présent dans les roches sous forme de sulfures, le minéral le plus courant est le sulfure de zinc, qui contient également du fer, du calcium, du manganèse et de l'arsenic, des niveaux plus élevés de zinc dans l'eau à faible pH. [17]

➔ **L'Argent :**

L'argent se trouve dans de nombreux minéraux, généralement sous forme de sulfure, qui est un sous-produit de l'extraction du cuivre, du plomb et du zinc. [17]

➔ **L'Aluminium :**

Les problèmes avec l'aluminium surviennent principalement après que l'eau a été traitée avec des composés d'aluminium (coagulants), même si aucun risque pour la santé n'a pu être démontré, le rôle aggravant de l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer a été évoqué, selon l'Organisation mondiale de la santé, les concentrations d'aluminium supérieures à 0,2 mg/L

provoquent souvent des plaintes des consommateurs en raison de la floculation de l'hydroxyde d'aluminium dans les tuyaux et des concentrations de couleur fer dans l'eau.

➔ **Le Sulfure d'hydrogène :**

Le sulfure d'hydrogène est le principal poison par inhalation, dans l'eau, la présence de tels gaz et sulfures peut provenir des eaux usées ou de la pollution industrielle. [17]

➔ **Le cuivre :**

Le cuivre existe dans la nature en tant que minéral de cuivre naturel, Minerai oxydé ou sulfuré, à l'air, recouvert d'une fine couche de carbonate basique. [17]

➔ **Le fluor :**

Le fluor dans les eaux souterraines est l'apatite, qui est présente dans les bassins de phosphate, et la fluorite, qui est présente dans les roches et veines magmatiques alcalines. L'espace spa est également souvent touché, essentiellement le temps de contact entre la roche et les eaux souterraines et le contrôle chimique sont les principales raisons des fortes concentrations d'iode, le fluorure est considéré comme nécessaire pour prévenir les caries dentaires, cependant, de l'eau dont la concentration en fluorure est supérieure à 2 mg/l est souvent ingérée.

➔ **La Dureté :**

La dureté de l'eau semble provenir du fait qu'il est difficile de nettoyer avec cette eau. Sauf exceptions très précises, la dureté à une caractéristique naturelle liée au lessivage du sol et correspond à la teneur en calcium et magnésium. [17]

➔ **L'Oxygène dissous :**

L'eau absorbera autant d'oxygène que nécessaire pour équilibrer la pression partielle d'oxygène dans le liquide et l'air, la solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la minéralisation de l'eau, la saturation en oxygène diminuant à mesure que la température et l'altitude augmentent, alors que l'eau contenant des matières organiques pouvant être dégradées par des micro-organismes est insaturée.

En effet l'abondance de matière organique dans les eaux souterraines permet aux micro-organismes de se développer tout en consommant de l'oxygène.

➔ **L'Oxygène :**

Par conséquent, l'oxygène dissous est un paramètre utile dans le biodiagnostic des milieux aqueux, tous ces paramètres permettent d'estimer la quantité de matière organique présente dans les eaux souterraines.

3.3 Qualité microbiologique des eaux souterraines :

La présence de micro-organismes dans les eaux souterraines peut avoir plusieurs origines. Alors que certaines souches existent à l'état naturel, d'autres s'infiltrent dans le sol à partir de matières organiques provenant de fosses septiques, de décharges, d'épandages agricoles ou de réseaux d'égouts.

Cependant, leur développement est limité par les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les environnements souterrains, il convient de noter que les aquifères de type karstique sont plus vulnérables à la contamination microbienne car leur capacité d'épuration est souvent faible ou inexistante. [13]

Actuellement, l'eau de source répond à toutes les exigences réglementaires et de qualité sanitaire et peut être bue sans restriction.

Les bactéries indicatrices de contamination fécale ont été dénombrées selon la technique [14]:

- ▶ Coliformes totaux (CT),
- ▶ Coliformes fécaux (CF),
- ▶ Streptocoques fécaux (SF)
- ▶ Clostridium perfringens (CP).

Le nombre et la variété des micro-organismes pathogènes pouvant existés dans les eaux souterraines sont nombreux, leur présence est toujours associée à une contamination fécale de l'eau et leur durée de vie dans l'eau est parfois courte.

3.4 Transferts des pollutions dans les eaux souterraines :

A partir de la surface du sol, des processus de nature physique, chimique et biologique vont commander les mécanismes du transfert des polluants vers les nappes des eaux souterraines.

3.4.1 Les transferts d'ordre physique :

L'eau se déplace par gravité en s'infiltrant dans le sous-sol, entraînant vers la nappe les polluants qui se trouvent à la surface, la couche de milieu poreux non saturé constitue certes un filtre, mais un filtre imparfait qui va laisser passer une partie des polluants, le sol est divisé en plusieurs horizons successifs, la couche végétale superficielle est le lieu des échanges biologiques, au dessus de la nappe, les couches suivantes représentent la zone non saturée où coexistent la matière solide, l'eau et l'air, l'épaisseur de cette zone est variable (quelque mètres à quelque dizaines de mètres), la durée du transfert va dépendre de deux facteurs principaux) les caractéristiques du sol, (composition, perméabilité, homogénéité, épaisseur de la zone non saturée) son humidité : tous choses égales par allures, plus le sol est humidité et plus le temps de transfert est rapide, la conductivité hydraulique étant maximale à saturation.

3.4.2 Les transferts d'ordre chimique :

Au cours de leur parcours dans le sol, les molécules peuvent subir diverses transformations chimiques, la dissolution (le polluant se dissout dans l'eau ; cas des hydrocarbures par exemple) la précipitation ou le dépôt (le polluant se fixe dans le sol) l'oxydoréduction ; en effet, certains polluants peuvent s'oxyder, comme l'ammonium, présent dans les engrais qui au contact avec l'oxygène et des bactéries, se transforme en nitrates (NO_3^-), les nitrates, une fois formés, sont transportés par gravité avec l'eau en profondeur puis suivent les écoulements de la nappe.

3.4.3 Les transferts d'ordre biologique :

Ce processus implique l'action des bactéries et des micro-organismes vivants.

On distingue deux phénomènes :

➔ La biodégradation :

La plupart des molécules chimiques apportées au sol en agriculture sont soit absorbées par les systèmes racinaires des plantes (c'est d'ailleurs leur objectif), soit sont biodégradables et disparaissent sous l'action des bactéries, la réalité de cette dégradation est l'une des conditions de mise sur le marché des produits phytosanitaires.

Le premier filtre biologique est donc bien celui du sol et des plantes, tout ce qui échappe au système racinaire et à la biodégradation se trouve tôt ou tard dans les nappes souterraines.

Un excès d'apport en nitrates entraîne la persistance de molécules potentiellement polluantes pour la ressource en eau, le processus microbien est le premier mode de dégradation, mais il se raréfie au fur et à mesure que l'on descend dans le sol, car les bactéries, chiffrées par milliards dans la première couche superficielle, sont de moins en moins nombreuses en profondeur, un deuxième phénomène intervient alors: le transport colloïdal.

➔ Le transport colloïdal :

Si certaines bactéries ont un rôle de destruction des molécules chimiques, d'autres ont un rôle de transporteur, certaines molécules organiques ou minérales (métaux lourds) ont la faculté de se fixer aux bactéries de très petite taille, les molécules dont la taille est inférieure à celle des particules argileuses (de l'ordre du micron) peuvent être ainsi transportées et transférées au travers de couches de sol imperméable et pénétrer dans les nappes captives, les virus peuvent ainsi contaminer les eaux souterraines les plus profondes, les pesticides et les métaux lourds présentent cette caractéristique de se fixer sur des bactéries, la tempe de transfert dans les couches profondes est beaucoup plus longue que celui des nitrates, qui sont transportés par les écoulements hydrodynamiques, mais les pollutions qui s'ensuivent sont beaucoup plus durables.

3.5 Conclusion :

L'eau souterraine à longtemps été considérée comme une eau pure et peu vulnérable, bien protégée par des couches de terrains, ce qui permettait de répandre sur le sol et dans le sous-sol tous les déchets solides ou liquides dont on voulait se débarrasser.

Il est admis que les eaux souterraines sont généralement mieux protégées des pollutions que les eaux de surface, ces dernières sont directement exposées aux émissions polluantes, tandis que les nappes peuvent bénéficier de la protection du sol.

Afin de concrétiser une étude se rapportant à l'hydrogéochimie des aquifères il faut repérer dans la mesure du possible le maximum des forages d'eau ayant une bonne répartition significative dans toute la région, il faut faire des inventaires d'analyses porté sur un certain nombre de paramètres physicochimiques.

Il est important de noter qu'une évaluation ponctuelle de l'eau peut ne pas refléter la nappe phréatique ou la qualité globale du plan d'eau, l'analyse physico-chimique de l'eau souterraine désigne toutes les actions visant à déterminer la valeur d'un échantillon, qu'il s'agisse d'analyse, de mesure, d'observation, etc...

Réalisées en laboratoire ou sur site à une station de mesure.

Chapitre IV:

**Cadre physique de la zone
d'étude et hydroclimatologie**

Chapitre IV: Cadre physique de la zone d'étude et hydroclimatologie

4.1 Introduction :

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

La zone de Guelma est caractérisée par un climat semi-aride avec des précipitations irrégulières concentrées pendant les mois d'hiver, l'agriculture est une activité économique importante dans la zone, avec la culture d'oliviers, de céréales et de légumes.

Nous allons essayer d'étudier les facteurs climatiques de cette région, de ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose, elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau. [3]

4.2 Cadre physique de la région d'étude :

4.2.1 Situation géographique :

La wilaya de Guelma se situe au Nord-Est du pays et constitue, du point de vue géographique, un point de rencontre, voire un carrefour entre les pôles industriels du Nord (Annaba et Skikda) et les centres d'échanges au Sud (Oum El Bouaghi et Tébessa), elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud, elle est également connue pour son patrimoine archéologique, notamment les ruines de la ville romaine de Timgad, inscrites au patrimoine mondial de l'UNESCO depuis 1982.

La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de **3.68684 Km²**
Elle est limitrophe aux wilayas suivantes :

- ➔ Au Nord la wilaya d'**Annaba**.
- ➔ Au Nord - Est, la wilaya d'**El Taref**.
- ➔ À l'Est, la wilaya de **Souk Ahras**.
- ➔ Au Sud, la wilaya d'**Oum El Bouaghi**.
- ➔ À l'Ouest, la wilaya de **Constantine**.
- ➔ Au Nord-Ouest, la wilaya de **Skikda**. [21]

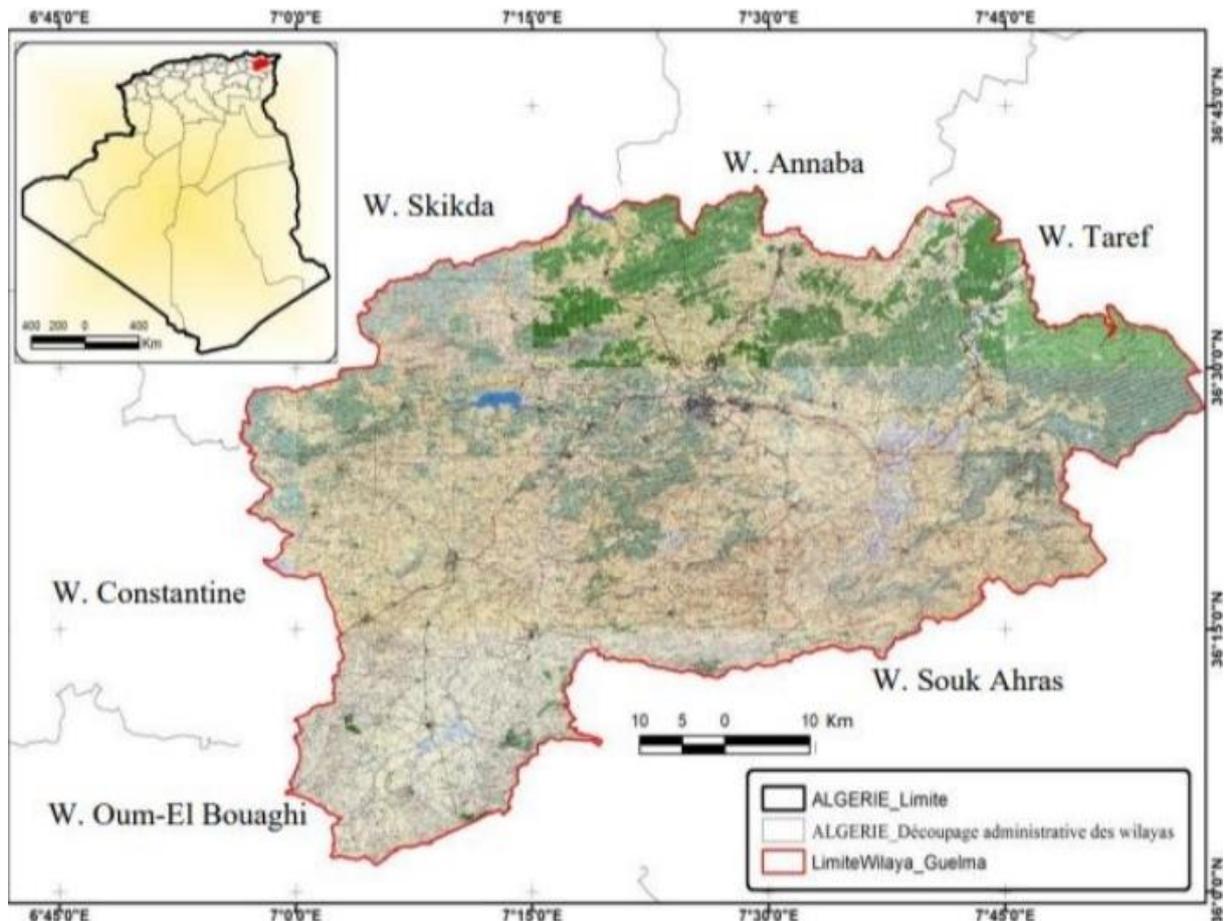


Figure 4.1: Situation géographique de la ville de Guelma.

4.2.2 Orographie et géomorphologie:

L'orographie de la région d'étude est formée en ligne générale de reliefs montagneux et collinaires constituant l'extrémité orientale de la chaîne des monts de Constantine et des contreforts occidentaux de la chaîne de la Medjerda, ces deux contreforts sont traversés par des vallées profondes où courent les affluents droits et gauches de la Seybouse, tous les cours d'eau ont un caractère torrentiel.

Les altitudes les plus élevées que l'on rencontre dans la région de Guelma sont :

Djebel Maouna (1411 m) et **Ras El Alia (1317m)**, dans la partie Sud, les altitudes varient de **100 m à 1400 m**. [21]

4.2.3 L'orographie et l'hydrographie:

❖ Zones de montagnes:

Le relief montagneux et collinaire de la région de Guelma donne aux affluents de la Seybouse un caractère torrentiel, parmi les reliefs les plus élevés de la région cette région nous citons:

- Djebel Maouna **1411 m** d'altitude.
- Djebel Ras El Alia **1317 m** d'altitude.
- Djebel Houara **1292 m** d'altitude.
- Djebel Taya **1208 m** d'altitude.
- Djebel Debagh **1060 m** d'altitude.
- Djebel Mermoura **993 m** d'altitude.

La région de Bouchegouf est d'un caractère montagneux à aspect monotone sur toute son étendue.

L'altitude moyenne de la chaîne tellienne locale est d'environ 500 m, par contre celle du fond de la vallée varie entre 0 m en amont et 30 m en aval.

Ce qui est important à noter est le recouvrement d'environ 50% de la partie nord-est de la région par un relief montagneux et les immenses étendues forestières de Beni Mezline, Beni Salah et Ouled Bechiah (**Figure 4.2**). [21]

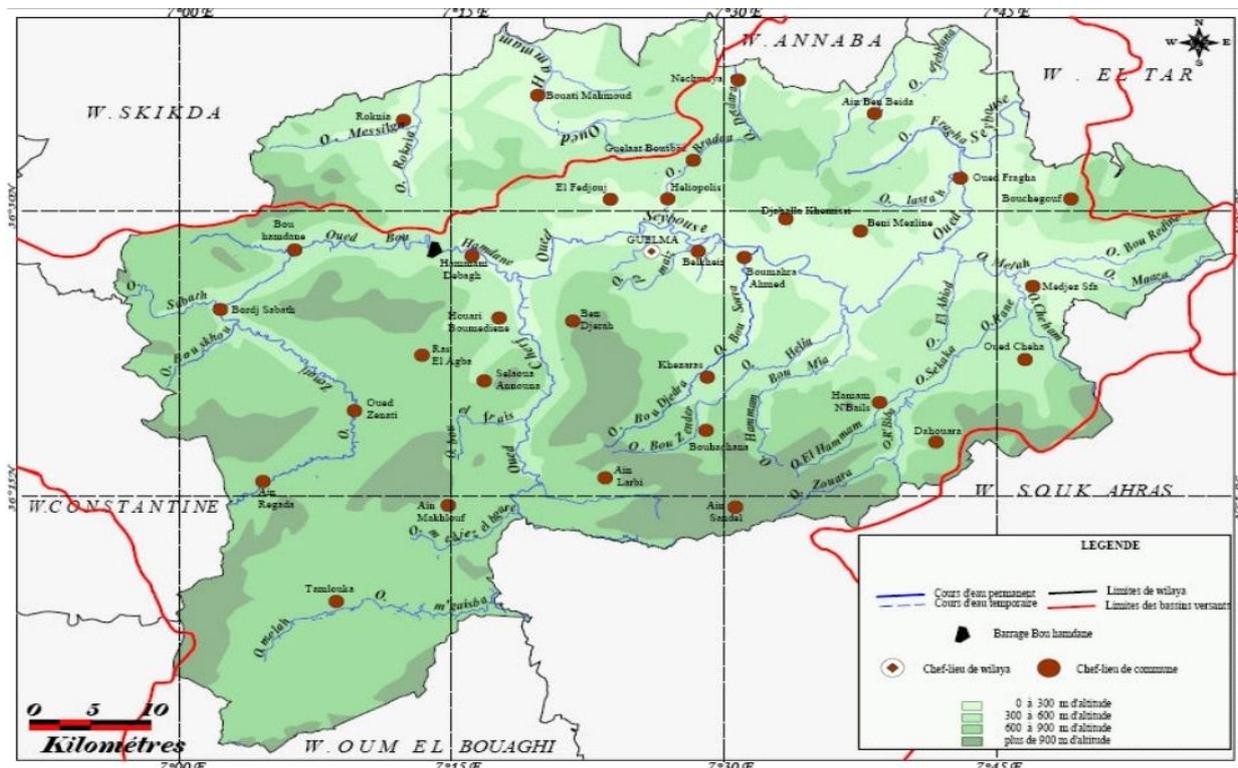


Figure 4.2: Carte du relief de la wilaya de Guelma (Mouchara N., 2008).

4.2.4 La géologie locale :

La région de Guelma a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs, les terrains rencontrés vont du **Trias** jusqu'au **Quaternaire**, on distingue de haut en bas : le Quaternaire, le Mio-Pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne, les écailles des Sellaoua et enfin la nappe néritique constantinoise.

La région d'études fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien Nord oriental elle est constituée par des terrains sédimentaires dans l'ensemble sont d'âge crétacé, oligocène, Moipliocène et quaternaire, le fond du bassin occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats, marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres, au sud les formations numidiennes se développent largement en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sedrata, ce sont surtout les calcaires ypresiens qui dominent, puis viennent les grès numidiens du flanc de Mahouna et les séries marno-calcaires et argiles crétacé, plusieurs réseaux de failles de direction NW-SE et NE-SW affectant les massifs primaires et les massifs de la chaîne Numidique existant à l'échelle régionale, ainsi que de nombreux plis sont visibles au niveau de ces massifs. (**Figure 4.1**)

Le secteur étudié **Guelma-Boumahra** appartient à la nappe alluviale de Guelma, partie intégrante du bassin de l'Oued Seybouse qui fait partie de la moyenne Seybouse, il se situe au cœur d'une grande région à activité agricole intense à **227 m** d'altitude moyenne.

La nappe alluviale de Guelma couvre une superficie de l'ordre de **122 km²** avec environ **25 km** d'Est en Ouest et entre **3 et 10 km** de largeur. [21]

4.2.4.1 Nappe alluvionnaire de Guelma :

Elle est situées dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite, elle est sillonnée par l'Oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador, (Djabri L, 1996), ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et des apports latéraux du bassin versant de Guelma, elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute) (Mouassa .S (2006)).

Cette nappe alluvionnaire d'âge mio-plio-quaternaire, s'étend le long de l'Oued Seybouse, centrée sur la ville de Guelma et les villages de **Belkheir** et **Boumahra Ahmed**, la plaine s'élargit au **Sud** pour englober les localités des **Oueds Maiz** et **Zimba**, ainsi que les **chaabets** de **Meklouka** et **Maa'moura** elle est limitée à l'**Ouest** par la route de Constantine à hauteur de **Haouch Mihoub Mohammed** et à l'**Est** par le resserrement de la vallée près de la station ferroviaire de **Nador**.

Une batterie de forage d'un nombre important capte les eaux de cette plaine dont leurs emplacements sont mentionnés sur la carte de la **Figure 4.4** et dans le **tableau 4.1**.

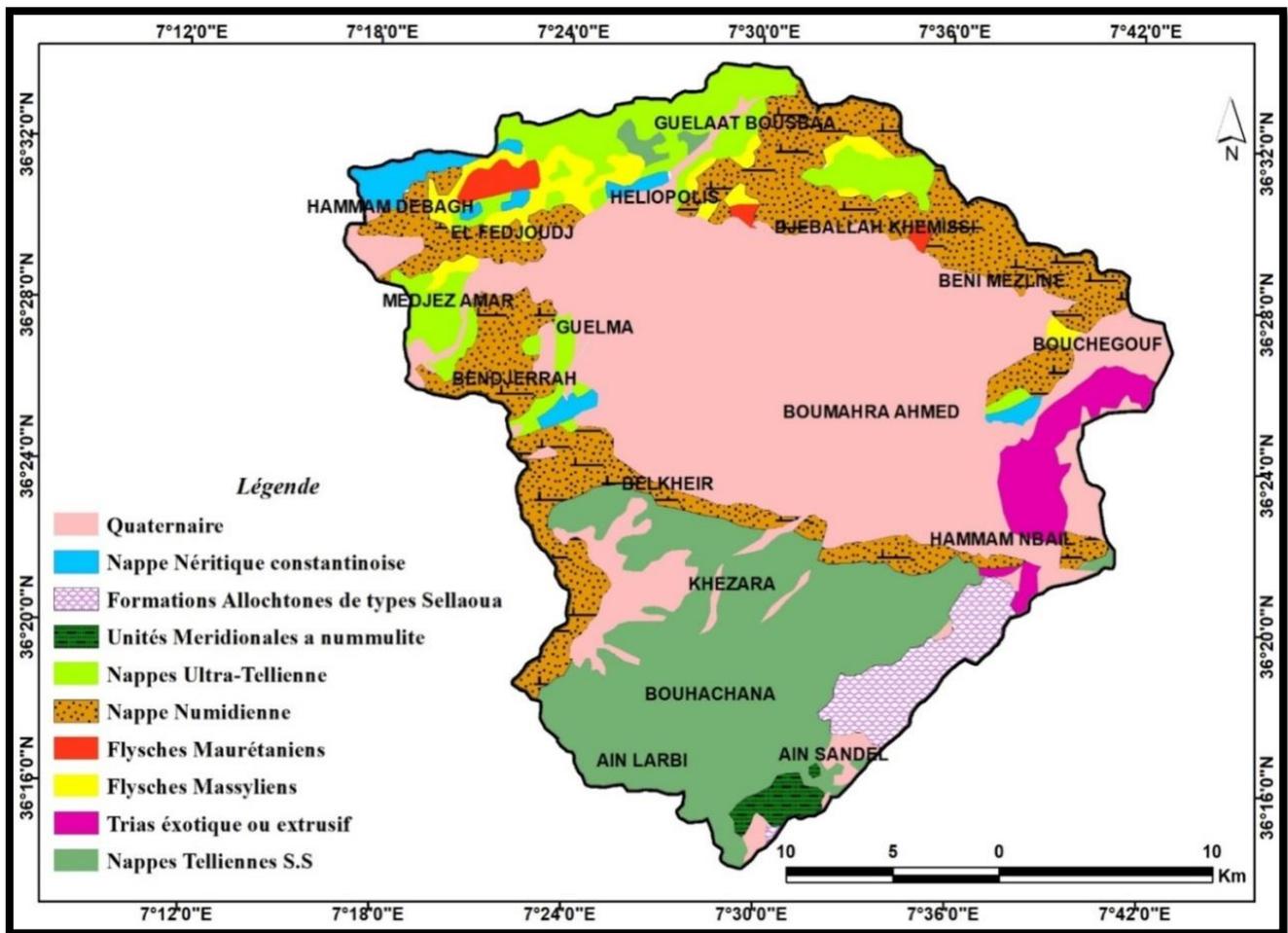


Figure 4.3: Carte géologique du bassin versant de la moyenne Seybouse

(par vila 1980, modifiée).

➡ La basse terrasse :

C'est la vallée dans laquelle coule l'actuel Oued Seybouse elle est formée de graviers, de sables et de galets, 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**, le substratum est constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène dans sa partie Ouest à l'Est, il est constitué d'argiles et de grès numidiens (Mouassa .S (2006)).

➡ La moyenne terrasse :

Elle est constituée d'un matériel détritique relativement fin en alternance avec des passées argileuses, le substratum est toujours marneux à gypse, son épaisseur est plus importante que celle de la basse terrasse (40 m environ) (Mouassa .S (2006)).

➡ La haute terrasse :

Elle est située au Sud de la moyenne terrasse et elle est formée d'alluvions grossières Plio-quaternaires (galets, graviers, grès, sables et quelques passées argileuses) perméables, a couche superficielle montre une affinité argileuse nette, le substratum est aussi constituée de marnes à gypses et d'argiles du Miocène jusqu'à l'Oued Boussora, vers l'Est, il est constitué d'argiles Eocènes, l'épaisseur de cette partie de la nappe aquifère est plus importante que celles des deux premières et varie de **50 m** à **150 m** par endroits (**H'Fais**) entre **Belkheir** et **Boumahra**, la plus grande quantité en eau de la nappe est exploitée par le biais de forages de différentes profondeurs, de puits, et de captage de sources (Mouassa .S (2006)).

La nappe alluvionnaire de Guelma est actuellement exploitée par **25 forages** qui sont destinés que ce soit en AEP et à AEI, ou à irrigation, mobilisant un débit de **432 l/s** et un débit d'exploitation réel pour la population est de **165 l/s**, la profondeur de la nappe varie d'un endroit à l'autre, pour la nappe de la vallée actuelle les niveaux se situent entre plus que **30** et **40 m** sous le sol, pour la nappe des hautes terrasses et des alluvions. (DRE 2018).

Le **tableau 4.1** illustre les caractéristiques de ces forages.

Tableau 4.1: Forages de la nappe alluvionnaire de Guelma (DRE 2018).

N°	Commune	Nom	Gestion et Destination	Profond (m)	Q.Mob (l/s)	Q. Exp (l/s)	Q.Exp. Pop (l/s)
1	Guelma	Oued Maiz OM1(puits)	ADE (AEP Guelma)	45	10	4	4
2		Oued Maiz (Eucalyptus)	ADE (AEP Guelma)	65	10	9	5
3		Oued Maiz tarha Daoura)	ADE (AEP Guelma)		30	22	7
4		Oued Maiz OM2 (rail)	ADE (AEP Guelma)	60	10	9	5
5		Ex Sogedia G6Bis	ADE(AEP)	48	15	10	4
6		Jerodon N, O /MAIZ	ADE (AEP Guelma)	162	16	7	7
7		Sonacome F1	AEI	66.5	10	8	8
8		F - SNIC-	AEI	117	10	10	10
9	Belkheir	SNTR- G2 (Oued Zimba)	ADE (AEP Belkheir)	140	12	11	7
10		BK1	ADE (AEP Guelma)	90	28	28	10
11		BK2 Nouveau (MATAR)	ADE (AEP Belkheir)	140	18	10	7
12		Guelma G5 Bis	ADE (AEP Belkheir)	140	7	5	4
13		BA2	ADE (AEP Salah Soufi+chihaoui)	100	15	11	7
14		BA3	ADE (AEP Boumahra)	100	18	8	8
15		Capra	Ferme pilote (IRR)	140	20	0	0
16		Sogedia G4	AEI (IND SOGEDIA)	114	35	10	10
17		BC1	ADE (AEP Belkheir)	95	25	12	7
18		BC2	ADE (AEP TRANS BOUCHEG)	95	25	12	7
19		Zone industrielle	AEI (IND zone industrielle)	120	8	8	0
20		Rihana	ADE (AEP Bouchegouf)	130	14	10	0
21	Boumahra	Sogedia	AEI (IND SUCRERIE)	84	20	15	15
22		BA1 Ter	ADE (AEP BOUMAHRA)	182	12	4	3
23		BA5 (Dardar)	ADE (AEP BOUMAHRA)	90	25	25	17
24		Zitouna	ADE (AEP Bouchegouf)	120	14	10	0
25		BA4 ORAVIE	ADE (AEP Boumahra)	80	25	20	13
Total				--	432	278	165

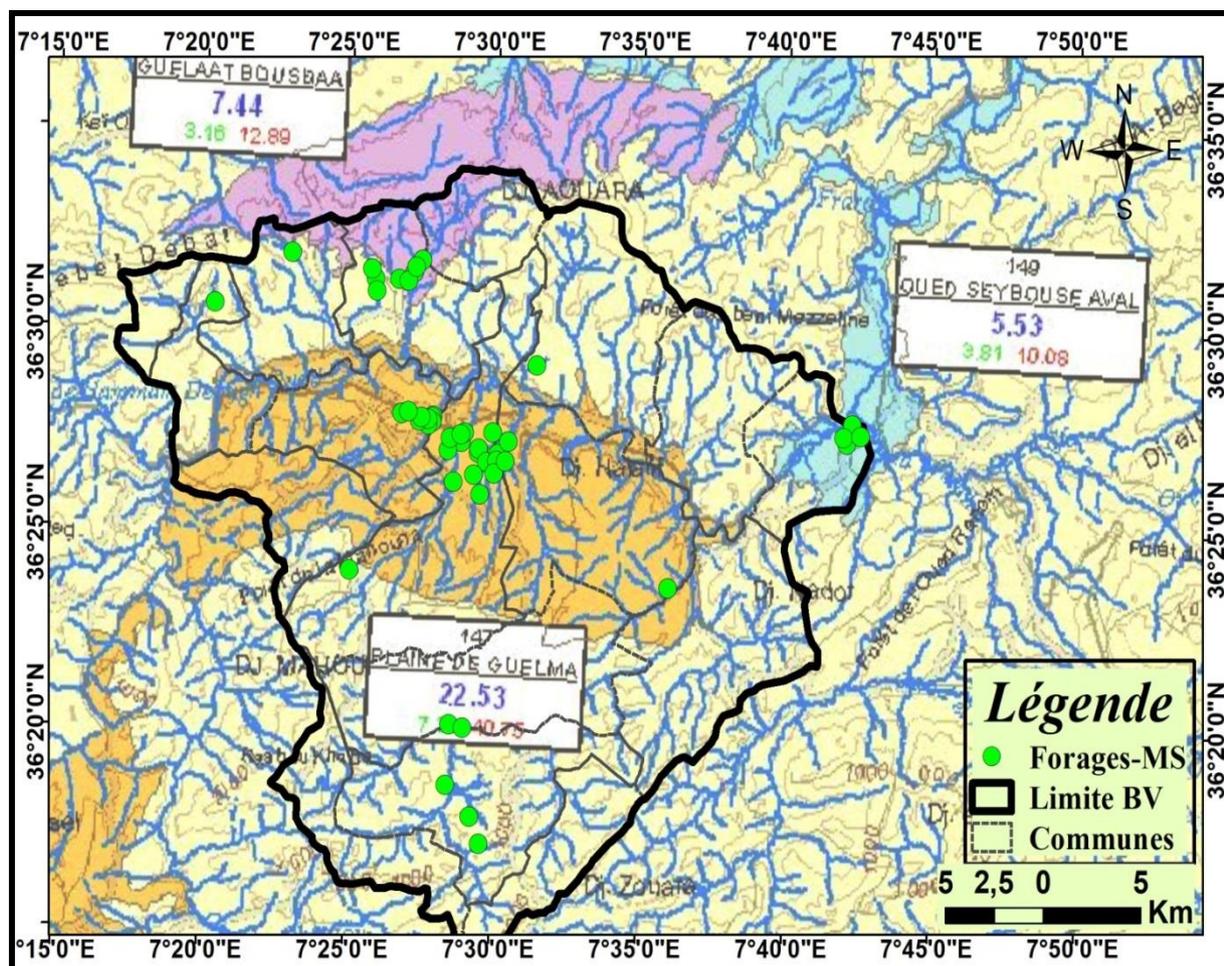


Figure 4.4: Point des forages de la nappe alluvionnaires de Guelma.

4.2.4.2 Géologie et stratigraphie :

- ➔ **Le Primaire** : Les terrains primaires ne présentent pas beaucoup d'affleurements, ils sont réduits et on les trouve au Nord du massif de Nador N'Bails à l'entrée des gorges de l'Oued Seybouse.
- ➔ **Le Trias** : On le trouve uniquement à l'extrémité Est de la plaine alluviale, il est formé d'argiles bariolées injectées de gypse, cargneules et de bancs disloqués de calcaires dolomitiques sombres.
- ➔ **Le Néritique** : Caractérisé par un faciès jurassique – crétacé plus ou moins karstifié, il est surmonté par plusieurs nappes de charriages et impliqué dans les grands accidents. Il apparaît aussi sous forme de fenêtre à Djebel Maouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest à Djebel Taya.
- ➔ **Le Jurassique** : Il est représenté par des dolomies noires avec des schistes calcaireuses de faibles épaisseurs dans la région de Djebel Debagh.
- ➔ **Le Crétacé** : Le Crétacé inférieur est représenté par des calcaires massifs ou lissés et de dolomies à algues d'âge Aptien, on le rencontre à Hammam Bradaa et Djebel Debagh.

4.2.4.3 Le Post – nappe :

➔ Le Mio-Pliocène :

Représenté au niveau du bassin de Guelma par des marnes à gypse, argiles et conglomérats rouges, il est considéré comme une formation post – nappe, où on y voit succéder deux cycles -la molasse de Guelma visible sur la route Guelma Bensmih, composé de grès jaunes friables, intercalés avec des formations argilo – marneuses grises ou jaunes parfois gypseuses.

4.2.4.4 Le Quaternaire :

Les formations du Quaternaire sont la base de cette étude puisque avec les formations pliocènes, constituent la roche réservoir de la nappe aquifère de Guelma, il occupe le centre du bassin et correspond au faciès de terrasses où l'on distingue :

➔ Les Alluvions anciennes :

Ce sont des éboulis mélangés parfois à des argiles numidiennes, elles sont localisées tout le long du versant Ouest du bassin, les terrasses d'alluvions anciennes dominant d'environ 55 m à 60 m le thalweg de la Seybouse, s'écartent pour former la grande plaine qui s'étend à

l'Est de Guelma, et se rattache vers le Sud à la terrasse pliocène qui atteint une altitude d'environ 90m à 100m au-dessus de la Seybouse, cette dernière comprend tantôt des limons avec cailloux roulés, tantôt des conglomérats intercalés de bancs marno – calcaires un peu travertineux.

➔ Les Alluvions récentes :

Elles forment la majeure partie de la vallée principale actuelle de l'Oued Seybouse, ce sont des cailloutis, galets et graviers calcaires parfois à ciment marneux (Mouassa S.2017).

4.3 Cadre climatique :

Pour connaître les mécanismes des eaux souterraines, il est impératif d'étudier les données climatiques pour déterminer les termes du bilan hydrologique, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et surtout l'infiltration qui représente le facteur de l'alimentation des nappes aquifères, et aussi un vecteur de pollution étant donné que les eaux infiltrées entraînent des polluants de différentes nature vers les eaux souterraines.

4.3.1 Analyse Des Paramètres Climatiques :

Dans le cadre de cette étude, **33 années** hydrologiques ont été choisies (**1988- 2020**), pour pouvoir utiliser le maximum des données plus récentes afin d'interpréter les paramètres climatiques mesurés au niveau de la station pluviométrique de Guelma (ONM) située à Belkheir choisie comme station de référence située à l'intérieur du Bassin (**Tableau 4.2, Figure 4.4**).

Tableau 4.2: Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique de Guelma.

Station	Coordonnées		Altitude (m)	Période d'observations
	Longitude	Latitude		
Guelma	07°28' E	36°28' N	227	1988-2020

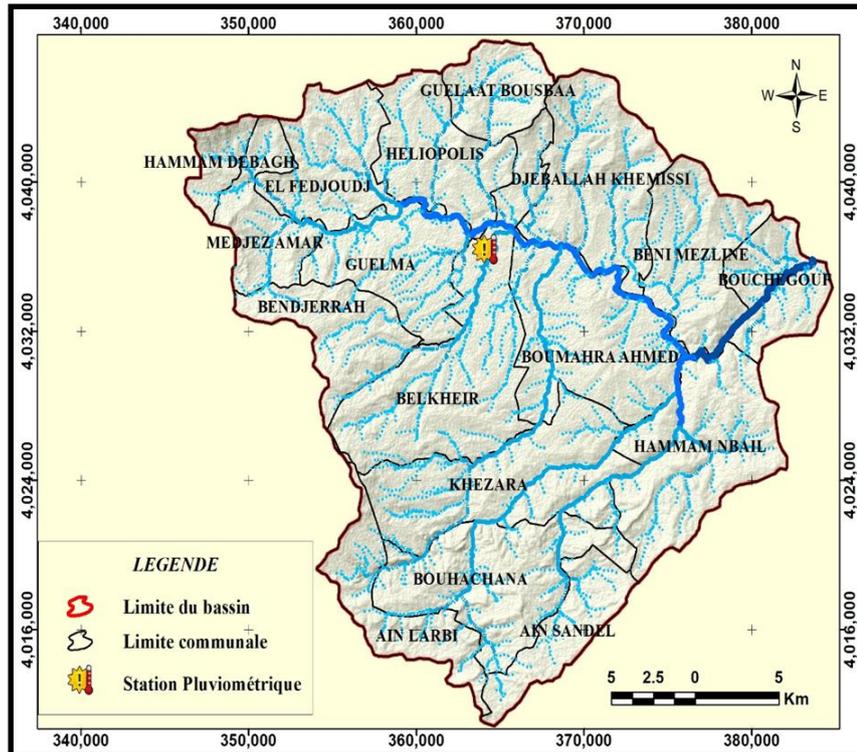


Figure 4.5: Localisation du poste pluviométrique de référence.

➔ La Pluviométrie :

La pluviométrie est un élément important du cycle de l'eau, elle permet le renouvellement total ou partiel des aquifères au moyen d'infiltrations et conditionne le débit saisonnier et le régime des cours d'eaux, en général quatre aspects sont discutés; il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

➔ Coefficient Pluviométrique :

Le coefficient pluviométrique (CP) correspond à l'évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires et les années déficitaires.

Si :

- ▶ $CP > 1 \Rightarrow$ on a une année excédentaire.
- ▶ $CP < 1 \Rightarrow$ on a une année déficitaire.

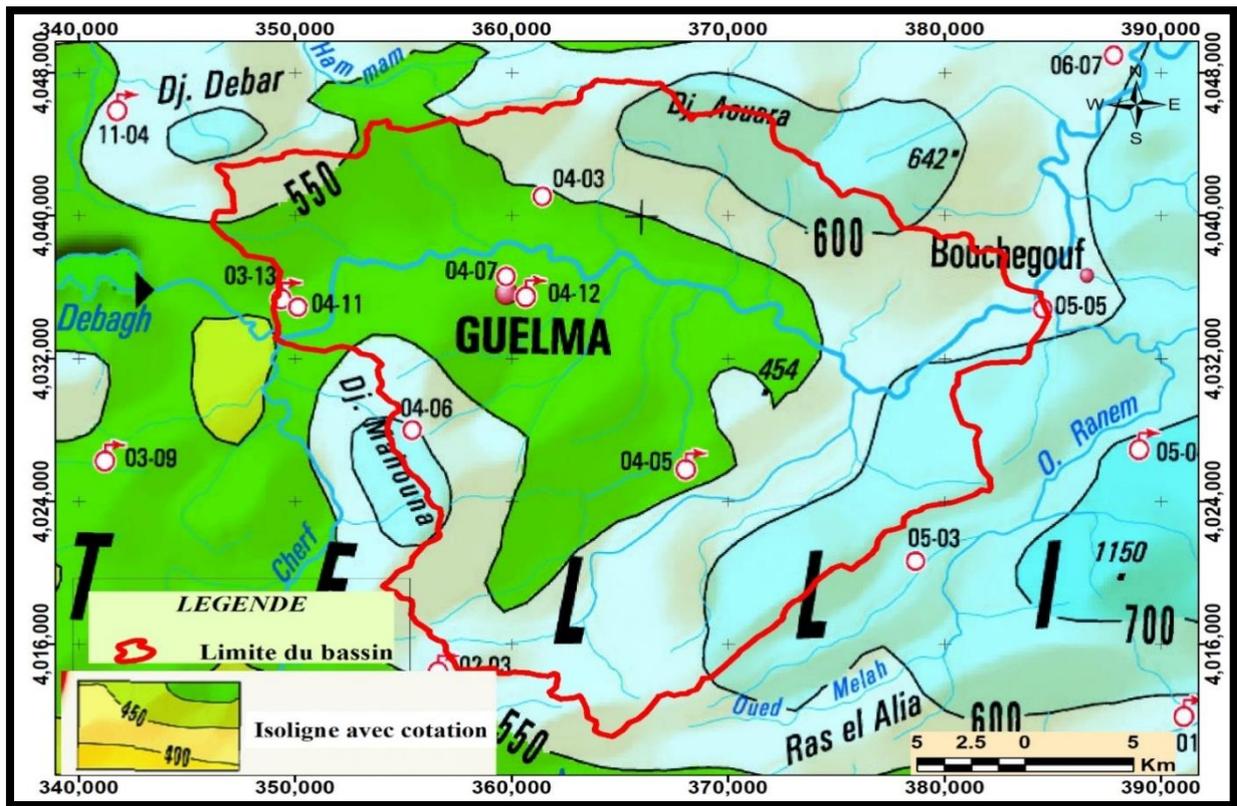


Figure 4.6 : Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie – ANRH 2005 –

Le calcul du coefficient de variation durant la période d'observation (**Tableau 4.3**) met en évidence 19 années déficitaires et 14 autres excédentaires.

Tableau 4.3: Evolution du coefficient pluviométrique (1988/2020).

Année	P (mm)	CP	Type de l'année	Année	P (mm)	CP	Type de l'année
1988	455.50	0.75	D	2005	540.70	0.89	D
1989	459.80	0.76	D	2006	478.30	0.79	D
1990	633.90	1.05	E	2007	723.00	1.19	E
1991	564.80	0.93	D	2008	381.80	0.63	D
1992	982.50	1.62	E	2009	890.30	1.47	E
1993	519.10	0.86	D	2010	614.10	1.01	E
1994	457.00	0.76	D	2011	711.00	1.17	E
1995	579.20	0.96	D	2012	571.00	0.94	D
1996	734.80	1.21	E	2013	630.60	1.04	E
1997	620.40	1.03	E	2014	511.70	0.85	D
1998	691.60	1.14	E	2015	668.60	1.10	E
1999	596.50	0.99	D	2016	464.80	0.77	D
2000	405.30	0.67	D	2017	508.60	0.84	D
2001	487.00	0.80	D	2018	597.50	0.99	D
2002	503.80	0.83	D	2019	688.30	1.14	E
2003	938.50	1.55	E	2020	556.00	0.92	D
2004	804.80	1.33	E				

E : excédentaire, **D** : déficitaire

Avec :

P : Pluviométrie de l'année considérée et \bar{P} : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude, qui est donnée par l'équation :

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum P_i \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\bar{P} = 605.18 \text{ mm}$$

Où : **i** = 1, et **N** = 33

La **Figure 4.7** montre une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum et un minimum de l'ordre de 982.5 mm (1992) et 381.8 mm (2008) respectivement et une limite de 605.18 mm qui différencier les années déficitaires ($P < 605.18$ mm) des années excédentaires ($P > 605.18$ mm), cette période d'observation présente 19 années déficitaires et 14 années excédentaires.

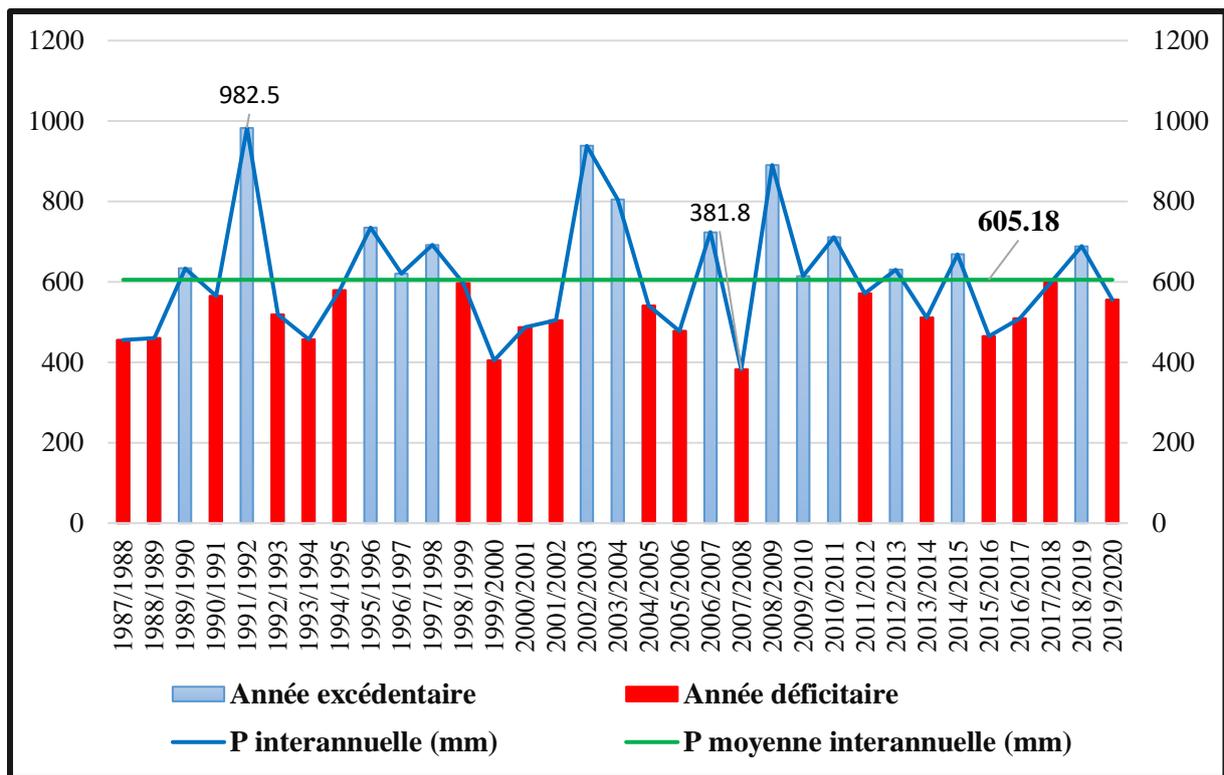


Figure 4.7: Variation annuelle des précipitations a la station de Guelma (1988-2020).

4.3.2 Répartition Saisonnière Des Précipitations :

Les précipitations sont réparties suivant les saisons agricoles [Automne (S, O, N), Hiver (D, J, F), Printemps (M, A, M) et Eté (J, J, A)].

Les pourcentages moyens des pluies tombées chaque saison pour la période (1988/2020) sont calculés par l'équation suivante :

$$P\% = \frac{\overline{P_S}}{\overline{P_T}} \times 100 ; \quad \overline{P_S} = \frac{1}{N} \sum P_i \dots\dots\dots (4.2)$$

Avec :

P% : Pourcentage moyen des pluies tombé chaque saison.

$\overline{P_S}$: Pluviométrie moyenne pour chaque saison (mm).

$\overline{P_T}$: Pluviométrie totale de la période observé (mm).

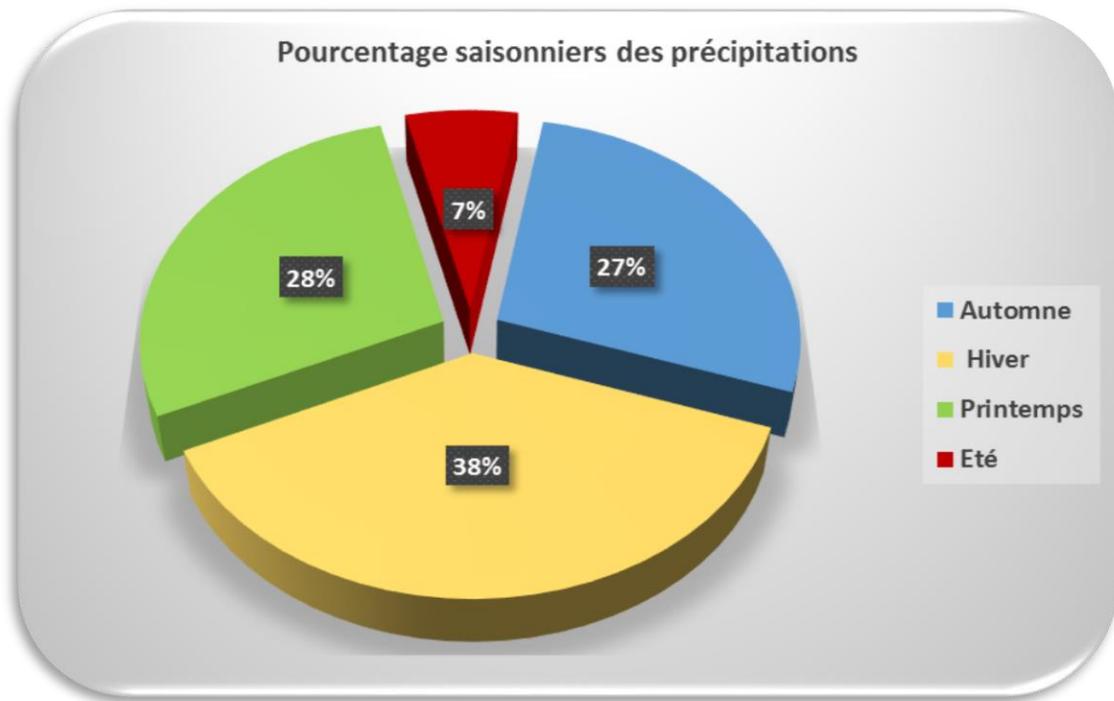


Figure 4.8: Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 1988 à 2020.

4.3.3 Répartition Moyennes Mensuelles Des Précipitations :

Le **tableau 4.4** et la **Figure 4.9** récapitule la répartition des moyennes mensuelles des relevés pluviométriques à la station de Guelma sur la période de 33 ans.

Tableau 4.4: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P moy (mm)	41.39	48.61	76.15	78.19	86.83	64.20	67.09	57.93	45.21	17.02	5.34	17.21

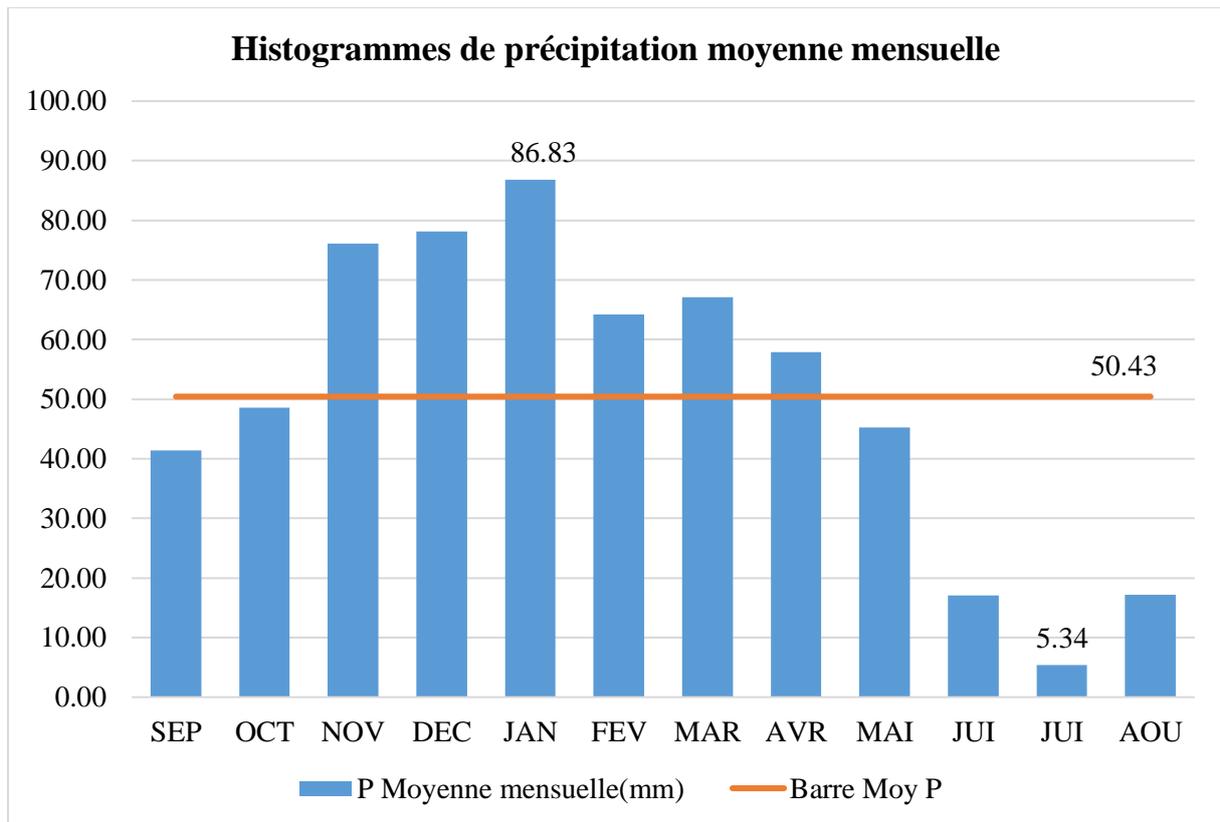


Figure 4.9: Répartition des précipitations moyennes mensuelles interannuelles à la station de Guelma (1988-2020).

Nous observons durant ces **33 ans**, une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles avec une précipitation moyenne annuelle de **50.43 mm**, un minimum de l'ordre de **5.34 mm** enregistré pendant le mois de juillet et un maximum de l'ordre de **86.83mm** enregistré pendant le mois de janvier.

4.3.4 Répartition moyennes annuelles des pluies :

Sur un cycle de 33 ans (1988-2020), les précipitations observées à la station de Guelma sont très variables d'année en année, ainsi l'année la plus sèche est celle de (2007/2008) avec 381.8 mm/an et l'année la plus arrosée est celle de (1991-1992) avec 982.5 mm/an. Les résultats sont représentés dans le **tableau 4.5** et la **figure 4.10**.

Tableau 4.5: Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020).

Années	P (mm)	Années	P (mm)
1987/1988	455.5	2004/2005	540.7
1988/1989	459.8	2005/2006	478.3
1989/1990	633.9	2006/2007	723
1990/1991	564.8	2007/2008	381.8
1991/1992	982.5	2008/2009	890.3
1992/1993	519.1	2009/2010	614.1
1993/1994	457	2010/2011	711
1994/1995	579.2	2011/2012	571
1995/1996	734.8	2012/2013	630.6
1996/1997	620.4	2013/2014	511.7
1997/1998	691.6	2014/2015	668.6
1998/1999	596.5	2015/2016	464.8
1999/2000	405.3	2016/2017	508.6
2000/2001	487	2017/2018	597.5
2001/2002	503.8	2018/2019	688.3
2002/2003	938.5	2019/2020	556
2003/2004	804.8		

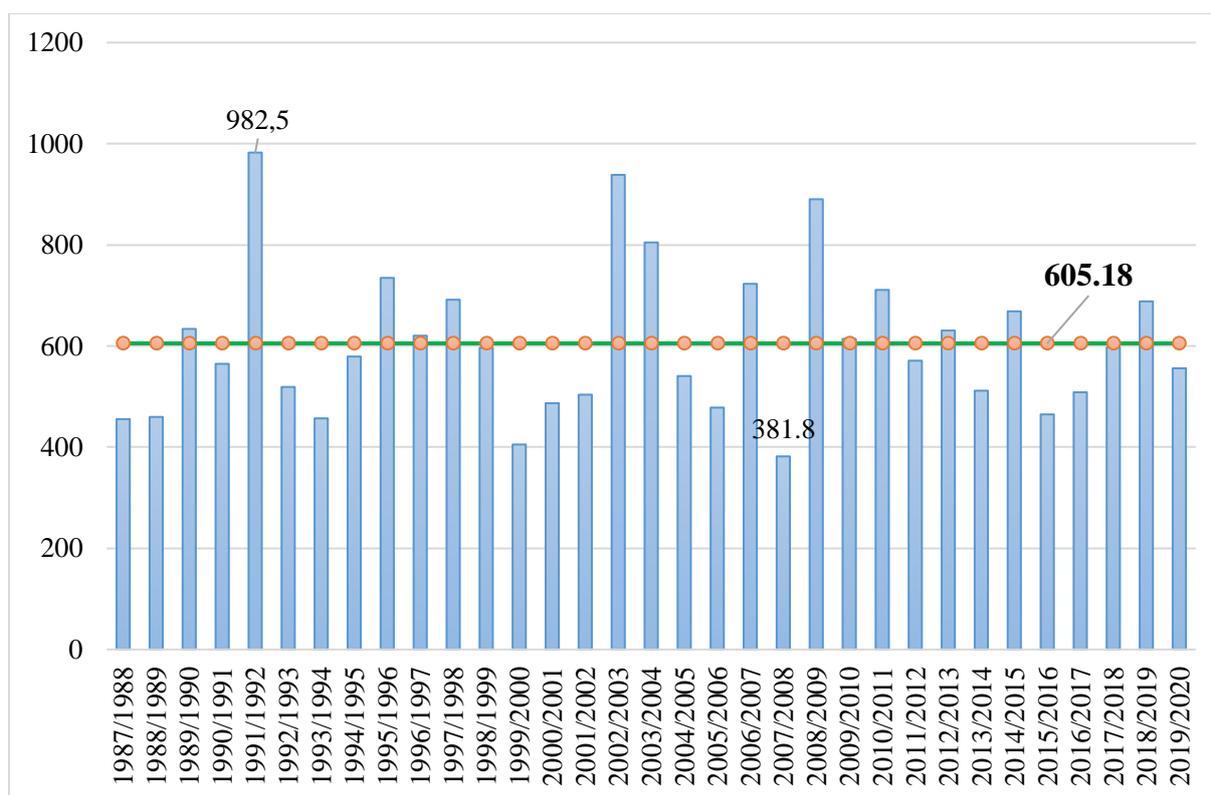


Figure 4.10: Précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020).

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de Guelma sur la période allant de 1988 jusqu'au 2020 permet de dire :

- ▶ La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 605.38 mm et elle est très variable à l'échelle annuelle.
- ▶ Le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 86.83mm.
- ▶ Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec une moyenne de 5.34 mm.
- ▶ La saison hivernale est la plus pluvieuse avec un pourcentage de 38 % de pluie annuelle (une moyenne de 229.22 mm/mois).
- ▶ L'été est le plus sec avec un pourcentage de 7 % de la pluie annuelle (une moyenne de 39.58 mm/mois), le reste du pourcentage des pluies annuelles est répartie entre le Printemps et l'Automne.

4.3.5 Évolution des températures :

La température est un paramètre indispensable à la climatologie, vu de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau, ce facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologique,

La température est un facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologique, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

4.3.6 Répartition des températures moyennes mensuelles interannuelles :

- ▶ La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la **période froide** avec un minimum durant le mois de janvier de (9.67 °C)
- ▶ La **période chaude** commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois d'août (27.37°C).
- ▶ La moyenne annuelle est de l'ordre de 17.82 °C.

Le **tableau 4.6** récapitule les températures moyennes mensuelles interannuelles, qui ont été reportées également dans la **figure 4.11**.

Tableau 4.6: Moyennes mensuelles interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Temp moy (°C)	23.75	20.09	14.52	10.92	9.67	10.06	12.41	14.93	19.13	23.89	27.07	27.37

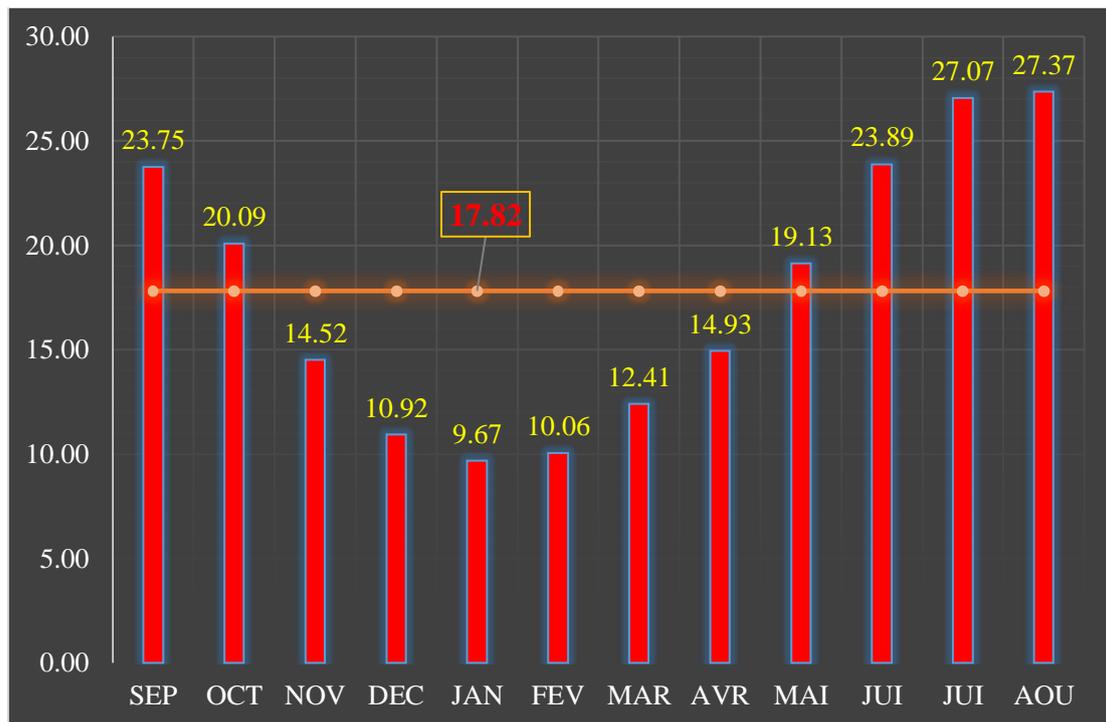


Figure 4.11: Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020).

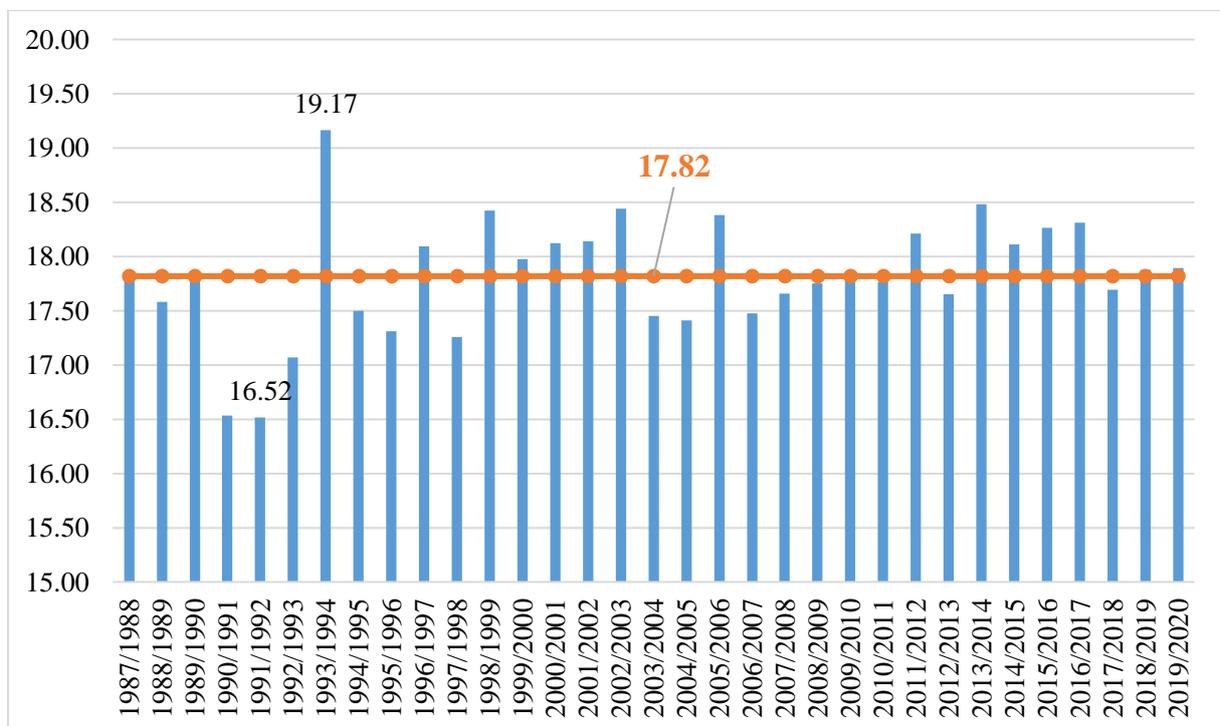
4.3.7 Répartition des températures moyennes annuelles (1988-2020) :

Le **tableau 4.7** et la **figure 4.12** présentent la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 33 ans (1988-2020).

On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre : l'année la plus chaude est 1994 avec une température moyenne égale 19.17°C , tandis que l'année la plus froide est l'année 1992, avec une moyenne de température égale à 16.52°C .

Tableau 4.7: Moyenne annuelle des températures à la station de Guelma (1988-2020).

Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)
1987/1988	17.83	1998/1999	18.43	2009/2010	17.84
1988/1989	17.58	1999/2000	17.98	2010/2011	17.77
1989/1990	17.82	2000/2001	18.13	2011/2012	18.21
1990/1991	16.53	2001/2002	18.14	2012/2013	17.65
1991/1992	16.52	2002/2003	18.44	2013/2014	18.48
1992/1993	17.07	2003/2004	17.45	2014/2015	18.11
1993/1994	19.17	2004/2005	17.41	2015/2016	18.27
1994/1995	17.50	2005/2006	18.38	2016/2017	18.31
1995/1996	17.31	2006/2007	17.48	2017/2018	17.69
1996/1997	18.09	2007/2008	17.66	2018/2019	17.88
1997/1998	17.26	2008/2009	17.75	2019/2020	17.89

**Figure 4.12:** Variation de températures annuelles à la station de Guelma (1988-2020).

4.4 Indices climatiques :

Les indices climatiques donnent un aperçu sur les caractéristiques du climat de la région.

4.4.1 Calcul de l'indice d'aridité de Martonne (1923) :

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

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en °C.

A : indice d'aridité annuelle.

Selon De Martonne :

Si :

- ▶ $A < 5 \Rightarrow$ le climat est hyperaride.
- ▶ $5 < A < 7.5 \Rightarrow$ le climat est désertique.
- ▶ $7.5 < A < 10 \Rightarrow$ le climat est steppique.
- ▶ $10 < A < 20 \Rightarrow$ le climat est semi-aride.
- ▶ $20 < A < 30 \Rightarrow$ le climat est tempéré.
- ▶ $A > 30 \Rightarrow$ l'écoulement est abondant (climat humide).

Tableau 4.8: Indice annuel d'aridité (A).

Stations	P (mm)	T (°C)	A	Observation
Guelma	605.18	17.82	21.75	Climat tempéré

4.4.2 Climagramme D'EMBERGER :

Le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée, il est déterminé à partir de la formule :

$$Q = \frac{2000 \times P}{T_{Max}^2 - T_{Min}^2}$$

Dont :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T_{Max}^2 : La température maximale du mois le plus chaud en °C.

T_{Min}^2 : La température minimale du mois le plus froid en °C.

En appliquant la formule suivante élaborée par STEWART (1968) pour l'Algérie et le Maroc, soit :

$$Q = 3.43P / (M-m)$$

Avec:

Q : Quotient pluviométrique d'Emberger.

P: Précipitation moyenne annuelle (mm).

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (°C).

Pour notre cas:

Tableau 4.9: Paramètres climatique déterminant l'indice d'EMBERGER.

P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q
605.18	27.37	9.67	117.29

La température minimale enregistrée pendant le mois de janvier au cours des **33 ans** dans cette station est $9.95\text{ }^{\circ}\text{C}$, donc, la position de la station de Guelma sur le climagramme se situe aux coordonnées suivantes (9.67 ; 117.29).

Selon le Climagramme d'Emberger, le climat auquel appartient la zone d'étude est de type Subhumide (**Figure 4.13**).

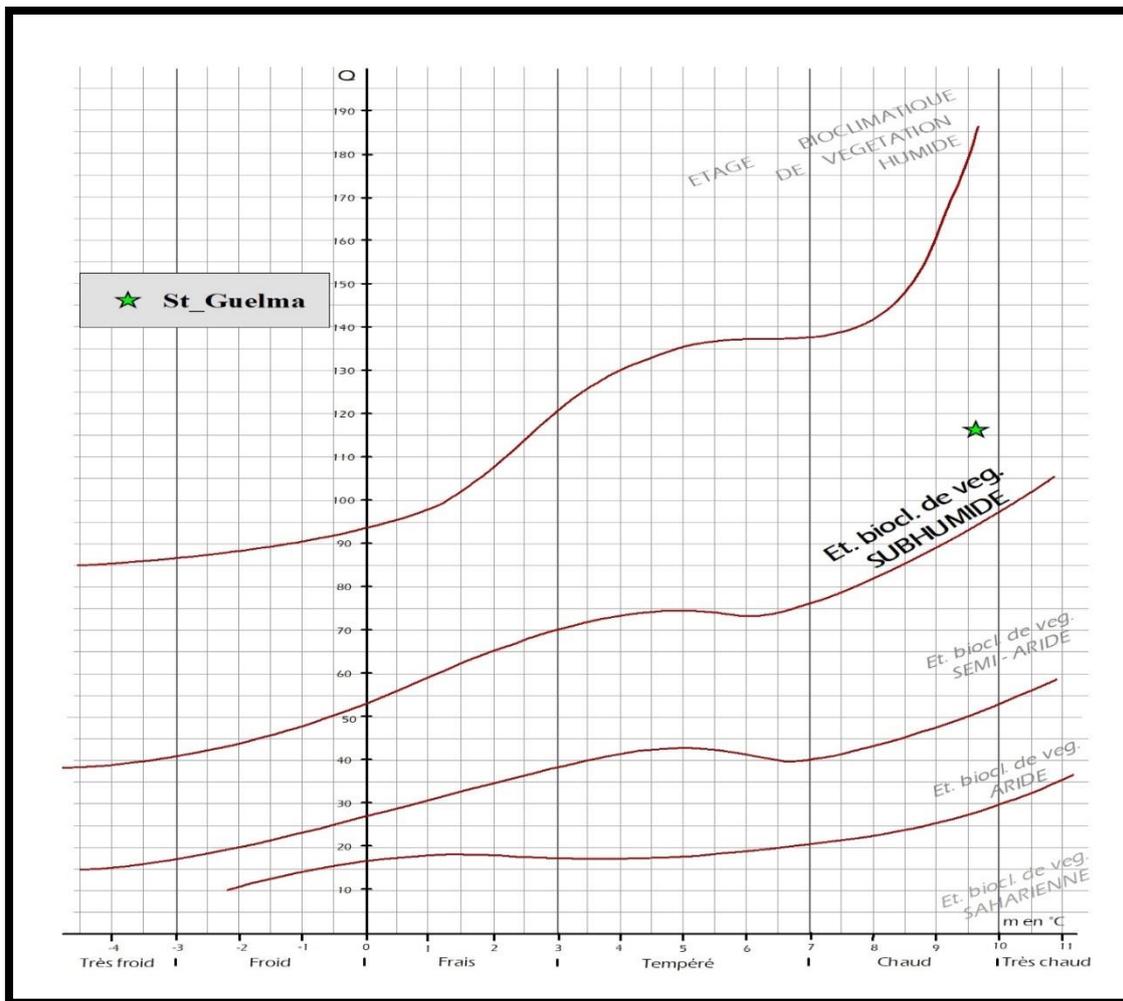


Figure 4.13: Position de la station de l'ONM: de Guelma sur le Climagramme d'EMBERGER.

4.5 Notion Du Bilan D'eau :

Le bilan d'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves, ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et

évapotranspiration), pour cela, on va se baser sur les données de la station : de Guelma, qui possède une série d'observation homogène et continue de 33 ans (1988-2020).

4.5.1 Étude de l'évapotranspiration :

L'évaporation constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représenté par une quantité d'eau est restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur, l'évapotranspiration englobe l'ensemble de 02 phénomènes :

- **L'évaporation:** c'est un phénomène physique de la transformation d'eau en vapeur d'eau, à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, marécage, cours d'eau,) et du sol.
- **La transpiration:** la transpiration est un phénomène biologique lié à la couverture végétale, à son stade de développement et à sa nature.

On distingue :

- ▶ L'évapotranspiration réelle (**ETR**).
- ▶ L'évapotranspiration potentielle (**ETP**).

4.5.1.1 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température, l'évapotranspiration réelle est en fonction de la quantité de pluie tombée dans le bassin de la réserve maximale en eau du sol.

Il existe plusieurs formules pour le calcul de l'**ETR**, mais on choisie le calcul par le bilan hydrique de **Thornthwaite**, pour l'établissement de ce bilan on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne par la méthode de C.W. Thornthwaite.

Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

- ▶ La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement.
- ▶ Le calcul de l'ETR peut s'effectuer suivant deux cas :

1^{er} cas : $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$ on à alors un excédent.

2^{eme} cas: $P < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$.

La méthode de **Thornthwaite** convient aux régions humides de la zone tempérée, contrairement à celle des autres formules qui présentent un caractère universel, donc on peut dire que cette méthode s'avère plus adaptée, en plus il y a similitude des conditions dans lesquelles elle a été émise avec celle qui règnent dans notre région d'étude, elle admet un coefficient de correction K.

4.5.1.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP) :

On appelle évapotranspiration potentielle (**ETP**), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la méthode de Thornthwaite qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, cet auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (**i**), où :

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$I = \sum_i^{12} i \dots\dots\dots (4.4)$$

$$a = \frac{1.6 I}{100 + 0.5} \dots\dots\dots (4.5)$$

$$ETP = 16 \times \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \times K \dots\dots\dots (4.6)$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

T : Température moyenne du mois considéré en °C.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

i : Indice thermique mensuel.

Les résultats obtenus sont portés dans les **tableaux 4.10**.

4.5.1.3 Estimation des réserves facilement utilisables (RFU) :

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

- ▶ La nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- ▶ La profondeur du niveau piézoélectrique de la nappe aquifère.
- ▶ Le climat de la région.
- ▶ Le type de la couverture végétale.

La RFU pour la région d'étude, en tenant compte de tous ces facteurs varie entre 39.5 à 100mm.

Tableau 4.10: Bilan Hydrique de Thornthwaite de la station de Guelma (1988-2020).

Mois	Tp	IT	CL	ETP	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	23.75	10.6	1.03	110.7	41.39	-69.3	-0.6	0.0	0.0	41.4	69.3	0.0
O	20.09	8.2	0.97	76.1	48.61	-27.5	-0.4	0.0	0.0	48.6	27.5	0.0
N	14.52	5.0	0.86	36.7	76.15	39.5	1.1	39.5	39.5	36.7	0.0	0.0
D	10.92	3.3	0.81	20.2	78.19	58.0	2.9	58.0	97.5	20.2	0.0	0.0
J	9.67	2.7	0.87	17.3	86.83	69.5	4.0	2.5	100.0	17.3	0.0	67.0
F	10.06	2.9	0.85	18.2	64.20	46.0	2.5	0.0	100.0	18.2	0.0	46.0
M	12.41	4.0	1.03	32.7	67.09	34.4	1.1	0.0	100.0	32.7	0.0	34.4
A	14.93	5.2	1.10	49.4	57.93	8.5	0.2	0.0	100.0	49.4	0.0	8.5
M	19.13	7.6	1.21	86.6	45.21	-41.4	-0.5	-41.4	58.6	86.6	0.0	0.0
J	23.89	10.7	1.22	132.6	17.02	-115.6	-0.9	-58.6	0.0	75.7	56.9	0.0
J	27.07	12.9	1.24	170.4	5.34	-165.0	-1.0	0.0	0.0	5.3	165.0	0.0
A	27.37	13.1	1.16	162.8	17.21	-145.6	-0.9	0.0	0.0	17.2	145.6	0.0
Annuel	17.82	86.2		913.58	605.18	-308.4				449.26	464.31	155.91

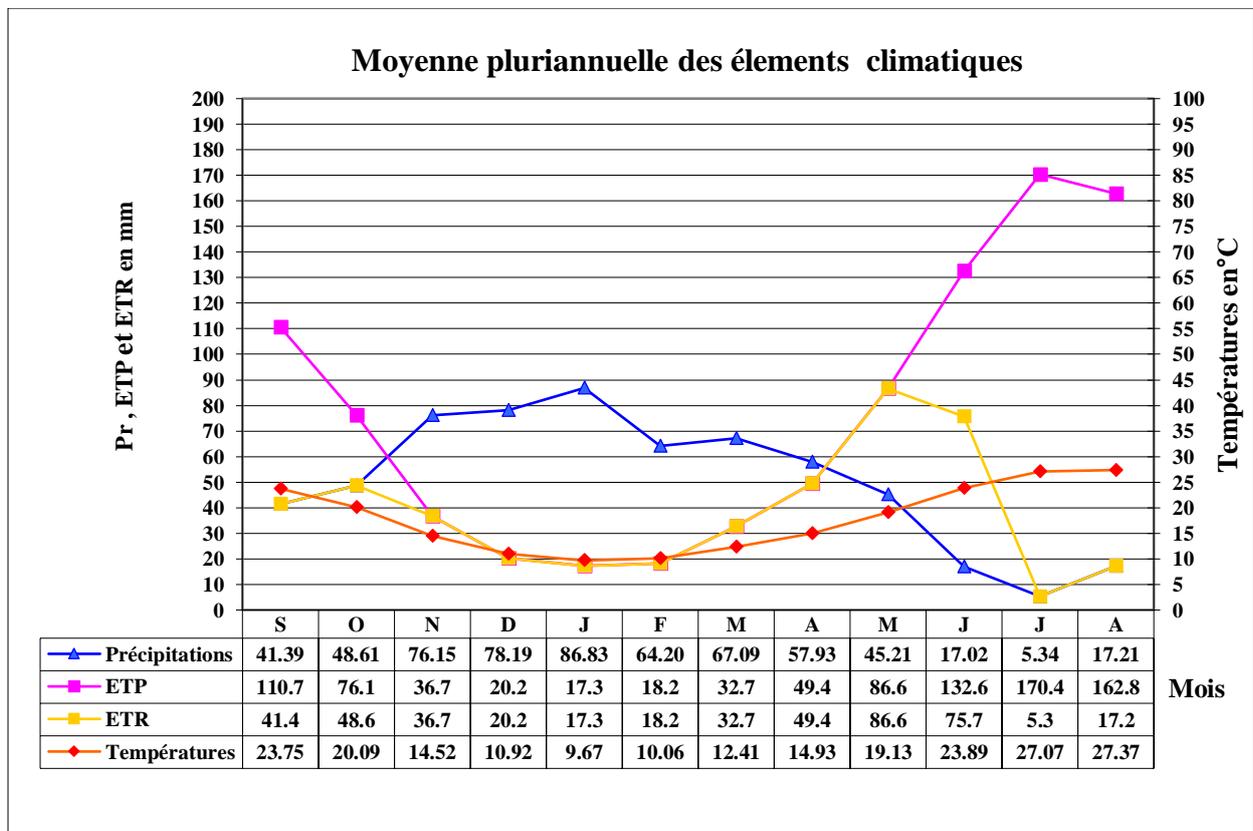


Figure 4.14: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station de Guelma (1988-2020).

Avec :

P : Précipitation moyenne mensuelle en mm.

T : Température moyenne mensuelle en °C.

ETP : Evapotranspiration potentielle en mm.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

RFU : Réserve facilement utilisable (RFU=100mm). Pour le calcul du Bilan la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du sol.

EXC : Excédent en mm.

DA : Déficit agricole en mm.

↳ **Formules de vérification :**

$$P = \sum ETR + \sum EX ; \quad ETP = \sum ETR + \sum DA$$

A.N :

$$P = 449.26 + 155.91 = 605.18 \text{ mm.}$$

$$ETP = 449.26 + 464.31 = 913.58 \text{ mm.}$$

Nous constatons que les résultats issus des bilans hydriques sont vérifiés.

4.5.2 Estimation de la lame d'eau Écoulée :

Pour déterminer le bilan hydrologique, il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre.

Le ruissellement (R) peut être calculé par la formule Tixeront Berkallof :

$$R = \frac{p^3}{3 \times ETP^2} \dots\dots\dots (4.7)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne en m.

R : Ruissellement en m.

ETP : Evapotranspiration potentielle en m.

La lame d'eau ruisselée des précipitations de la station est reportée sur le tableau qui suit :

Tableau 4.11: Ruissellement selon la formule de Tixiront-Berkaloff.

Station	P(m)	ETP(m)	R (m)
Guelma	0.605	0.914	0.089

↳ A l'issue de cette étude climatologique, on peut établir le bilan hydrologique à partir des différents facteurs calculés.

$$P = ETR + R + Ie \dots\dots\dots (4.8)$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en mm/an.

ETR : Evapotranspiration réelle en mm/an.

Ie : Infiltration efficace en mm/an.

4.5.3 Infiltration Efficace :

La disponibilité des différents facteurs régissant l'équation du bilan hydrologique nous permet de déterminer l'infiltration efficace (Ie) qui s'écrit comme suit :

$$Ie = P - ETR - R \dots\dots\dots (4.9)$$

Tableau 4.12: Les valeurs de l'infiltration efficace.

Station	P		ETR		R		Ie	
	(mm/an)	%	(mm/an)	%	(mm/an)	%	(mm/an)	%
Guelma	605.18	100	449.26	74.24	88.52	14.63	67.4	11.14

4.6 Conclusion :

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien Nord oriental. Elle est constituée par des terrains sédimentaires dans l'ensemble sont d'âge Crétacé, Oligocène, Mio-pliocène et quaternaire, ces alluvions sont perméables constituées des nappes de terrasses qui ont un intérêt hydrogéologique, ces aquifères sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et les apports latéraux du bassin versant de l'Oued Seybouse.

La synthèse des données climatiques nous permet de constater que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures relativement élevées, la température moyenne annuelle dans la région d'étude est de l'ordre de 17.82°C, et la moyenne annuelle des précipitations est de 605.18 mm, l'infiltration efficace représente 11.14 % des précipitations, qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines.

Chapitre V:

Résultats et discussions

Chapitre V: Résultats et discussions

5.1 Introduction :

La composition chimique de l'eau joue un rôle important pour la détermination de sa qualité, et son attribution pour l'alimentation en eau potable, irrigation, industrie (Debieche.2002), la chimie des eaux (eaux de surface, nappe superficielle et nappe des graviers) est souvent influencée par l'effet de la dissolution des formations géologiques, les rejets industriels et l'activité agricole, (Kherici .1993), (Djabri .1996), (Lauhi .1996), (Zenati .1999).

L'évaluation, la quantification de la pollution ou les principales manifestations de la pollution des eaux de surface sont de nature chimique ou biologique et peuvent être pathogènes pour l'homme (Haddou 2010), cette pollution n'est pas figée mais elle suit le sens des écoulements des eaux provoquant ainsi le déplacement des polluants d'une zone à une autre, ce qui nécessite une bonne connaissance de la région à étudier.

Le bassin de Guelma a connu une urbanisation rapide et un développement industriel marqué, par conséquent, ce développement socio-économique s'accompagne d'une augmentation des débits des rejets des eaux usées, et du degré de pollution des eaux de surfaces et souterraines.

L'étude du chimisme des eaux, consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux de la région destinée à l'AEP.

Dans ce chapitre on va présenter : le prélèvement, l'échantillonnage et les analyses utilisés dans ce travail.

5.2 Échantillonnage et analyse des paramètres physico- chimiques (eaux des sources) :

5.2.1 Échantillonnage des points :

Pour évaluer la qualité des eaux souterraines de la région d'étude (Nappe alluvionnaire de Gualma), **25 sites** de prélèvement ont été échantillonnés pendant la période d'étude allant du mois du **07 Février** au **07 Mars 2023**, ces sites de prélèvement qui ne sont que des forages et puits, sont désignés, selon le service de l'exploitation des eaux de ville de Guelma, lors de la campagne effectuée, ces échantillons d'eau ont été destinés aux analyses nécessaires, au sein de laboratoire de contrôle de qualité des eaux ADE- Hammam Debagh- Guelma.



Figure 5.1: Station de traitement Hammam Debagh Guelma (ADE).

Soucieuse de la qualité de l'eau de consommateurs, l'algérienne des eaux s'est dotée des moyens techniques et d'un laboratoire d'analyses dans lequel se fait d'une façon quotidienne des analyses d'eau des différents sites de production, de stockage et de distribution.



Figure 5.2: Laboratoire de station de traitement Hammam Debagh-ADE Guelma-.

Le laboratoire fait plusieurs activités résumé dans l'objectif du contrôle de la qualité Physico-chimique et bactériologique de l'eau destiné pour les habitants de la ville.

Les échantillons d'eau ont été recueillis dans des bouteilles de 500 ml en plastiques propres, au moment de l'échantillonnage, les bouteilles ont été rincées à fond deux à trois fois par l'eau de source à échantillonner.

Les **25 points d'eau ciblés** ont été présélectionnés pour qu'ils soient les mieux représentatifs et captent les différents aquifères, sources d'alimentation de la ville de Guelma (**Figure 5.3**), les analyses physico-chimique (T, pH, CE, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^- , NO_3^-)

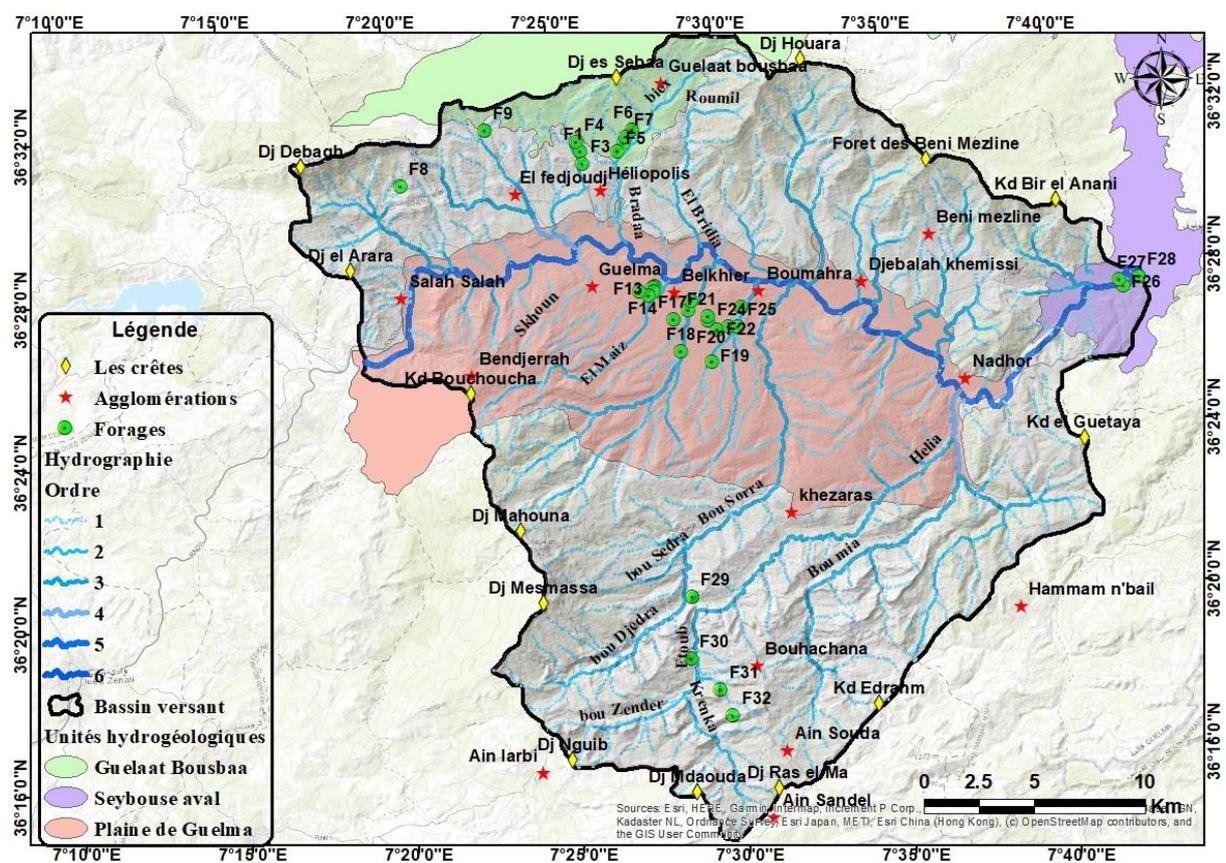


Figure 5.3: Carte des points d'eau prélevés dans le bassin versant de la moyenne –Seybouse-

Une partie des besoins en eau de la ville de Guelma, Belkheir et Boumahra Ahmed, Bouchegouf sont assurées par la nappe alluvionnaire de Guelma, par l'intermédiaire de forages de captage, ces forages assurent l'approvisionnement en eau à travers un réseau d'adduction vers des réservoirs d'accumulations qui refoule l'eau vers les zones citées ci-dessus, l'autre partie des forages est destinée à l'irrigation et l'industrie (**Tableau 5.1**).

Tableau 5.1: Représentation des forages avec leurs caractéristiques.

N°	Commune	Nom	Gestion et Destination	Profond (m)	Q.Mob (l/s)	Q. Exp (l/s)	Q.Exp. Pop (l/s)
1	Guelma	Oued Maiz OM1(puits)	ADE (AEP Guelma)	45	10	4	4
2		Oued Maiz (Eucalyptus)	ADE (AEP Guelma)	65	10	9	5
3		Oued Maiz tarha Daoura)	ADE (AEP Guelma)		30	22	7
4		Oued Maiz OM2 (rail)	ADE (AEP Guelma)	60	10	9	5
5		Ex Sogedia G6 Bis	ADE(AEP)	48	15	8	4
6		Jerodon N, O /MAIZ	ADE (AEP Guelma)	162	16	7	7
7		Sonacome F1	AEI	66.5	10	8	8
8		F - SNIC-	AEI	117	10	10	10
9	Belkheir	SNTR- G2 (Oued Zimba)	ADE (AEP Belkheir)	140	12	11	7
10		BK1	ADE (AEP Guelma)	90	28	28	10
11		BK2 Nouveau (MATAR)	ADE (AEP Belkheir)	140	18	10	7
12		Guelma G5 Bis	ADE (AEP Belkheir)	140	7	5	4
13		BA2	ADE (AEP Salah Soufi+chihaoui)	100	15	11	7
14		BA3	ADE (AEP Boumahra)	100	18	8	8
15		Capra	Ferme pilote (IRR)	140	20	0	0
16		Sogedia G4	AEI (IND SOGEDIA)	114	35	10	10
17		BC1	ADE (AEP Belkheir)	95	25	12	7
18		BC2	ADE (AEP TRANS BOUCHEG)	95	25	12	7
19		Zone industrielle	AEI (IND zone industrielle)	120	8	8	0
20		Rihana	ADE (AEP Bouchegouf)	130	14	10	0
21	Boumahra	Sogedia	AEI (IND SUCRERIE)	84	20	15	15
22		BA1 Ter	ADE (AEP BOUMAHRA)	182	12	4	3
23		BA5 (Dardar)	ADE (AEP BOUMAHRA)	90	25	25	17
24		Zitouna	ADE (AEP Bouchegouf)	120	14	10	0
25		BA4 ORAVIE	ADE (AEP Boumahra)	80	25	20	13
Total				--	432	278	165

5.2.2 Analyses physico-chimiques des eaux :

Les sites de prélèvements couvrent : **Guelma** chef lieu **Belkheir** et **Boumahra** (**Figure 5.3**), car le nombre de population est très important par rapport aux d'autres zones d'habitations dans la commune (cas des autres commune), le choix de ces sites est basé sur les eaux des sources pérennes, leur accessibilité et la présence ou non de sources de pollution susceptibles de modifier la qualité des eaux de sources.

► Préparation de sortie sur site :

Le travail de terrain dans n'importe quelle discipline doit être précédé par des préparations:

- D'abord préparer les bouteilles propres avec des étiquettes explicatives (nom de forage), les bouteilles qui ont été utilisées sont en plastique et couvertes de papier aluminium pour protéger le contenu de la lumière, ces bouteilles doivent être rincées avec de l'eau à prélever.
- Préparer du matériel de mesure qui sera utilisé sur terrain: **PH mètre, conductimètre, chronomètre, carte topographie** et de **l'eau distillée**.

Cinq paramètres physico-chimiques (T, pH, conductivité, Turbidité, TDS) sont mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un appareil multi paramètres (une description détaillée de la méthode des mesures et de la précision des appareils est présentée à **l'annexe 2**).

► Conservation des échantillons d'eau :

Le tableau ci-dessous donne quelques conditions de conservation des prises d'essais pour l'analyse physico-chimique :

Tableau 5.2: Condition de conservation des prises d'essais pour L'analyse Physico-chimique.

Eléments analysé	Réceptient	Technique de conservation	Volume minimum d'un prélèvement en (mm)	Température de conservation °C	Effectuer la mesure avant
Ph	P ou V	Mesure in situ (de préférence)	100	4	24h (obs)
Conductivité	P ou Vb	Mesure in situ (de préférence)	100	4	48h (obs)
Alcalinité (TA, TAC)	P ou Vb	/	200	4	24h (obs)
Turbidité	P ou V	/	100	4	24h (obs)
Dureté (TH)	P ou V	Acide nitrique q.s.p.pH<2	100	/	1 mois
Calcium et Magnésium	V	Acide nitrique	800	/	Plusieurs mois
Nitrates	P ou V	/	300	4	48h (obs)
Phosphates	P ou V	/	300	4	48h (obs)
Sulfates	P ou V	/	300	4	7 jours
Ammonium	P ou V	/	/	4	48h (obs)
Chlorure	P ou V	/	100	/	15 jours
Résidus sec	P ou V	/	200	4	7h (obs)
Odeur Couleur Saveur	P ou V	/	500	4	6h (obs)

V: Verre, **Vb:** Verre Borosilicaté, **Obsc:** obscurité, **P:** Polyéthylène

5.2.2.1 Les analyses physico chimiques :

➡ Analyses in situ:

On procède au prélèvement des échantillons :

Les forages possèdent généralement des vannes d'où se fera le prélèvement, on laisse l'eau couler pendant quelque temps ensuite on rince les bouteilles avec cette eau et on ferme soigneusement de sorte que les bouteilles ne contiennent pas de l'air (2 à 3 bouteilles pour chaque point de prélèvement).

► Analyses au laboratoire:

Au cours de cette étape, on doit tout d'abord mettre les échantillons qui seront analysés ultérieurement au réfrigérateur, sauf ceux qui sont utilisés dans les 24 heures qui suivent le prélèvement.

► Méthodes d'analyse au laboratoire :

Les analyses chimiques de l'eau prélevée ont été effectuées selon les méthodes standards (**Annexe 2**) aux laboratoires de traitement des eaux (Station de traitement de Hammam Debagh Guelma).

5.2.2.2 Présentations des résultats d'analyses physico-chimiques :

► La température de l'eau :

La température de l'eau est un paramètre de confort d'utilisation, il corrige également les paramètres analytiques dépendant de la température (en particulier la conductivité), elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz ainsi que sur la valeur du pH, la connaissance de ce paramètre permet aussi de donner des indications sur les profondeurs de circulation des eaux souterraines.

Tableau 5.3: variation de la température de l'eau dans différents forages.

Année	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Valeur de la température (T)		
					(°C)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	20.1	20.1	20.1
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	15.9	15.9	15.9
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	17.8	22.5	20.3
	S4	Oued Maiz OM1(puits)	Guelma	604	20.2	24.9	22.5
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	22.3	22.3	22.3
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	24	24	24
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	11.4	26.5	18.95
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	17.4	26	21.7
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	12.3	12.3	12.3
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	22	22	22
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	18	18	18
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	25.9	25.9	25.9
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	16.3	26.9	21.82
	S14	BC1	Belkheir	1116	25	25	25
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	15.8	22.5	19.15
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	24.1	25.9	25
	S17	BC2	Belkheir	864	25.4	25.4	25.4
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	13.6	24.3	18.95

Dans le **Tableau 5.3** on remarque que la température ne présente pas de grandes variations d'un forage à un autre avec un minimum de **12.3 °C** forage **S9 (Est forage El dardar , Boumahra)** et un maximum de **26.9°C** au forage **S13 (Est forage BA2, Belkheir)**, il est évident que la température des eaux souterraines ne varie pas largement, ces valeurs ne semblent pas poser des problèmes sanitaires ni d'affecter le bon développement des végétaux en cas d'utilisation en irrigation agricole.

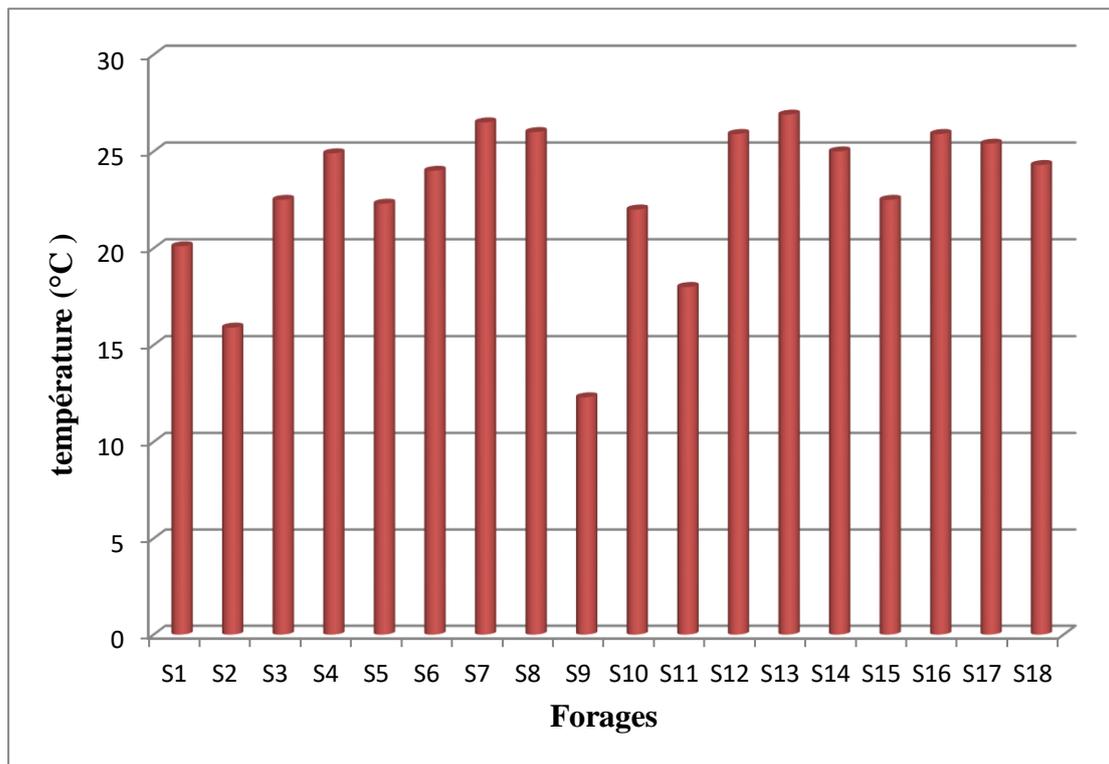


Figure 5.4: Variation moyenne de la température de l'eau dans différents forages.

➡ **Le potentiel hydrogène (pH) :**

Le pH détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau en mesurant la concentration des ions H^+ , il varie selon une échelle de 0 à 14, alors que 7 est le pH de neutralité.

Tableau 5.4: variation du pH de l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Valeur du pH		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	7.24	7.24	7.24
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	6.52	6.52	6.52
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	7.57	7.57	7.57
	S4	Oued Maiz OM1(puits)	Guelma	604	6.48	7.30	6.89
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	6.48	7.30	6.89
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	6.48	7.30	6.89
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	7.42	7.48	7.45
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	7.02	7.02	7.02
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	7.35	7.39	7.37
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	7.6	7.6	7.6
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	7.54	7.54	7.54
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	7.02	7.38	7.24
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	7.07	7.53	7.36
	S14	BC1	Belkheir	1116	7.26	7.60	7.43
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	7.13	7.35	7.37
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	7.6	7.16	7.6
	S17	BC2	Belkheir	864	7.05	7.05	7.05
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	7.75	7.75	7.75

D'après le **Tableau 5.4**, les prélèvements analysés des eaux souterraines de la plaine de Guelma ont montré que le pH varie entre **6.52** dans le forage **S2 (Oued Maiz tarha Daoura, Guelma)** à **7.60** dans le forage **S14 (BC1, Belkheir)**, on peut considérer que vis-à-vis du pH, les eaux souterraines dans la zone d'étude paraissent proches de la neutralité à légèrement alcalines, elles sont dans les normes de potabilité.

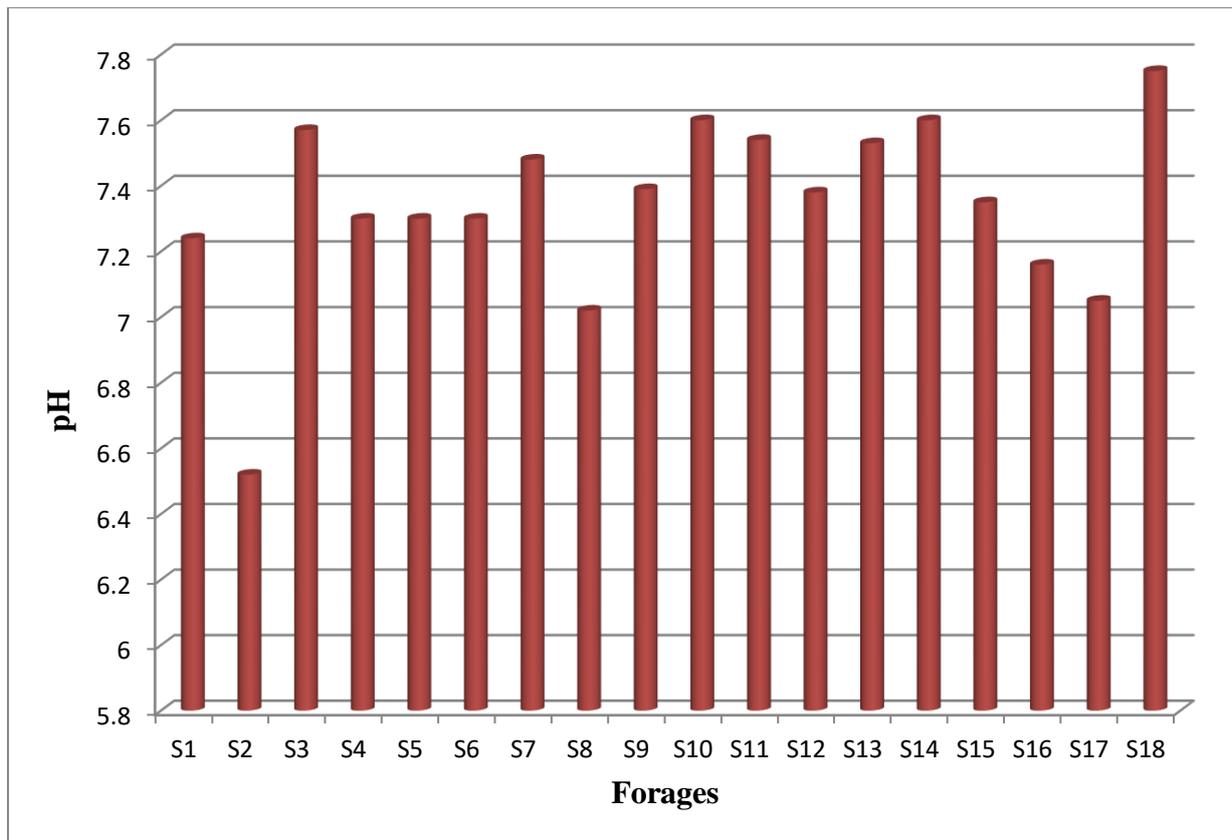


Figure 5.5: Variation moyenne du pH de l'eau dans différents forages.

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS précise qu'un faible pH pose des problèmes de corrosion alors qu'un pH élevé entraîne des problèmes de goûts, elle recommande un pH inférieur à 8 pour une bonne désinfection par le chlore, concernant les normes de la CCE, l'intervalle recommandé est 6,5 et 8,5.

➡ La Conductivité :

La conductivité d'une eau indique son caractère plus ou moins salin, les eaux pauvres en ions présentent une conductivité très faible alors que l'eau de mer, par exemple, a une conductivité très élevée, la conductivité de l'eau est couramment exprimée en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tableau 5.5: variation de la conductivité de l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Valeur de la Conductivité		
					(μS/cm)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	1170	1172.5	1175
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	1067	1068.5	1070
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	1026	1088	1150
	S4	Oued Maiz OM1(puits)	Guelma	604	1163	1127	1183
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	1385	1385	1385
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	1216	1240	1228
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	1022	1231	1441
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	927	1015	1105
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	947	948.5	950
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	1043	1170	1406
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	989	1072	1045
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	1385	1388	1391
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	1199	1295	1449
	S14	BC1	Belkheir	1116	1081	1087.5	1094
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	1083	1084.5	1106
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	1075	1083	1075
	S17	BC2	Belkheir	864	1128	1134	1140
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	400	993	696.5

Pour la nappe phréatique de la région d'étude, la valeur de conductivité varie entre **0.993** ms/cm et **1.388** ms/cm.

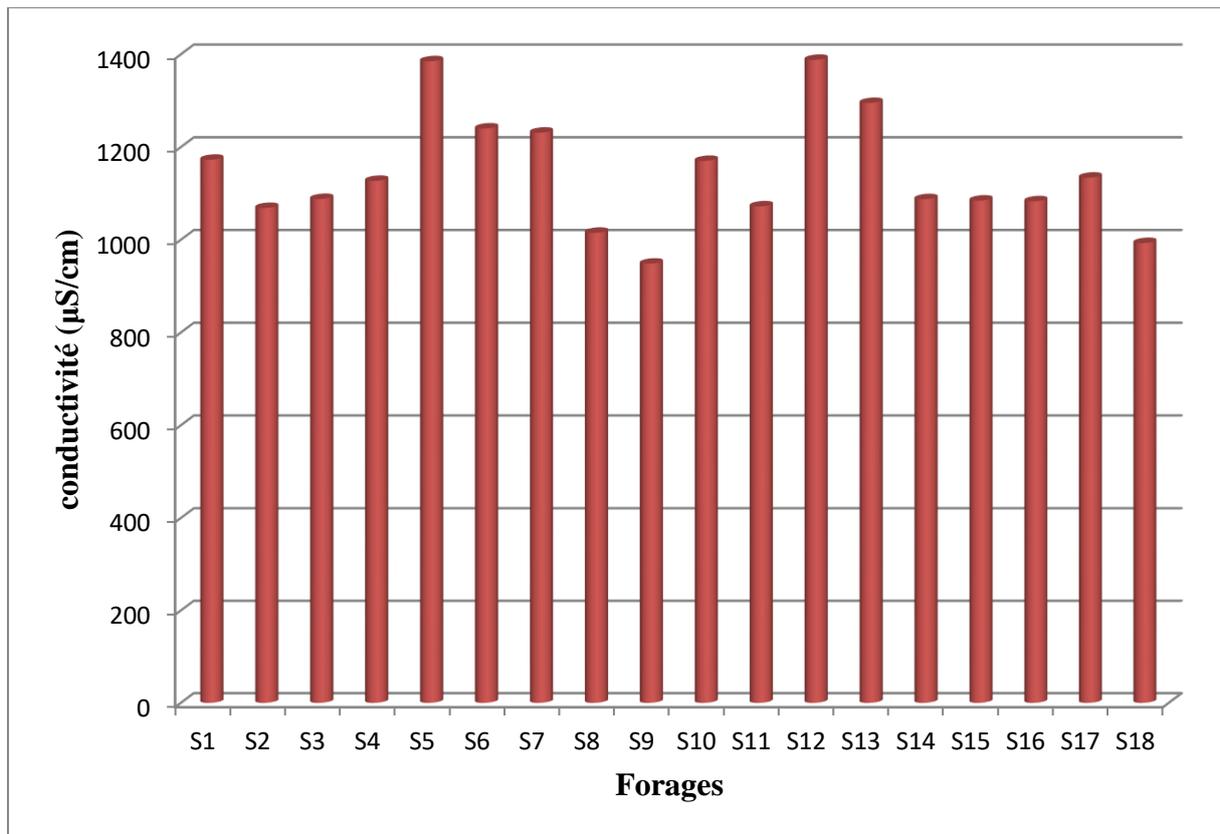


Figure 5.6: Variation moyenne de la Conductivité de l'eau dans différents forages.

➡ La turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales: argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc... l'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité, celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace.

Tableau 5.6: variation de la turbidité de l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Valeur de la turbidité (NTU)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	0.18	0.215	0.25
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	0.43	0.43	0.43
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0.24	0.24	0.24
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0.20	0.29	0.39
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0.35	0.35	0.35
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	0.15	0.18	0.21
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0.20	0.25	0.30
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0.13	0.36	0.24
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.4	0.5	0.6
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	0.25	0.73	1.87
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0.30	0.30	0.30
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	0.33	0.33	0.33
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0.22	0.30	0.41
	S14	BC1	Belkheir	1116	0.41	0.41	0.41
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0.33	0.68	0.50
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0.23	0.24	0.26
	S17	BC2	Belkheir	864	0.20	0.20	0.20
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0.35	0.35	0.35

Pour les prélèvements des forages et puits, la turbidité est entre **0,18 NTU** et **0.73 NTU**. Selon les dernières recommandations de l'OMS, la turbidité ne doit pas dépasser 5 unités NTU, la turbidité est produite par des matières en suspension comme les argiles, les valeurs de la turbidité des eaux de ces forages sont dans les normes.

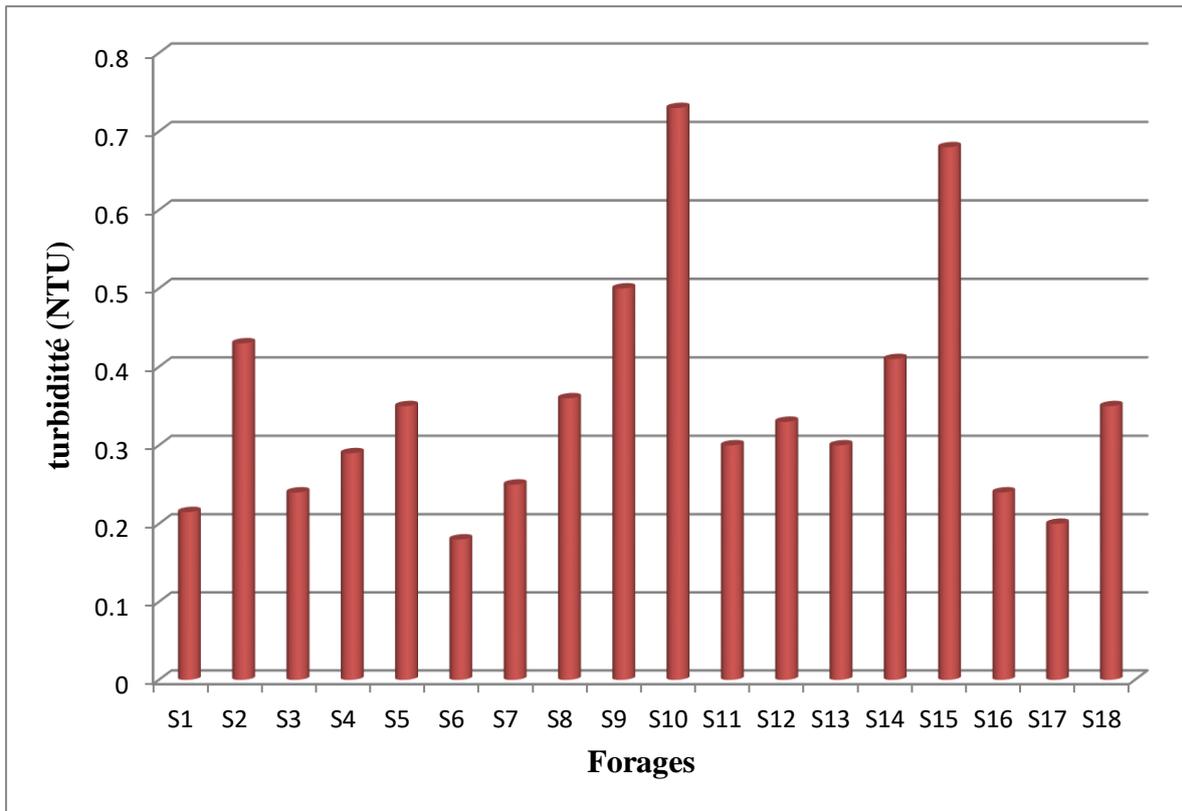


Figure 5.7: Variation moyenne de la turbidité de l'eau dans différents forages.

➡ **Détermination des sulfates SO_4^{2-} :**

Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle, leur présence dans l'eau provient de :

- ▶ Des formations gypseuses.
- ▶ Légère solubilité de $CaCO_4$ avec des passées gypseuses.
- ▶ Des eaux usées industrielles.

Tableau 5.7: variation des concentrations du sulfate dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Le sulfate SO ₄ ²⁻ (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	306.5	403.8	501.1
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	9.5	9.5	9.5
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	24	33.75	43.5
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	62	62.25	62.50
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	54	68	82
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	102	108.5	115
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	53.5	75.25	97
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	39	359.25	679.5
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	311.2	463.85	616.5
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	122.5	122.5	122.5
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	91.5	91.5	91.5
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	413	413	413
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	43.5	86.166	129
	S14	BC1	Belkheir	1116	65.5	65.5	65.5
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	91	91.75	92.5
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	31.5	57.5	83.5
	S17	BC2	Belkheir	864	143	143	143
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	55.5	84.75	144

Pour nos prélèvements (**Tableau 5.7**) le sulfate est présent avec une teneur entre minimale de **9.5** (mg/l) et maximale **463.85** (mg/l), il dépasse les normes algériennes qui sont 400mg/l dans les forages **ex Sogedia** et **El dardar** (Boumahra), et celui de **RAIL** (Belkheir) avec des valeurs de 403.8, 463.85 et 413mg/l.

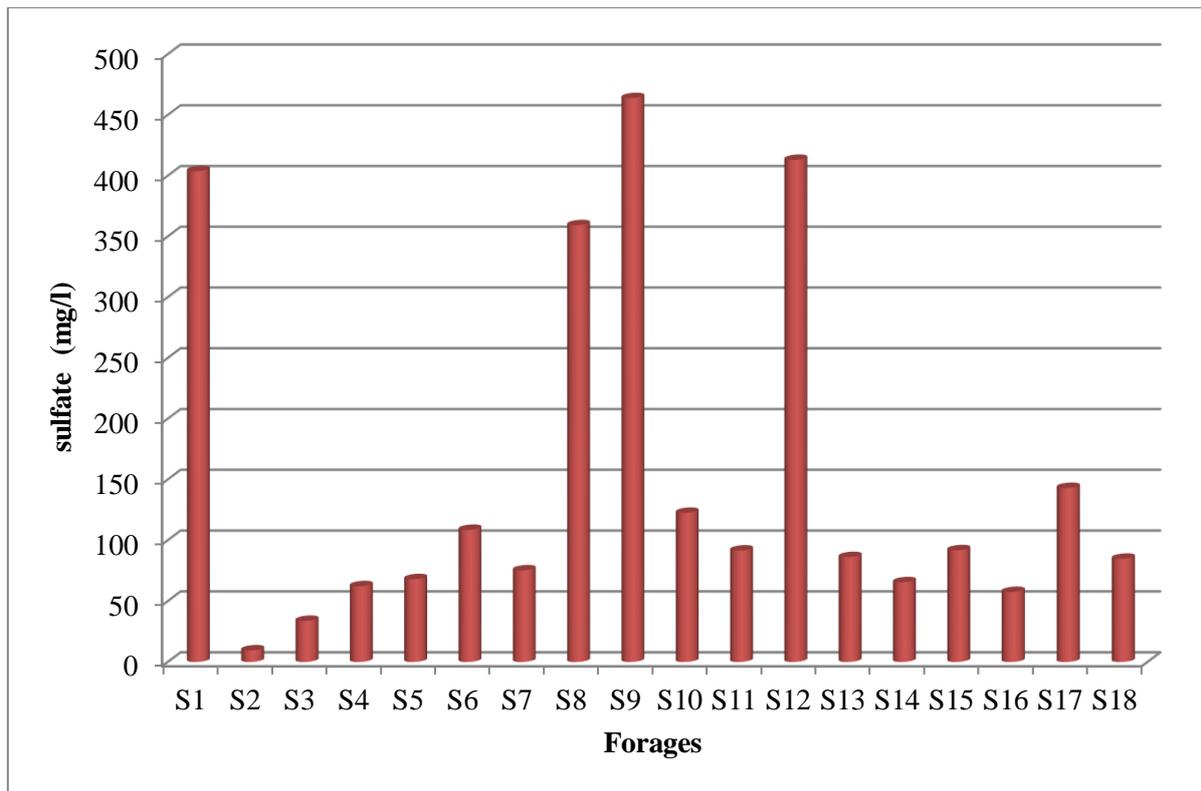


Figure 5.8: Variation moyenne du sulfate des différents forages.

➡ **Dosage des Nitrates NO_3^- :**

Le nitrate constitue la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes souterraines, en présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Tableau 5.8: variation des concentrations des Nitrates dans l'eau.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage des Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	25.31	50.31	75.31
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	55.125	55.125	55.125
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	17.747	26.873	36
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	22.272	26.491	30.71
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	12.85	12.85	12.85
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	11.25	11.25	11.25
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	22.29	23.464	24.639
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	4.068	5.275	6.479
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	30.95	59.45	87.95
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	14.71	14.71	14.71
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	9.683	10.12	10.56
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	53.28	53.28	53.28
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	10.163	13.477	19.35
	S14	BC1	Belkheir	1116	9.672	9.672	9.672
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	5.95	8	10.05
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	6.642	7.554	8.466
	S17	BC2	Belkheir	864	8.377	8.906	9.435
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	19.02	24.73	30.441

Les teneur en nitrates montre une variation entre 5.275 mg/l et 59.45 (mg/l) en remarquent qu'elles restent inférieures à la valeur admissible par les normes de l'OMS (50 mg/l), pour les forages S9 et S12 elle élevée et dépasse les normes, ce taux un peu élevé des nitrates revient que ces nappes sont près des terres agricoles elles sont affectées par les eaux d'irrigations des cultures (contamination des eaux souterraines par infiltration).

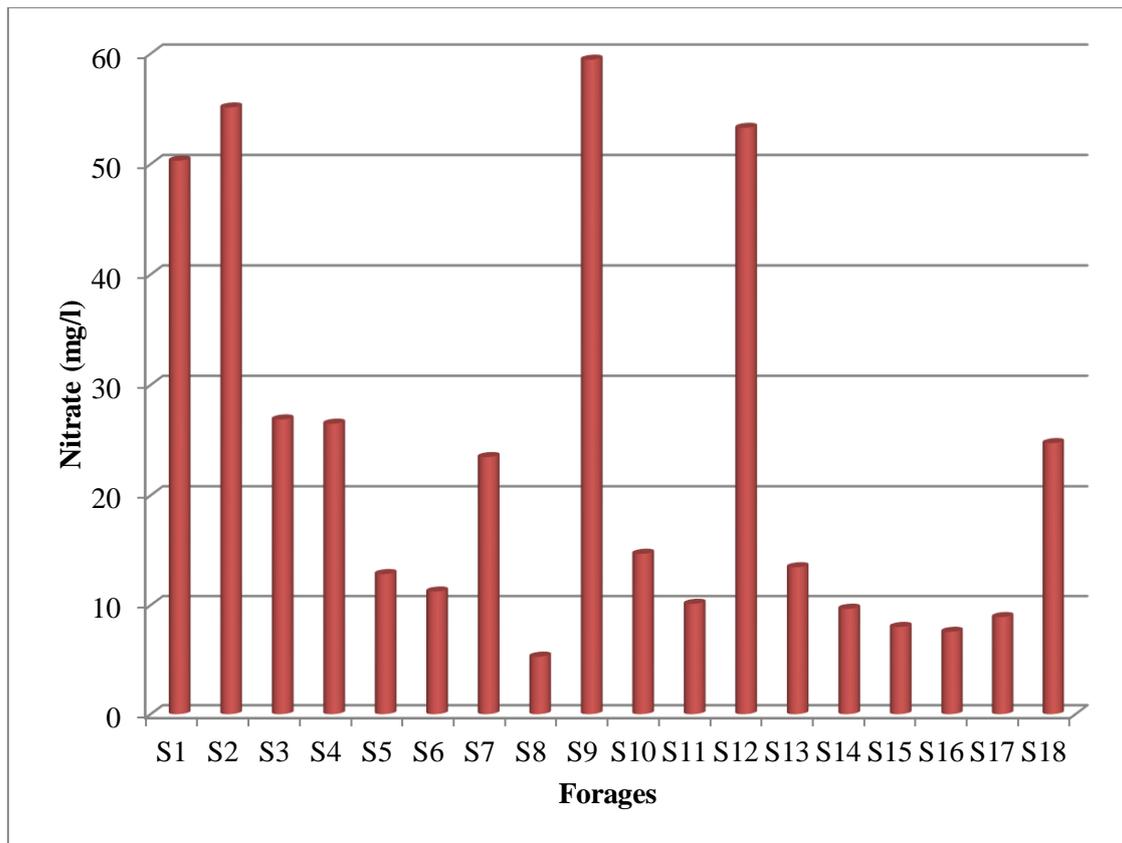


Figure 5.9: Variation moyenne des Nitrates dans l'eau dans différents forages.

➡ **Dosage des Nitrites NO_2^- :**

Les ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{PH}=1,9$) avec la sulfanilamide en formant sel de di-azonium (diazotation) qui forme avec le N^1 -naphtyl-éthylènediamine dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

Tableau 5.9: variation des Nitrites dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage des Nitrites NO ₂ ⁻ (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeu r max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	0.03	0,115	0.2
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	0.05	0,105	0.16
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0.002	0.008	0.014
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0	0.001	0.002
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0.006	0.006	0.006
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	0.004	0.004	0.004
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0	0.001	0.002
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0.001	0.0015	0.002
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.02	0.135	0.25
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	0	0.001	0.002
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0	0	0
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	0.07	0.185	0.30
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0	0.0003	0.001
	S14	BC1	Belkheir	1116	/	/	/
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0	0.001	0.002
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0	0.0005	0.001
	S17	BC2	Belkheir	864	/	/	/
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0	0.0005	0.001

D'après le **Tableau 5.9** les analyses des prélèvements montrent une variation des nitrites dans l'eau de **0** à **0.185** mg/l. Quelques valeurs sont supérieures à la valeur admissible par les normes algériennes et l'OMS (0.1 mg/l).

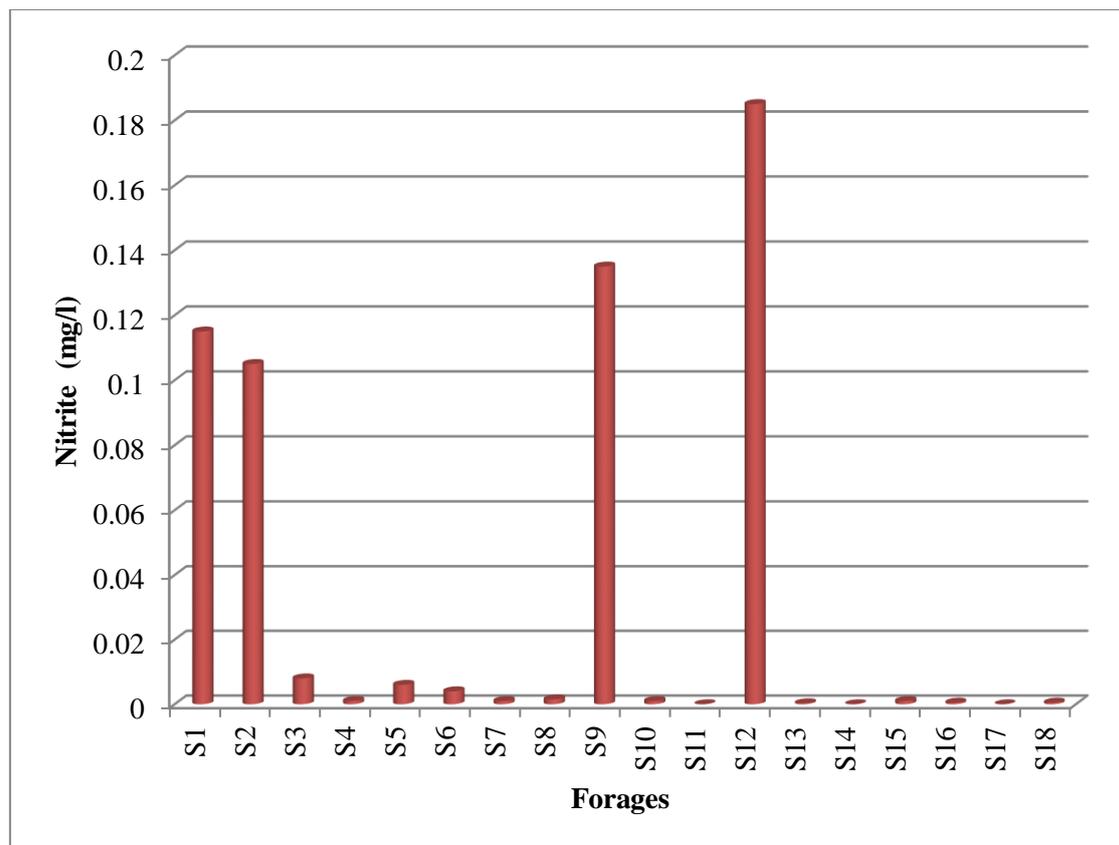


Figure 5.10: Variation moyenne des Nitrites dans l'eau des différents forages.

➔ Dosage de l'ammonium (NH_4^+) :

L'ammonium est la forme ionisée de l'azote ammoniacale, il est relativement fréquent dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique.

La présence de l'ammonium dans les eaux souterraines résulte d'une contamination de surface liée essentiellement aux rejets d'effluents domestiques et industriels ou un phénomène de réduction naturelle des nitrates.

Tableau 5.10: variation de l'ammonium dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage de l'ammonium (NH ₄ ⁺) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	0.05	0.475	0.9
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	0.57	0.57	0.57
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0	0.038	0.076
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0.054	0.071	0.085
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0.023	0.023	0.023
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	0.051	0.051	0.051
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0	0	0
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0.01	0.0105	0.011
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.07	0.485	0.9
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	0	0.017	0.052
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0.02	0.016	0.012
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	0.09	0.47	0.85
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0	0	0
	S14	BC1	Belkheir	1116	0	0.0105	0.021
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0	0.0035	0.007
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0	0.017	0.058
	S17	BC2	Belkheir	864	0	0	0
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0	0	0

Les valeurs de l'ammonium de l'eau des différents points étudiés, sont comprises entre **0** et **0.57** (mg/l), les valeurs de l'ammonium dépassent les valeurs recommandées par l'OMS (0.5 mg/l) dans certains forages, les teneurs, très faibles, laissent prédire que cet élément ne constitue pas un risque de pollution pour les eaux de quelques forages.

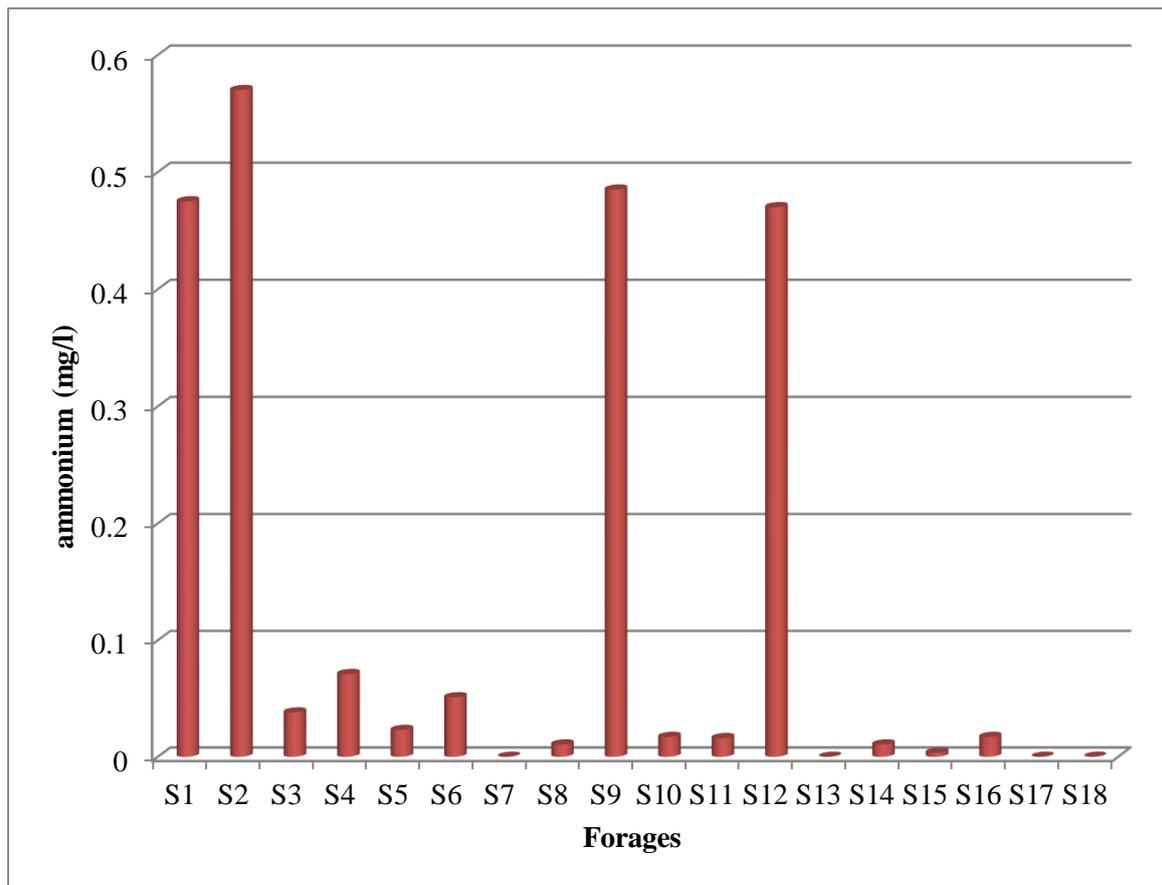


Figure 5.11: Variation moyenne de l'ammonium dans l'eau des différents forages.

➡ Détermination du phosphate PO_4^{3-} :

Dans les aquifères, les phosphates issus d'apports volontaires se comportent comme des composés sorbants et sont donc fortement retardés dans leur migration, par rapport à d'autres polluants comme les nitrates.

Tableau 5.11: variation de la concentration du phosphate dans l'eau.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Le phosphate (PO ₄ ³⁻) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	0.3	0.55	0.8
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	0.4	0.65	0.9
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0	0.055	0.11
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0	0.05	0.1
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0.04	0.04	0.04
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	0	0.048	0.096
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0	0.026	0.053
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0	0.085	0.17
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.2	0.5	0.8
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	0	0.087	0.175
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0	0.147	0.294
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	0.625	0.625	0.625
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0	0.016	0.032
	S14	BC1	Belkheir	1116	0.052	0.052	0.052
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0	0.029	0.058
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0	0	0
	S17	BC2	Belkheir	864	0.014	0.014	0.014
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0	0.032	0.064

Dans les eaux prélevées étudiés (**Tableau 5.11**) les valeurs du phosphate sont entre **0** pour le forage S16 et **0.65** (mg/l) pour le forage S2, elles dépassent les 0.5 mg/l dans S1, S2 et S12. Sinon elles sont dans les normes des directives algériennes et celle de l'OMS dans les autres forages, les nappes peuvent être contaminées par les rejets surtout d'origine agricole et irrigation

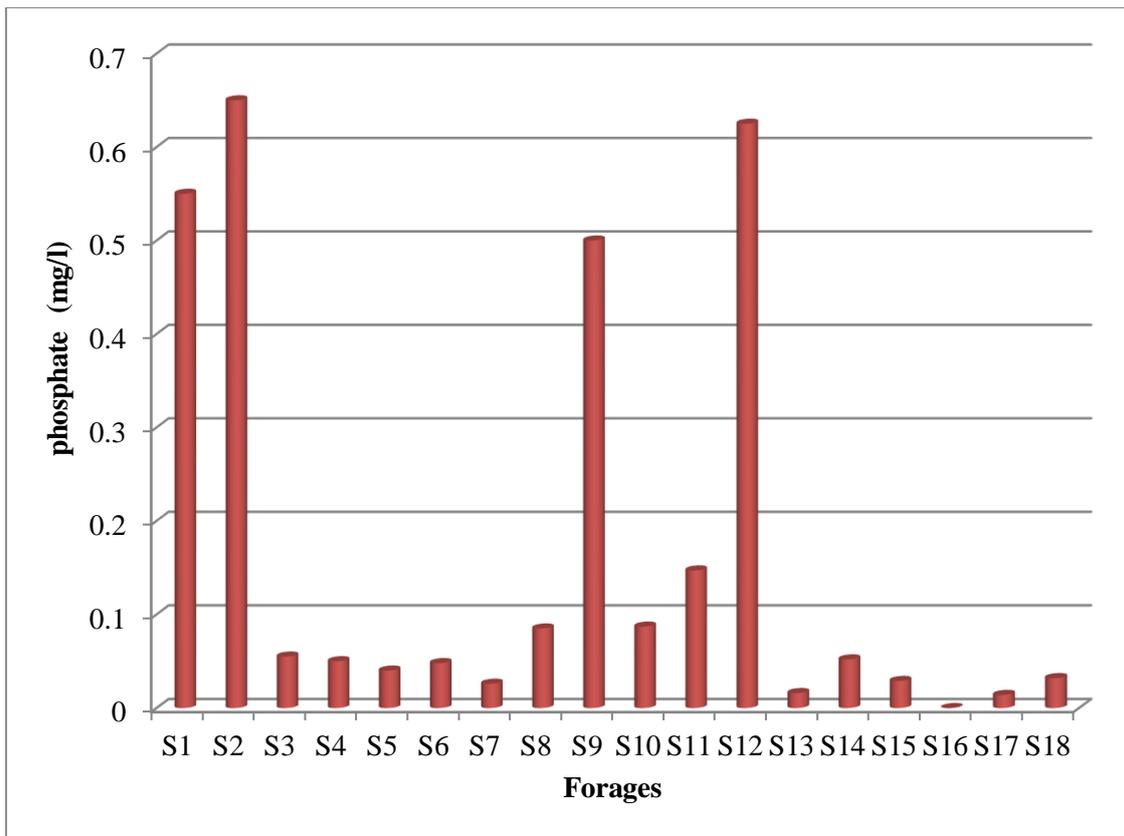


Figure 5.12: Variation moyenne du phosphate dans l'eau dans différents forages.

➔ **Dosage du Fer dissous Fe^{2+} :**

Le fer est un élément essentiel pour l'homme, bien que qu'il ait peu d'inquiétude en tant que danger pour la santé, il est toujours considéré comme une nuisance dans les quantités excessives, il provoque de la coloration des vêtements et des ustensiles.

Tableau 5.12: variation de concentration du fer dans l'eau.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage du Fer dissous (Fe ²⁺) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	0.02	0.02	0.02
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	0.2	0.2	0.2
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0	0.035	0.07
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0	0	0
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0	0.015	0.03
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	0	0	0
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0	0.01	0.02
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0.02	0.035	0.05
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.01	0.01	0.01
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	0.01	0.015	0.02
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0	0.04	0.08
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	0	0	0
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0	0.008	0.016
	S14	BC1	Belkheir	1116	0	0	0
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0.01	0.01	0.01
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0	0.005	0.01
	S17	BC2	Belkheir	864	0.01	0.01	0.01
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0	0.015	0.03

Le fer est un élément qui est présent dans presque tous nos prélèvements avec des concentrations qui varient entre 0 (mg/l) pour les forages S6, S12, S14 et 0.2 (mg/l) pour le forage S2, tous nos prélèvements sont conformes aux normes qui sont de 0.3 (mg/l) actuellement mais qui à long terme peuvent augmenter par l'infiltration des eaux de l'oued utilisées en irrigation.

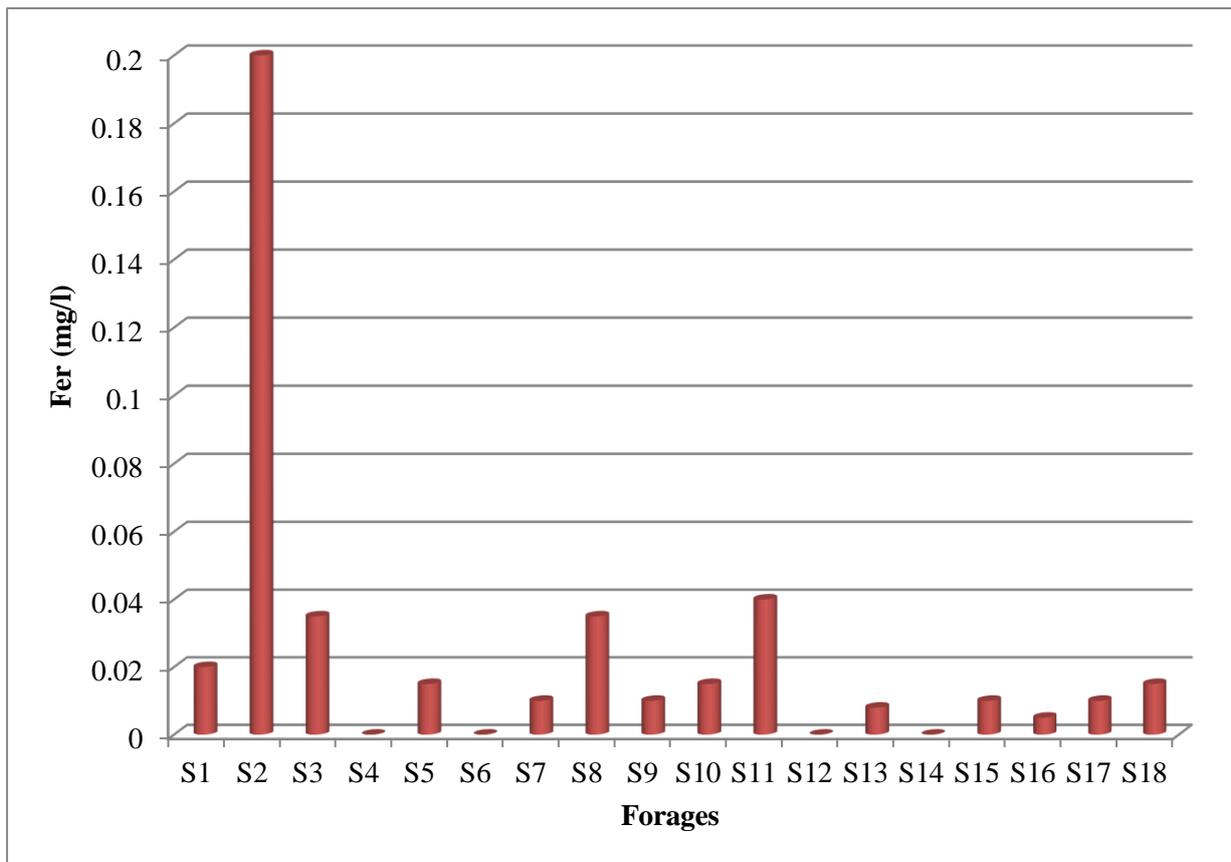


Figure 5.13: Variation moyenne du fer dans l'eau dans différents forages.

➔ **Matières en suspension (MES) :**

Elles sont hétérogènes et des formes variées, dans une taille supérieure à 10 μ m.

- ▶ Dans les eaux de forage : se sont fin, le fer oxyde, et quelques algues.
- ▶ Dans les eaux de rivières : il ya des matières volumineuses foulantes et indécrassables et les matières fines comme les sables, les argiles, les débris végétaux et animaux.

Tableau 5.13: variation de la concentration des MES.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Matières en suspension (MES) à 105 °C en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	1	1.375	1.75
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	1	1	1
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	1	1.5	2
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0.5	1.25	2
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0.25	0.375	0.5
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	1.25	1.625	2
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	1	1	1
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0	0.25	0.5
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	1	1.5	2
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	1	1.5	2
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0.5	1.25	2
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	1	1	1
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	1	1.5	2
	S14	BC1	Belkheir	1116	1	1	1
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0.5	0.5	0.5
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0.5	0.75	1
	S17	BC2	Belkheir	864	1	1	1
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0	0.5	1

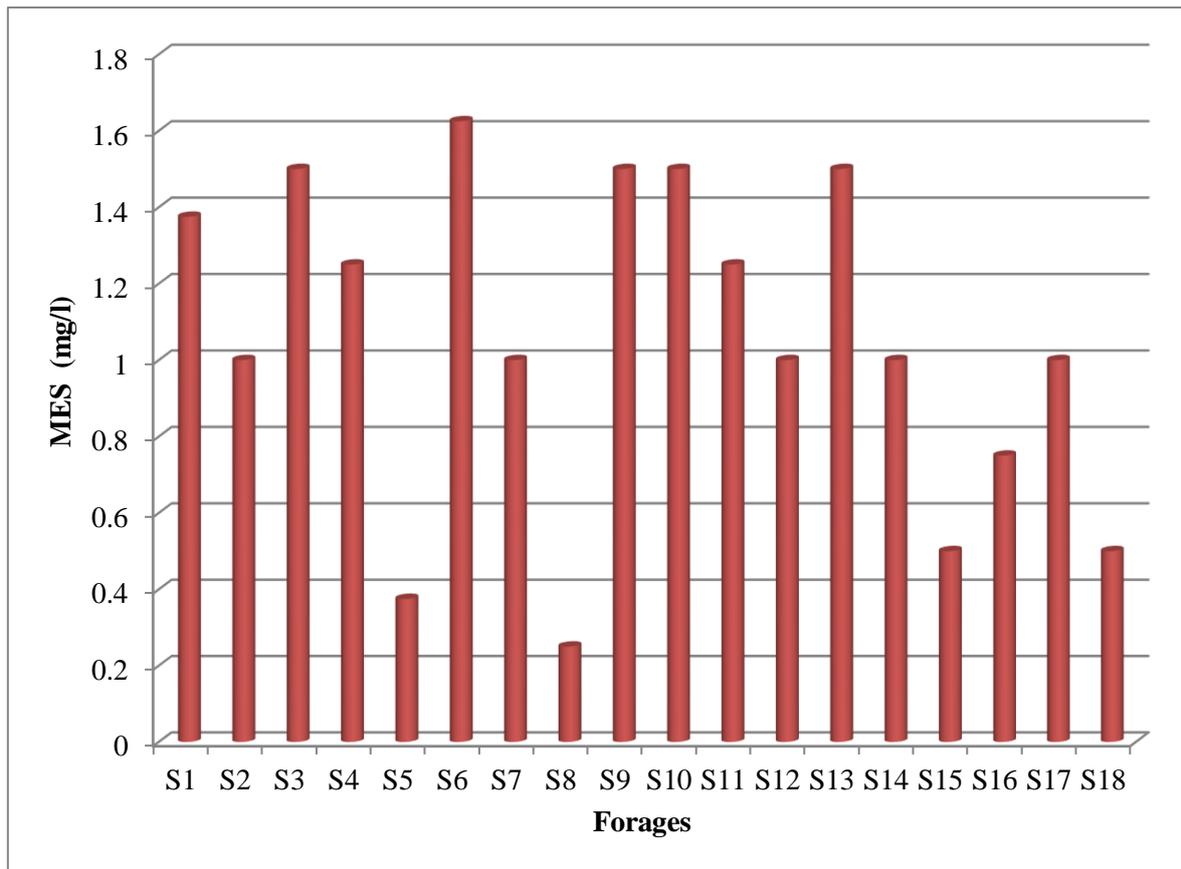


Figure 5.14: Variation moyenne des MES dans l'eau dans différents forages.

➔ **Dosage du calcium Ca^{2+} :**

Le calcium est un composant majeur de la dureté de l'eau, sa tenue varié essentiellement suivant la nature des terrains traversé.

Tableau 5.14: variation du calcium dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage du calcium (Ca ²⁺) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	169.81	169.81	169.81
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	137.77	137.77	137.77
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	142.75	150.98	159.39
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	141.98	144.68	147.38
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	128.96	132.96	136.97
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	84.1	84.9	85.7
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	140.17	143.77	147.38
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	126.55	127.35	128.16
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	141.77	141.77	141.77
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	156.99	156.99	156.99
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	129.76	137.37	152.99
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	127.35	127.35	127.35
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	130.56	137.63	148.18
	S14	BC1	Belkheir	1116	132.96	132.96	132.96
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	124.15	124.55	124.95
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	120.95	121.35	121.75
	S17	BC2	Belkheir	864	144.98	144.98	144.98
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	135.36	137.76	140.17

Le calcium est présent dans tous les prélèvements avec des valeurs entre 84.9 et 169.81 mg/l. Les normes algériennes indiquent que la valeur ne doit pas dépasser 200 mg/l.

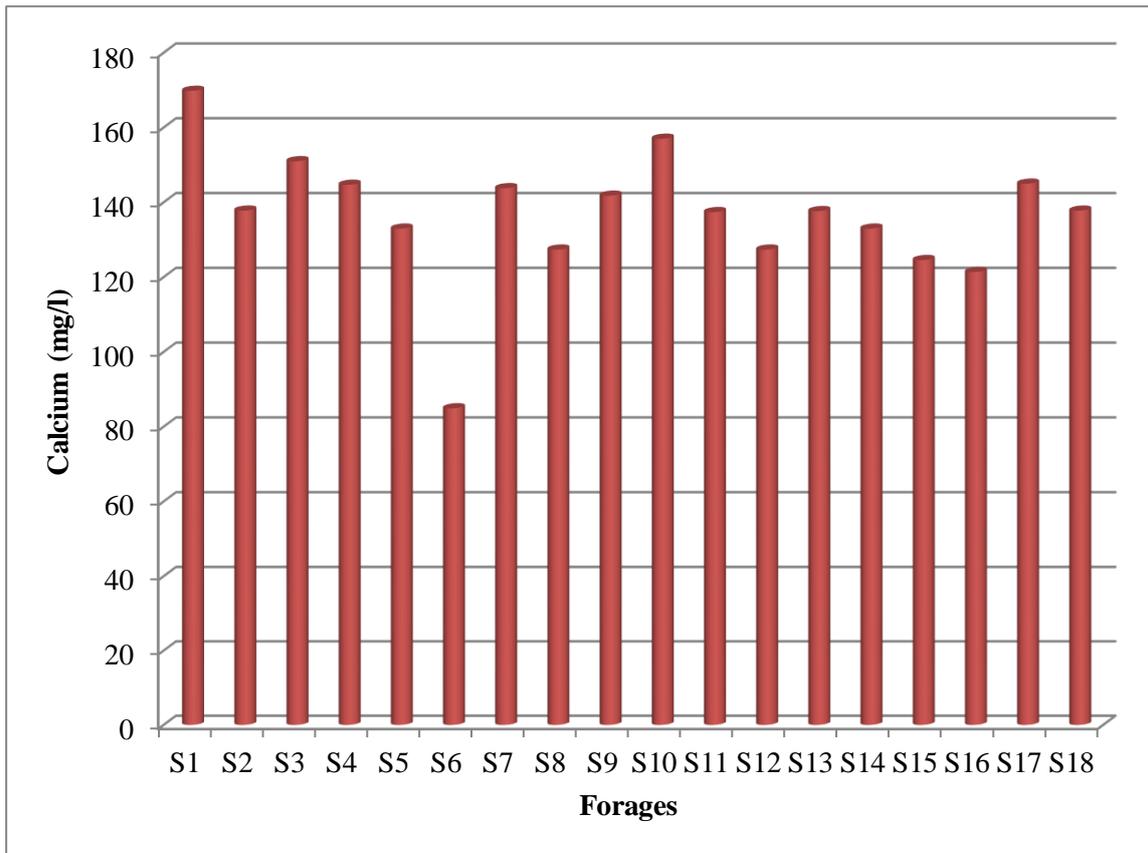


Figure 5.15: Variation moyenne du calcium dans l'eau des différents forages.

➡ **Détermination de l'alcalinité (TAC) :**

Les valeurs de l'alcalinité de l'eau des différents points forages, sont illustrées dans le (Tableau 5.15), elles sont comprise entre **19.2 °F** et **26.95 °F**.

Tableau 5.15: variation de l'alcalinité (TAC) dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	l'alcalinité titre alcalimétrique complet (TAC) en (°F)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	19.2	19.2	19.2
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	25.9	25.9	25.9
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	22.8	24.35	25.9
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	25.4	25.45	25.5
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	26.5	26.95	27.4
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	26.2	26.4	26.6
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	25.4	25.72	26.5
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	23.3	23.3	23.3
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	22.6	22.85	23.5
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	26.3	26.4	26.5
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	22.9	23	23.1
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	25.5	25.5	25.5
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	21.8	22.45	23.1
	S14	BC1	Belkheir	1116	22.5	22.5	22.5
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	23.5	23.5	23.5
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	24.2	24.5	24.8
	S17	BC2	Belkheir	864	22.3	22.3	22.3
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	23.3	23.65	24

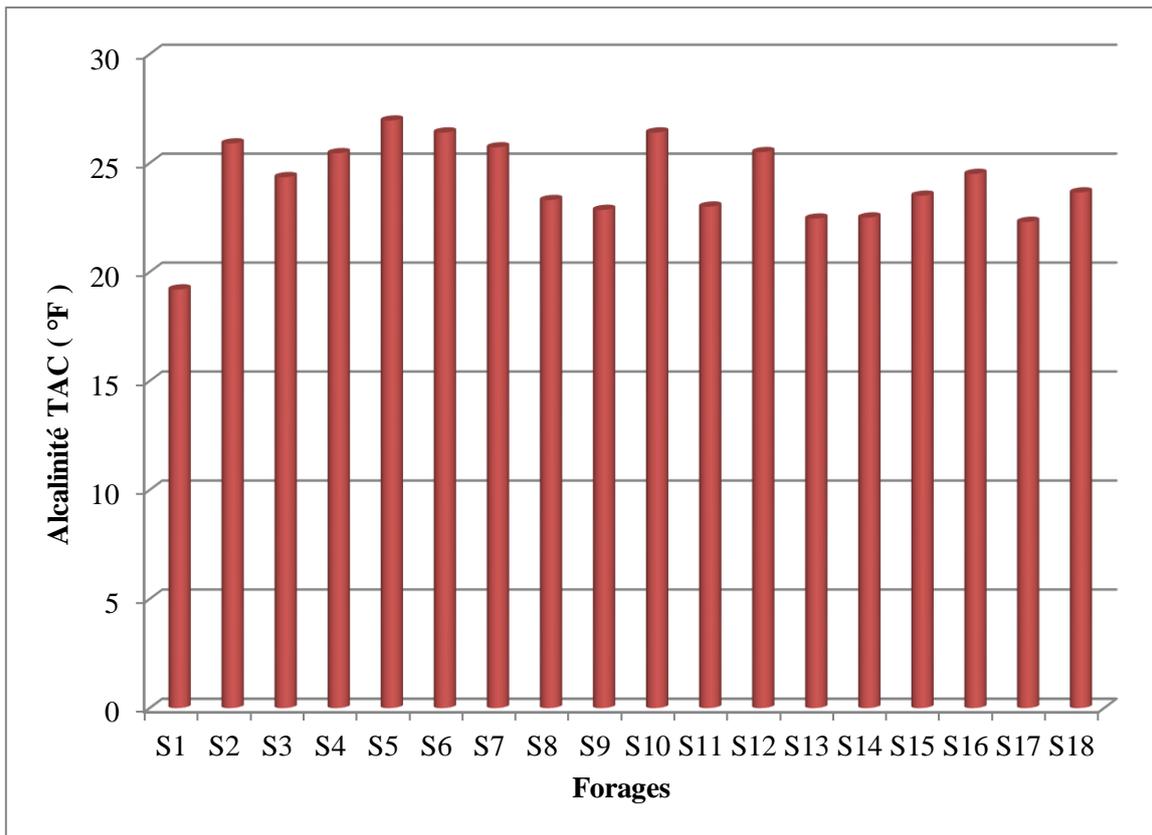


Figure 5.16: Variation moyenne de l'alcalinité (TAC) dans l'eau dans différents forages.

➔ **Détermination des résidus secs :**

C'est la totalité des sels dissous dans l'eau et suspensions (organiques et minérales) obtenues par peser (évaporation à 110 °C durant 24 heures) exprimée en mg/l, c'est donc la minéralisation totale de l'eau.

Tableau 5.16: variation des résidus sec dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	les résidus secs à 105°C en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	1010.5	1010.5	1010.5
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	943.5	943.5	943.5
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	902	913	930
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	70	766.25	832.5
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	856.2	897.6	939
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	806	806	806
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	260.5	619.5	978.5
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	828.5	877	925.5
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	979	979	979
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	740	753.5	746.75
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	755.5	763.5	771.5
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	916.5	916.5	916.5
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	1004	1043.5	1120.5
	S14	BC1	Belkheir	1116	889.5	889.5	889.5
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	521	675.75	830.5
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	737.5	740.25	743
	S17	BC2	Belkheir	864	967	967	967
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	692	700.5	709

D'après le (Tableau 5.16) la teneur du résidu sec des forages, augmente dans les forages S1 et S13 par rapport aux autres forages pour atteindre la valeur maximale de 1043.5 g/l, mais elle reste toujours dans les normes (2000 mg/l).

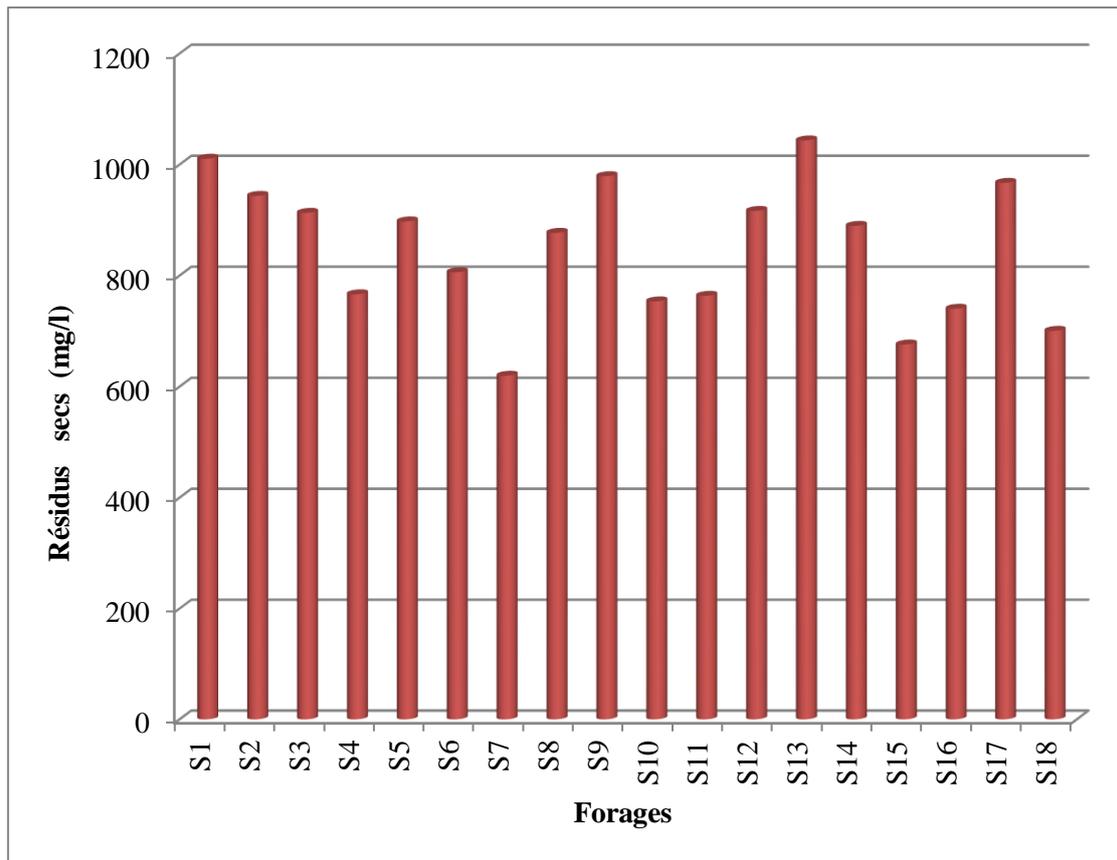


Figure 5.17: Variation moyenne du résidu sec dans l'eau des différents forages.

➔ **Dosage de magnésium Mg^{2+} :**

Le magnésium c'est un élément très répandu dans la nature, ses sels sont très solubles dans l'eau, il est également utilisé dans les industries.

Ses ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse et des minéraux ferromagnésiens et surtout de la mise en solution des dolomies et des calcaires dolomitiques.

Tableau 5.17: variation de magnésium dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage de magnésium (Mg ²⁺) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	20.9	20.9	20.9
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	19.44	19.44	19.44
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	14.58	18.47	22.36
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	13.36	16.4	19.44
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	21.38	25.75	30.13
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	18.95	22.84	29.89
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	30.62	31.35	32.08
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	25.27	25.51	25.76
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	34.51	34.51	34.51
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	34.99	36.08	38.88
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	22.08	28.53	34.99
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	22.84	22.84	22.84
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	27.22	29.07	36.45
	S14	BC1	Belkheir	1116	26.24	26.24	26.24
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	24.79	31.105	37.42
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	27.46	30.01	32.56
	S17	BC2	Belkheir	864	27.22	27.22	27.22
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	6.31	14.75	22.84

D'après le **Tableau 5.17**, les concentrations moyennes observées sont proches des valeurs naturelles, les normes algériennes indiquent que la valeur ne doit pas dépasser (50 mg/l).

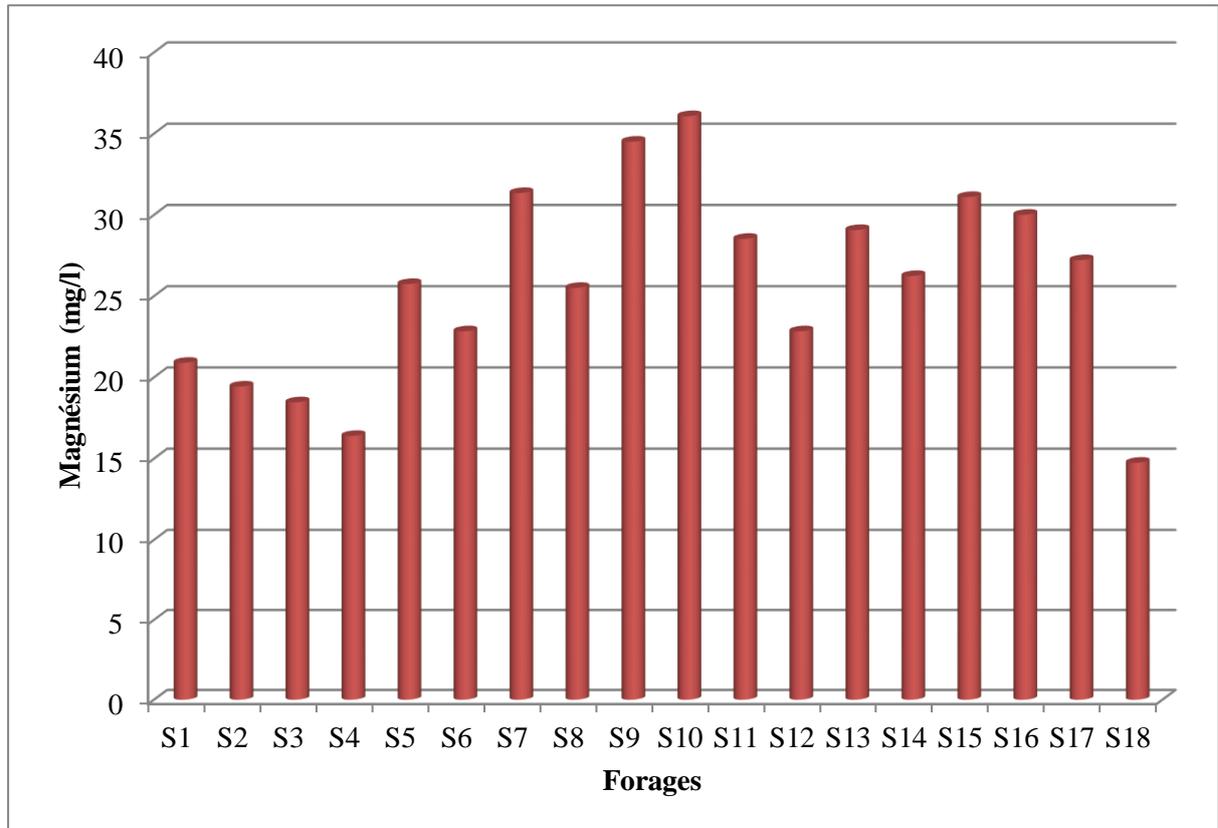


Figure 5.18: Variation moyenne de magnésium dans l'eau dans différents forages.

➔ Dosage du Potassium K^+ :

Le potassium est toujours présents dans les eaux naturelles en proportion variable, il est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau, il provient, essentiellement, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (KCl), ou par suite d'altération des argiles potassiques.

Tableau 5.18: variation du Potassium dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Dosage du Potassium (K ⁺) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	/	/	/
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	5.3	5.3	5.3
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	2.6	2.75	2.9
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	2.5	2.65	2.8
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	3	3.15	3.3
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	2.5	2.5	2.5
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	1.2	1.3	1.4
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	1.2	1.3	1.4
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.8	0.8	0.8
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	2.2	2.25	2.3
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	1	1	1
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	1.1	1.15	1.2
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0.8	1.4	1.06
	S14	BC1	Belkheir	1116	5	5	5
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	1.3	1.4	1.5
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	2.7	2.9	3.1
	S17	BC2	Belkheir	864	1.3	1.3	1.3
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0.3	0.3	0.3

Les teneurs en potassium observées dans les eaux (**Tableau 5.17**) dévoilent des valeurs relativement petites, ne dépassant pas les 5.30 mg/l (normes 12 mg/l).

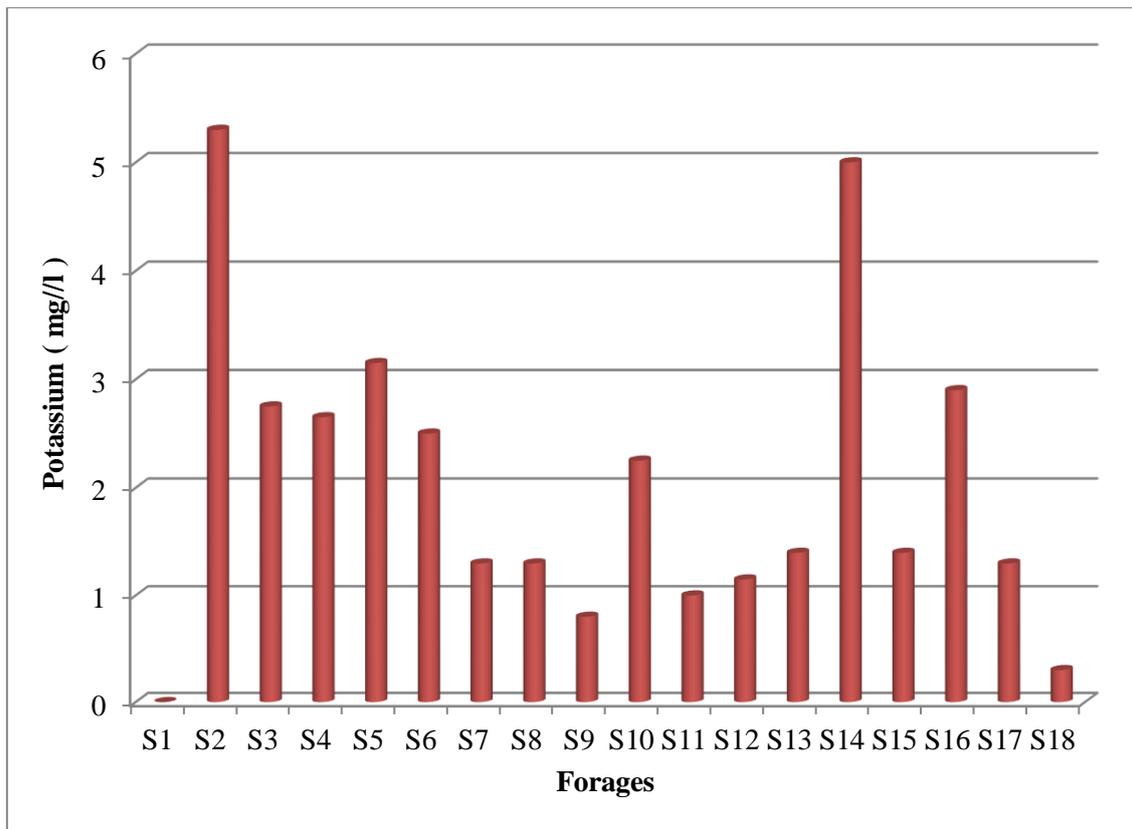


Figure 5.19: Variation moyenne du Potassium dans l'eau dans différents forages.

➡ Détermination de la dureté (TH) :

Le degré hydrotimétrique ou titre hydrotimétrique, indique la teneur totale des concentrations classiques de Ca^{++} et Mg^{++} exprimé en degré français, ou 1 °F correspond à 10 mg de carbonates dans un litre d'eau, $1\text{ °F} = 10\text{ mg/l de CaCO}_3 = 0,2\text{ mg/l}$.

Tableau 5.19: variation de la dureté (TH) de l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	la dureté totale (TH) en (°F)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	51	51	51
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	42.4	42.4	42.4
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	44.8	45.3	45.8
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	41.7	43.25	44.8
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	43.2	44.5	45.8
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	43.4	44.3	45.2
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	47.6	48.8	50
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	42	42.3	42.6
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	49.6	49.6	49.6
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	49	49.5	50
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	42.6	42.6	42.6
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	41.2	41.2	41.2
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	43.8	47.7	52
	S14	BC1	Belkheir	1116	44	44	44
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	41.4	43.2	45
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	41.7	42.65	43.6
	S17	BC2	Belkheir	864	47.4	47.4	47.4
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	37.6	40.4	43.2

Dans l'ensemble les eaux analysées présentent un **TH < 51 °F**.

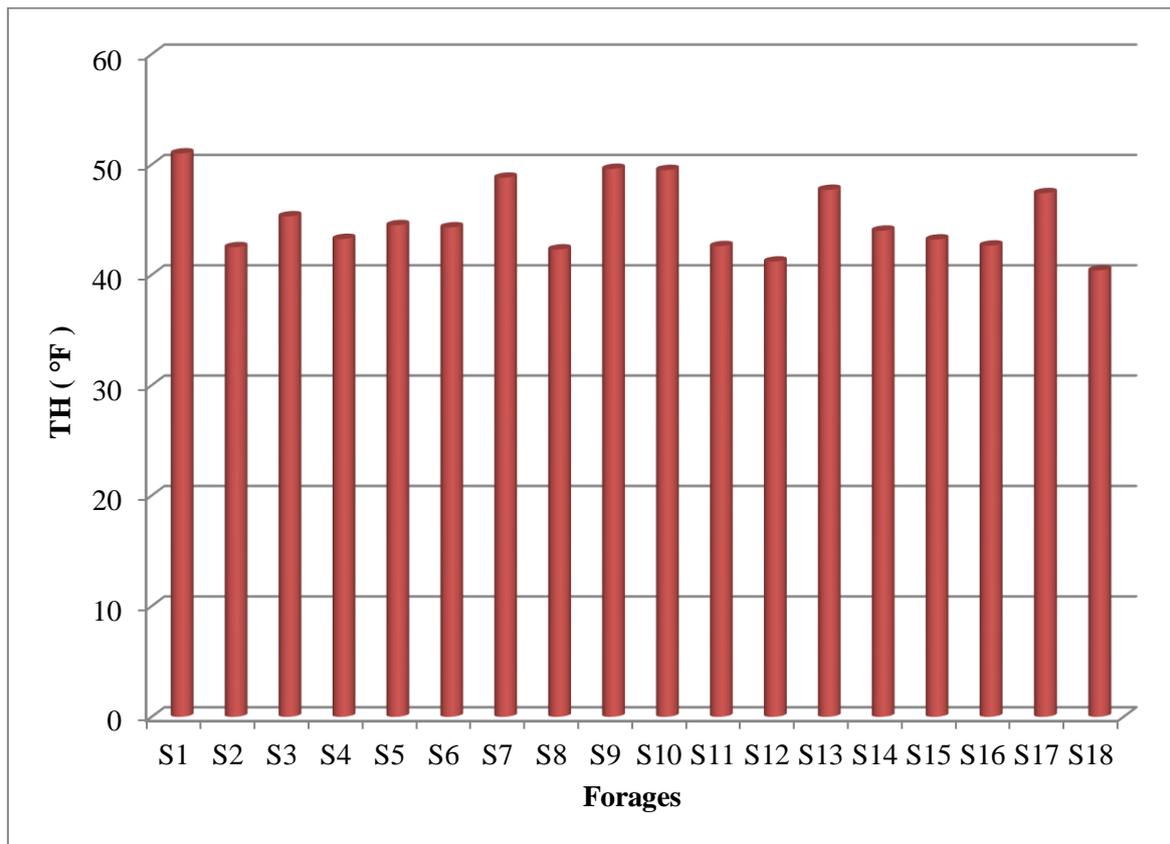


Figure 5.20: Variation moyenne de la dureté dans l'eau des différents forages.

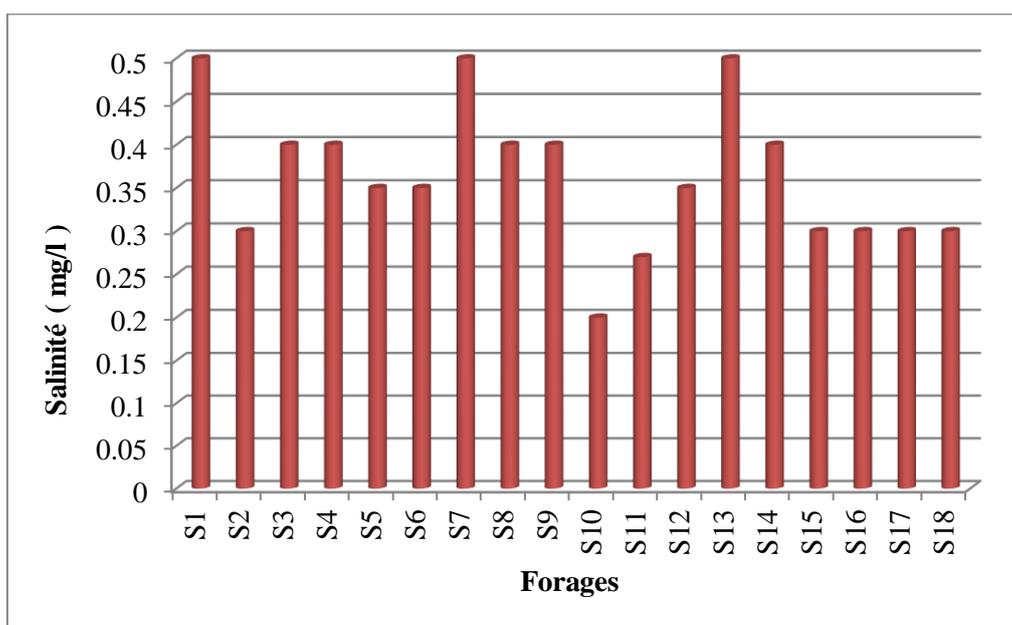
➔ **La salinité ou teneur en sel dissous (TDS) :**

La salinité (S) d'un échantillon d'eau est donnée par le rapport K de la conductivité électrique de cet échantillon à 105 °C et à la pression atmosphérique (1013 hpa), et de la conductivité d'une solution de chlorure de potassium dans laquelle la fraction en masse de KCl est 0.0324356 dans les mêmes conditions.

Tableau 5.20: variation de la salinité dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	La salinité en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	0.5	0.5	0.5
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	0.3	0.3	0.3
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0.4	0.4	0.4
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0.4	0.4	0.4
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	0.3	0.35	0.4
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	0.3	0.35	0.4
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0.5	0.5	0.5
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	0.4	0.4	0.4
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	0.4	0.4	0.4
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	0.2	0.2	0.2
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	0.2	0.27	0.3
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	0.3	0.35	0.4
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	0.5	0.5	0.5
	S14	BC1	Belkheir	1116	0.4	0.4	0.4
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	0.3	0.3	0.3
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	0.3	0.3	0.3
	S17	BC2	Belkheir	864	0.3	0.3	0.3
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	0.3	0.3	0.3

Les valeurs de la salinité de l'eau est comprise entre **0.3** et **0.5** mg/l.

**Figure 5.21:** Variation moyenne de la salinité de l'eau dans différents forages.

➔ **Détermination de la Matière organique (MO) :**

La teneur en COT est utilisée pour estimer la quantité totale de matières organiques présentes en solution et en suspension dans une eau.

Tableau 5.21: variation de la Matière organique dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Matière organique (MO) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	2.5	2.5	2.5
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	4.8	4.8	4.8
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	0.2	1.9	3.6
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	0.5	2.55	4.6
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	5	5	5
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	5	5.1	5.2
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	0	2.5	5
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	1.9	3.55	5.2
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	8	8	8
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	6	6	6
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	3.6	4.1	4.6
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	4.2	4.2	4.2
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	2.3	3.7	5.6
	S14	BC1	Belkheir	1116	5.5	5.5	5.5
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	3.8	4.65	5.5
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	1.7	2.35	3
	S17	BC2	Belkheir	864	2.8	2.8	2.8
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	2.5	2.75	3

D'après les valeurs du **Tableau 5.20**, la concentration des M.O sont entre **1,9** et **6** mg/l. dans certains forages cette valeur dépasse les normes algériennes (3mg/l).

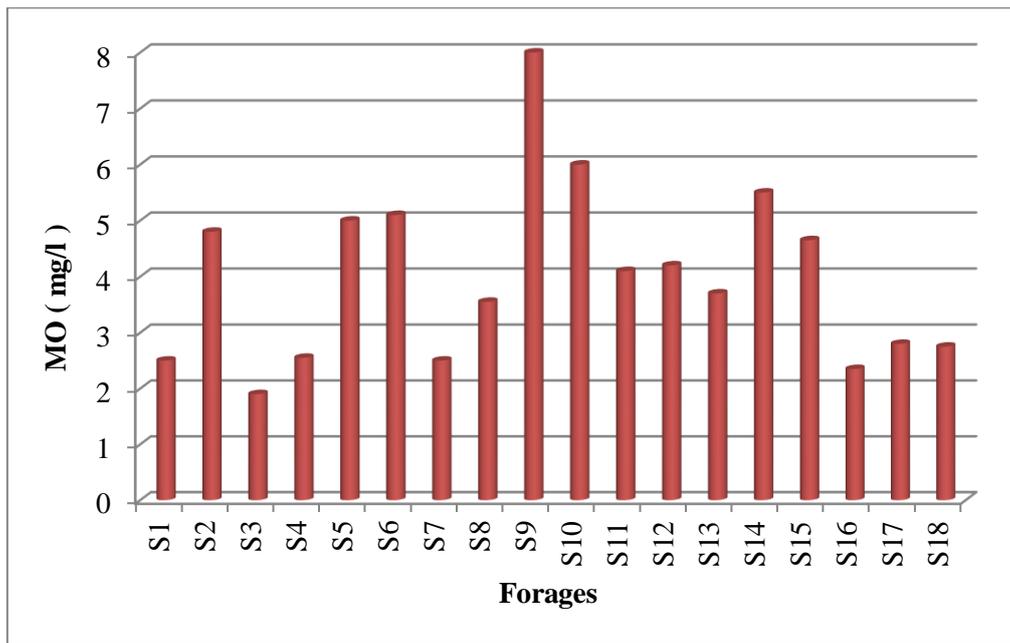


Figure 5.22: Variation moyenne de la matière organique dans l'eau des différents forages.

➔ Détermination du chlorure Cl⁻ :

Ils sont toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables, leur présence dans l'eau résulte de :

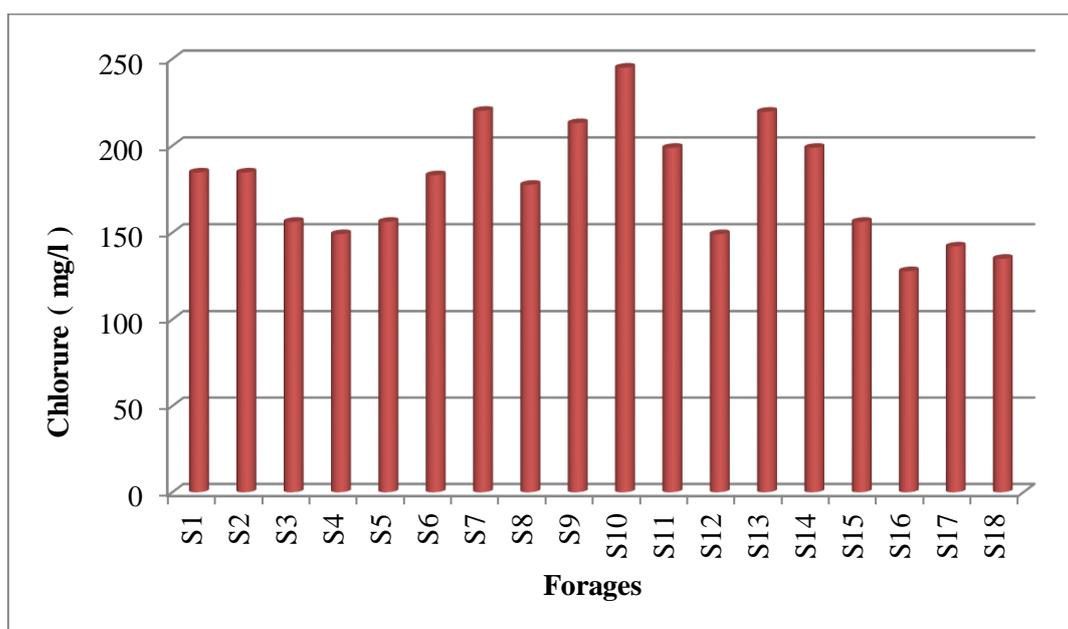
- La dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux.
- L'évapotranspiration intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol, caractérisant notre nappe.

La chloration est la méthode la plus courante pour assurer le maintien d'une eau bactériologiquement saine, le chlore présent dans l'eau se combine aux bactéries.

Tableau 5.22: variation de la concentration du chlorure dans l'eau.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m ³ /j)	Le chlorure (Cl) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	184.6	184.6	184.6
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	184.6	184.6	184.6
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	156.2	156.2	156.2
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	142	149.1	156.2
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	156.2	156.2	156.2
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	183	183	183
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	198.8	220.1	241.4
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	170.4	177.5	184.6
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	213	213	213
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	241.4	244.95	255.6
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	198.8	198.8	198.8
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	142	149.1	156.2
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	175.9	219.56	284
	S14	BC1	Belkheir	1116	198.8	198.8	198.8
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	142	156.2	170.4
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	127.8	127.8	127.8
	S17	BC2	Belkheir	864	142	142	142
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	113.6	134.9	156.2

Les forages et puits étudiés présentent le chlorure qui varie de 127.8mg/l pour S16 à 244.95 mg/l pour S10, ces valeurs ne dépassent pas les normes algériennes et celle de l'OMS recommandées (500 et 250mg/l).

**Figure 5.23:** Variation moyenne du chlorure dans l'eau des différents forages.

➔ Détermination du bicarbonate HCO_3^- :

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO_2 , de la température, le pH de l'eau et la nature lithologique des terrains traversés.

Tableau 5.23: variation du bicarbonate dans l'eau dans différents forages.

Années	Symbole	Source d'alimentation ED-EM ESR-EST	Commune	Volumes produits (m^3/j)	Le bicarbonate (HCO_3^-) en (mg/l)		
					Valeur min	Valeur moyenne	Valeur max
2023	S1	Est forage ex Sogedia	Guelma	604	234.24	234.24	234.24
	S2	Oued Maiz tarha Daoura)	Guelma	1036	333.06	333.06	333.06
	S3	Oued Maiz (Eucalyptus)	Guelma	604	305	310.49	315.98
	S4	Oued Maiz OM1 (puits)	Guelma	604	319.64	322.08	324.52
	S5	Oued Maiz OM2 (rail)	Guelma	777	323.3	328.79	334.28
	S6	Jerodon N, O /MAIZ	Guelma	604	261.08	276.33	291.58
	S7	Est forage Oravie	Boumahra	583	252.8	274.63	296.46
	S8	Est forage BA3	Boumahra	518	254.98	258.64	262.3
	S9	Est forage El dardar	Boumahra	1116	286.7	286.7	286.7
	S10	BA4 ORAVIE	Boumahra	1100	320.86	322.3	323.3
	S11	BA5 (Dardar)	Boumahra	1116	279.38	280.6	342.82
	S12	Est forage RAIL	Belkheir	604	311.1	311.1	311.1
	S13	Est forage BA2	Belkheir	518	258.64	274.09	298.64
	S14	BC1	Belkheir	1116	270.84	270.84	270.84
	S15	Est forage BK1	Belkheir	604	286.7	291.58	296.46
	S16	Est forage SNTR	Belkheir	518	305	323.3	341.6
	S17	BC2	Belkheir	864	306.22	306.22	306.22
	S18	Est forage El Matar	Belkheir	604	284.26	288.53	292.8

Les valeurs de la concentration de HCO_3^- dans les eaux des forages de la nappe alluvionnaire de Guelma présentent des teneurs supérieures aux normes de potabilité (300 mg/l).

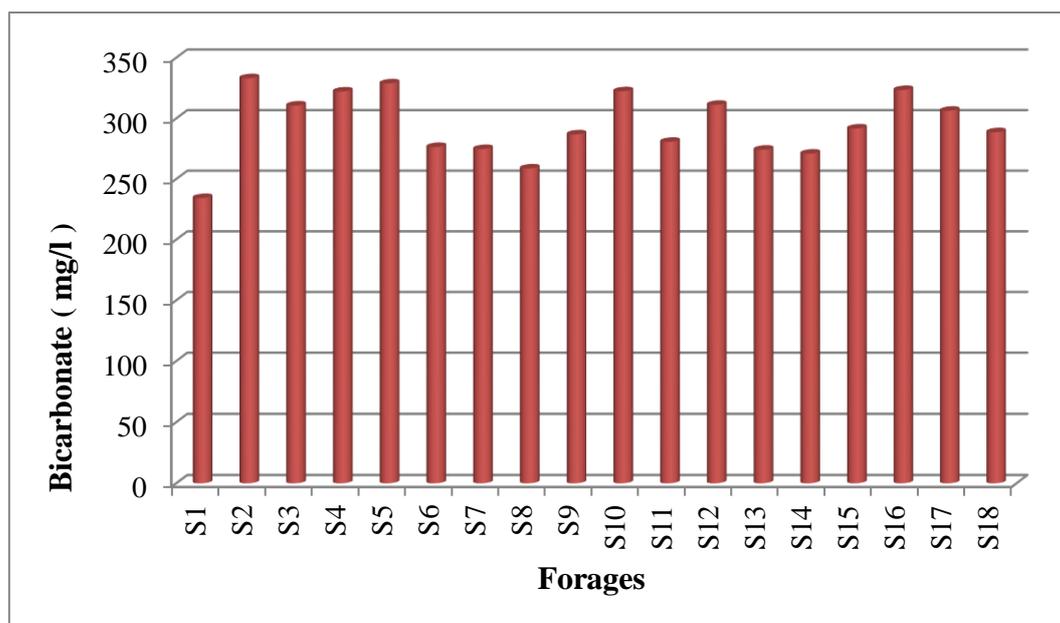


Figure 5.24: Variation moyenne du bicarbonate dans l'eau des différents forages.

5.3 Vulnérabilité à la pollution et périmètre de protection :

La nouvelle stratégie de protection de ressources en eau, qui doit être instaurée, est de protéger et sauvegarder les ressources dans leur gisement avant qu'elles ne soient contaminées, bien que le développement des techniques de décontamination des nappes a évolué, mais la dépollution reste longue, coûteuse et la restauration de la potabilité des eaux reste difficile, cette stratégie sera basée sur l'élaboration d'un document cartographique (carte de vulnérabilité ou carte de sensibilité) que le gestionnaire de la ressource en eau pourra utiliser lors de l'implantation des installations (Gabriel AKE.2010).

5.3.1 La vulnérabilité :

La vulnérabilité d'une nappe à la pollution dépend du type de nappe, de l'épaisseur de la zone non saturée et de sa composition lithologique, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère, dans l'étude de vulnérabilité, on ne doit prendre en compte que les facteurs permettant de favoriser ou de ralentir l'infiltration dans le sol et dans la zone non saturée d'une eau chargée en polluant et son entrée dans la nappe (Lallemand-Barrès et al, 1999).

Elle est liée à un niveau de risque dépendant principalement de trois facteurs :

- ▶ Les caractéristiques hydrogéologiques du site (épaisseur, perméabilité, substrat et des Couches géologiques en particulier)
- ▶ Les activités humaines, actuelles et anciennes (les quelles par exemple liées à la proximité d'autres puits, cuves, fosses ou réseaux d'égout, friches polluées (actifs ou anciens etc.).

- ▶ Certains risques naturels tels que risque sismique, coulées de boue, pénétration d'un « biseau Salé »

La vulnérabilité des nappes à ces diverses pollutions est conditionnée par plusieurs facteurs, parmi lesquels on cite :

- Le pouvoir filtrant du réservoir.
- L'épaisseur de la zone non saturée du réservoir.
- La vitesse d'écoulement des eaux souterraines.
- La nature du réservoir (captive ou libre).

5.3.1.1 Les paramètres de vulnérabilité des nappes souterraines :

La vulnérabilité des nappes dépend du type de nappe, libre ou captive et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère, les nappes libres sont les plus vulnérables; les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique; d'autre part, la fluctuation verticale saisonnière du niveau piézométrique imprègne les particules de la zone non saturée et peut entraîner les substances qui s'y trouvent vers l'aquifère, en revanche, les nappes captives sont mieux protégées par les couches qui les surmontent, donc les sédiments meubles peuvent colmater les fissures et ralentir voire empêcher le transfert des polluants vers l'aquifère, dans le cas contraire, les polluants s'infiltreront rapidement et réapparaissent en l'état dans les sources, ils auront un effet accentué mais de courte durée. [6]

➡ Les principaux types et origines de pollution dans la zone d'étude :

La pollution de l'eau est une dégradation physique, chimique et biologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'Homme et ses activités, elle perturbe parfois considérablement la composition physico-chimique des eaux de surface, ces dernières sont le vecteur principal de transport de ces substances dans les nappes souterraines, elle change les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques, aussi compromet-t-elle les utilisations de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique.

↳ *Pollution urbaines et domestiques :*

La pollution urbaine constitue une source de pollution importante, en effet toutes les agglomérations situées le long du cours d'eau déversent leurs eaux usées dans l'oued Seybouse ou ses affluents sans traitement préalable sauf pour la ville de Guelma où on a une station d'épuration, dans le cas d'assainissement, collectif ou individuel défectueux ou un contact hydraulique avec les nappes, les substances indésirables contenues dans les eaux ménagères (matières organiques, solvants, détergents micro-organismes, antibiotiques...), peuvent atteindre la nappe, les trois décharges publiques à savoir celles situées respectivement au Nord de **Guelaât BouSbâa**, à l'Est de **Héliopolis** et au Nord de la ville de Guelma du côté

les éléments nécessaires à la nutrition des végétaux, cependant, lorsqu'une culture est renouvelée sur le même lopin année après année, le sol manque de l'un ou plusieurs des nutriments spécifiquement utiles à cette culture, il nécessite alors un apport d'engrais, certes, cette pratique permis une augmentation des rendements de production mais pagailleurs elle entraine la perturbation de l'équilibre de l'écosystème en raison du caractère chimique des éléments nutritifs comme l'azote, le phosphore, la potasse, le calcium, le magnésium ainsi que des oligoéléments, les polluants ainsi générés dans l'environnement, ont des effets pervers proportionnels à leur concentration et à leur capacité de nuisance.

Les engrais les plus utilisés dans la zone d'étude :

- ▶ **N.P.K.** (15.15.15), est un engrais ternaire qui, contient 15% de N, 15% de P et 15% de K.
- ▶ **L'urée** (46% d'azote), engrais azoté de couverture, l'urée est l'engrais sec le plus riche en azote et il est complètement soluble à l'eau, il est sous forme organique nécessitant une
- ▶ **Nitrate d'Ammonium** (UAN) 32% d'azote, engrais polyvalent liquide, à diluer dans L'eau entre 5 et 10% selon le stade végétatif (Fertial, 2010).
- ▶ **Le Super Phosphate Triple** (TSP, 46% de P_2O_5), engrais phosphaté de fond utilisé avant le semis des cultures. Contient également des oligo-éléments : Bore (61 ppm), fer (3638ppm), manganèse (114 ppm), zinc (170 ppm) et le cuivre (05 ppm), un engrais utilisé à grande échelle dans notre pays, alors qu'il est totalement déconseillé pour le sol alcalin.

5.3.1.2 Vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale de Guelma :

Compte tenu du taux élevé de pollution par les nitrates remarqué surtout dans l'axe Guelma – Belkheir, Boumahra, les eaux souterraines de la nappe alluvionnaire de Guelma risquent de recevoir aussi, indirectement tous les autres polluants présents dans les eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents (Oued Skhoun, Oued Maïz, Oued Zimba et Oued Boussora) par le biais de l'irrigation.

Une carte de vulnérabilité à la pollution établie par Sabah.L en 2017 à partir des données de Forages en utilisant la méthode de GOD basée sur la combinaison de trois paramètres :

- Type de nappe (Groundwater occurrence) ;
- Type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques (Over all aquifer class) ;
- Profondeur de la nappe (Depth to Groundwater table).

La détermination de ces facteurs aboutira à l'élaboration d'une carte de vulnérabilité, sa lecture, montre la présence de quatre zones de profondeur différentes.

La carte réalisée indique que les zones les plus profondes se localisent au Sud-ouest, au niveau de la haute terrasse (nappe des travertins), les parties les moins profondes sont

juxtaposées au Sud Est dans la moyenne terrasse, où on retrouve les profondeurs intermédiaires ; tandis que les faibles profondeurs recouvrent la basse terrasse au Nord de la ville de Guelma, au Nord-est de Boumahra et même jusqu'à Nador, cette répartition nous a permis de déterminer quatre indices allant de 0,6 à 0,8, ce qui nous a permis de calculer les indices afin d'établir la carte de vulnérabilité.

Le calcul des indices globaux aboutit à la carte de vulnérabilité, l'observation de cette dernière montre trois classes de vulnérabilité d'inégales extensions.

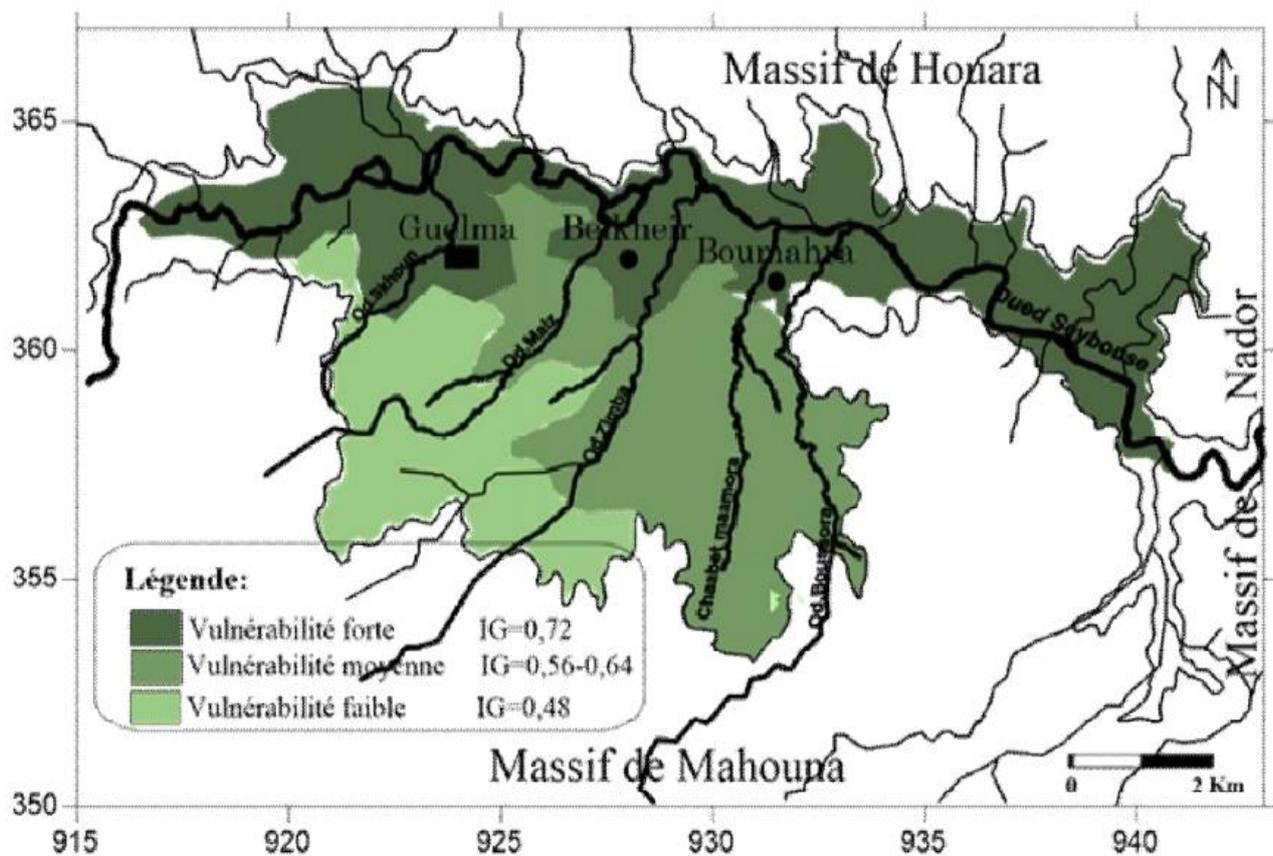


Figure 5.26: Carte de vulnérabilité de la nappe aquifère de la plaine de Guelma selon la méthode de GOD. (Latifi.S, 2017 modifiée).

L'observation de la carte montre trois catégories de vulnérabilités : la première, dont les indices atteignent 0.72, indique une très forte vulnérabilité et se localise au niveau de la ville de Guelma et Belkheir jusqu'à Nador, où elle couvre la surface totale de la basse terrasse. Le deuxième des valeurs de l'indice varie de 0.56 à 0.64, et occupe une grande partie de la moyenne terrasse dans sa partie Sud Est, la partie Sud-ouest-est caractérisée par des indices de l'ordre de 0.48, indiquant une vulnérabilité modérée, la méthode du GOD, nous a permis

d'avoir une première idée sur la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe aquifère de la région de Guelma.

5.3.2 Périmètres de protection :

La qualité des ressources en eau de la nappe alluviale de Guelma connaît une dégradation croissante ces dernières années sous l'effet de la présence de foyers de pollution engendrés par des activités anthropiques, il est devenu, de ce fait, nécessaire de mettre en place des mécanismes et des actions visant la préservation et la sauvegarde de ces ressources, la prévention de la contamination à l'échelle locale prévoit l'établissement de périmètres de protection autour des ouvrages de captages.

Un périmètre de protection est un espace délimité physiquement (clôture, cercle de pierres...) afin de sauvegarder et protéger l'accès à un espace qui présente un intérêt esthétique ou patrimonial, ou bien une dangerosité certaine.

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines sont définies comme autant un outil idéal pour aviser et réduire toute cause de pollution susceptible de nuire à la qualité des eaux destinées à l'alimentation en eau potable.

la mise en place des périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation et la surveillance des prescriptions associées, améliore la sécurité sanitaire en réduisant le risque de pollution microbienne ou toxique massive et brutale en contrôlant les activités susceptibles de générer des pollutions accidentelles pouvant avoir un impact sur la qualité des eaux, trois zones de protection des ressources en eau (forages, champs captant, barrages, sources, etc.) : la zone de protection immédiate ; la zone de protection rapprochée et la zone de protection éloignée. [22]

➡ **Périmètre de Protection Immédiate (PPI) :**

La zone de protection immédiate est la zone de captage elle comprend les alentours immédiats d'un captage ou d'une installation de réalimentation de la nappe (un périmètre de 10 m au moins autour du captage et des drains des puits filtrants), seules les interventions et activités en rapport avec le captage de l'eau sont autorisées dans cette zone, toute interdiction vise à éviter des dégâts aux installations de captage ou une pollution directe de l'eau exploitée, la zone d'implantation du captage doit donc appartenir au service d'approvisionnement en eau et être clôturée.

➡ **Périmètre de Protection Rapprochée (PPR) :**

Le périmètre de protection rapprochée a pour rôle la protection efficace du captage vis-à-vis de la migration souterraine des substances polluantes, il présente une zone intermédiaire, qui accepte des activités sans risques pour la ressource et le captage, ou des activités diminuant le risque de pollution, sa surface varie selon la vulnérabilité du captage et de la ressource en eau, c'est-à-dire selon les caractéristiques de l'aquifère et le débit de pompage.

➡ **Périmètre de Protection Éloignée (PPE):**

Le périmètre de protection éloignée prolonge éventuellement le précédent pour renforcer la protection contre les pollutions permanentes ou diffuses, il sera créé si l'on considère que l'application de la réglementation générale, même renforcée, n'est pas suffisante, en particulier s'il existe un risque potentiel de pollution que la nature des terrains traversés ne permet pas de réduire en toute sécurité, malgré l'éloignement du point de prélèvement. [22]

5.4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé d'évaluer les paramètres de qualité des eaux de la nappe souterraines de Guelma, nous avons détecté la présence de quelques éléments toxiques mais à des teneurs à l'état de traces et en conséquence ne dépassent pas les normes admissibles actuellement mis en vigueur, toutefois, il est possible qu'à long terme le problème de contamination se posera à cause de la présence des eaux usées domestiques et industrielles s'écoulant sur un sol alluvial, l'impact de ces éléments sur la santé, même à dose faible, peut être dangereux et à l'origine de graves maladies, les sols de la plaine jouent le rôle d'un protecteur naturel, mais on ne sait pas jusqu'à quelle point cette protection.

Conclusion générale

Conclusion générale :

L'eau une denrée rare et précieuse, représente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays, nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion.

Le bassin de Guelma renferme dans son sous sol un potentiel hydrique assez important, constitué par un réseau de sources utilisées essentiellement pour l'alimentation en eau potable et l'irrigation des parcelles de terre malheureusement il a connu une urbanisation rapide et un développement industriel marqué, par conséquent, ce développement socio-économique s'accompagne d'une augmentation des débits des rejets des eaux usées, et du degré de pollution des eaux de surfaces et souterraines.

La zone de Guelma est caractérisée par un climat semi-aride avec des précipitations irrégulières concentrées pendant les mois d'hiver, l'agriculture est une activité économique importante dans la zone, avec la culture d'oliviers, de céréales et de légumes.

Le secteur étudié (**Guelma- Belkheir-Boumahra**) appartient à la nappe alluviale de Guelma, partie intégrante du bassin de l'Oued Seybouse qui fait partie de la moyenne Seybouse, il se situe au cœur d'une grande région à activité agricole intense à **227 m** d'altitude moyenne.

La nappe alluviale de Guelma couvre une superficie de l'ordre de **122 km²** avec environ **25km** d'Est en Ouest et entre **3 et 10 km** de largeur, ses alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et des apports latéraux du bassin versant de Guelma, une batterie de forage d'un nombre important capte les eaux de cette plaine qui sont destinés que ce soit en AEP et à AEI, ou à irrigation, mobilisant un débit de **432 l/s** et un débit d'exploitation réel pour la population est de **165 l/s**,

Le présent travail vise à évaluer les paramètres de qualité physicochimique, pollution globale et éléments indésirables des eaux de la nappe alluvionnaire de Guelma à travers 25 sites de prélèvement, ils ont été échantillonnés pendant la période d'étude allant du mois du 07 Février au 07 Mars 2023, ces sites de prélèvement qui ne sont que des forages et puits, sont désignés, selon le service de l'exploitation des eaux de ville de Guelma, les valeurs moyennes s'étendent sur une période de 03 mois (de janvier à Mars 2023).

L'étude est conduite, au cours de la période Février-Mars 2023, en partie sur terrain et au niveau du laboratoire de contrôle de qualité des eaux ADE- Hammam Debagh- Guelma.

Les 25 points d'eau ciblés ont été présélectionnés pour qu'ils soient les mieux représentatifs et captent les différents aquifères, sources d'alimentation de la ville de Guelma les analyses physico-chimique (T, pH, CE, Ca+2, Mg+2, K+,Cl-,HCO3-,SO4-,NO3-,).

La nappe de Guelma est, en effet, exposée aux risques d'infiltration des eaux usées jalonnant la plaine et l'intensification de l'agriculture, le diagnostic a révélé la présence d'une pollution pour quelques paramètres qui dépassent les normes algériennes de potabilité à savoir les chlorures, la dureté pour les forages en amont (**F1**), l'ammonium uniquement pour tous les forages et les sulfates pour le forage (**F6**), le risque de contamination n'est pas alarmant mais il peut avec le temps s'aggraver, de ce constant, il apparait la fermeture de quelques forages à savoir celui de **HELIA 2** et **l'OVARIE** qui sont les plus touchées par la pollution.

Pour préserver cette nappe, il est primordial de mieux traiter les effluents, en amont, préalablement à leur rejet dans les cours d'eau et de pratiquer une agriculture qui maintient le développement durable.

Les analyses effectuées sur les eaux souterraines qui alimentent le secteur urbain et la totalité des zones rurales doivent être menées d'une façon régulière pour prévenir tout risque éventuel des intoxications sur la santé, dans le contexte actuel de la politique de gestion durable des ressources en eau, la prédiction du risque de pollution et la protection de ces ressources sont d'une importance capitale, pour cela, la sauvegarde, à moyen et à long terme, de la qualité de ces ressources s'impose afin d'éviter le déficit qui aura lieu dans le futur et de préserver la qualité de l'eau souterraines pour pouvoir l'exploiter.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1]. **(Données sur l'eau** : confirmation des défaillances de l'Onema Sites Internet et articles /Corrélat.).
- [2]. **Encyclopédie.** (2006).L'eau. Edition. Encarta.
- [3]. **CIE. 2005.** Centre d'information sur l'eau.www.Cieau.com. (Mai 2022).
- [4]. **Bertrand G.2008.** Utiliser l'eau de pluie, Editions Eyrolles.130 p.
- [5]. **Ayad W. 2017.** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harroch (Wilaya de Skikda), Thèse doctorat en microbiologie appliquée, Université Badji Mokhtar-Annaba, p3-4.
- [6]. **DEGREMONT,** «Mémento technique de l'eau»,Deuxième éditionTom1,(2005).39-50.
- [7]. **Boeglin Jean-Claude,** Propriétés des eaux naturelles, Technique de ingénieur, traité environnement, en 1998, p110.
- [8]. **Louis Schriver-Mazzuoli.** 2012. La gestion durable de l'eau : ressource, qualité, organisation p18.
- [9]. **Aouissi L. Merabti W.** 2019. Eau: Étude Physico-chimique et Bactériologique Et Développement d'un Système de Traitement (membrane à Base de Charbon Actif), Mémoire de projet fin d'études, génie des procédés ; Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [10]. **Boeglin Jean-Claude,** Propriétés des eaux naturelles, Technique de ingénieur, traité environnement, en 1998, p110.
- [11]. **Gauthier Villars,** Dajozr, Précis d'écologie, 4ème édition, en1982, p525.
- [12]. **CardotARDOT Claude,** Génie de l'environnement ; le traitement de l'eau,. Paris, En 1999, p 901.
- [13]. **Djabri. L** ,Mécanismes de la pollution vulnérabilité des eaux de la Seybouse, origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, , Thèse de doctorat d'état, université d'Annaba, Algérie, en 1996.p102
- [14]. **Debieche T.H,** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Th. Doct. Univ Franche-Comté, (2002), P: 199.
- [15]. Software sensor design based on empirical data, Masson, M. H., Canu, S, Grandvalet, Y, Lyngaard-Jensen, A, Ecological Modelling, P: 139,

- [16]. **MYRAND Diane.** ing, m. sc, guide technique ; captage d'eau souterraine pour des résidences isolées, 2008.
- [17]. **RODIER .J,** l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; édition dunod, 8ème édition ; pages (945 à 1075), 1976.
- [18]. **MARSILY. J.L;** Pathogens in livestock waste, their potential for movement through soil and environmental pollution; vol. 2, pp 1-15; WDSLEY, 1995.
- [19]. **SANDRE:** Dictionnaire des données ; Mesure de la qualité des eaux souterraines, 2011.
- [20]. **www.brgm.fr** : site web : les eaux souterraines (Mars 2022)
- [21]. **www.dcwguelma.dz/fr/index.php/wilaya-guelma.**
- [22]. **www.erudit.org/fr/revues/2020-v32-n4-rseau05304/1069568ar/**

Annexes

Annexe 1 :

Normes de potabilité

Pour avoir une bonne qualité de l'eau, il faut respecter plusieurs paramètres et si l'un des paramètres ne respecte pas les normes, il faut traiter cette eau.

Le tableau suivant représente les normes de quelques paramètres physico-chimiques selon des réglementations concernant la qualité de l'eau destinée à la consommation.

Tableau 01: Normes de potabilité Algérienne et celle de l'OMS (source ADE Guelma).

Parameters	Unité	Norme Algérienne	Norme de l'OMS
pH	/	6.5-8.5	6.5-9.2
Temperature	°C	25	/
Conductivité	µs/cm	2800	/
Residues sec à 180° C	mg/l	2000	1500
Turbidité	NTU	2	5
Dureté (TH)	°F	500	500
Calcium	mg/l	200	/
Magnesium	mg/l	150	150
Sodium	mg/l	200	/
Potassium	mg/l	20	/
Sulfate	mg/l	400	250
Chlorure	mg/l	500	250
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.1
Aluminium	mg/l	0.2	0.2
Phosphate	mg/l	0.5	0.5
Ammonium	mg/l	0.5	/
Métaux Lourdes	mg/l	0.3	/
Fer	mg/l	0.3	0.3

Annexe 2 :

Mode opératoire des analyses physico chimique

Matériels et méthodes:

Dans ce travail on effectuant un suivi des paramètres physico-chimiques.

1. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est un paramètre d'importance primordiale pour la qualité d'une eau donnée, il indique si l'eau présente une acidité ou une basicité trop élevée risquant de créer des conditions peu favorables à la vie des humaine, des poissons et des végétaux. Lorsque l'écosystème d'un bassin est intact, l'eau doit avoir un pH se situant entre 7,0 et 8,4, le pH est mesuré in situ avec un Ph mètre.



Figure 01: le pH mètre.

Tableau 01:classification des eaux d'après leur pH.

pH<5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles.
pH=7	pH neutre
7<pH<8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5.5<pH<8	Majorité des eaux souterraines
pH=8	Alcalinité forte, évaporation intense

2. La Conductivité :

La conductivité d'une eau indique son caractère plus ou moins salin, les eaux pauvres en ions présentent une conductivité très faible alors que l'eau de mer, par exemple, à une conductivité très élevée, elle est mesurée par un conductimètre.

3. La turbidité :

➤ *Principe:*

La mesure de la turbidité de l'eau peut s'effectuer en utilisant l'effet Tyndall ou l'opacimétrie. L'effet de Tyndall est utilisé plus spécialement pour la mesure des faibles turbidités (eau de boisson), l'opacimétrie est appliquée aux eaux de fortes turbidités (eau brutes, eaux résiduaires), quel que soit le principe utilisé, l'appareil nécessite un étalonnage.

➤ *Matériel:*

Turbidimètre.

➤ *Mode opératoire:*

Allumer l'appareil et respecter le temps de préchauffage.

- ✚ Rincer une cuve propre avec l'échantillon à analyser, remplir la cuve d'environ 20ml d'échantillon, boucher la cuve et agiter plusieurs fois avant de jeter l'échantillon
- ✚ Répéter ce processus de rinçage à 2 reprises.
- ✚ Remplir la cuve d'échantillon à analyser (30ml).

Fermer la cuve avec le couvercle noir étanche à la lumière. Assurez-vous que l'extérieur de la cuve est propre, sec et exempt d'empreintes digitales.

- ✚ Insérer la cuve dans le puits de cuve du turbidimètre.
- ✚ Orienter la cuve et attendre que la valeur mesurée soit stable avant de la relever.

➤ *Calcul et expression des résultats :*

Les résultats sont exprimés en NTU (Unités de Turbidité Néphélométrique) et sont affichés directement par l'appareil.



Figure 02: le Turbidimètre.

4. Dosage de sulfate SO_4^{2-} :

➤ **Principe:**

Les ions sulfates sont précipités et dosés à l'état de sulfate de baryum, la réaction suivant :



➤ **Matériel spéciale:**

- ✚ Matériels courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers....).
- ✚ Spectrophotomètre UV-VISIBLE.
- ✚ Agitateur magnétique.

➤ **Réactifs:**

- ✚ Solution de BaCl_2 à 0.01N.
- ✚ Solution mère de sulfate alg/l. à partir de sulfate de sodium Na_2SO_4 .
- ✚ Solution stabilisante.

Comment préparer une solution stabilisant?

Dans une fiole jaugée de 1000ml d'eau distiller, ajouter successivement 60ml d'acide chlorhydrique pur (HCl : $d=1.19$), 200ml d'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 150ml de chlorure de sodium (NaCl) et 100ml de glycérol; compléter à 1000ml avec l'eau distiller.

Cette solution se conserver deux semaines en flacon brun à **4 °C**.



Figure 03: résultats des sulfates à partir d'un Spectrophotomètre.

5. Dosage de Nitrate NO_3^- :

➤ *Principe:*

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

➤ *Matériels spéciale:*

- ✚ Spectrophotomètre UV-VIS.
- ✚ Agitateur magnétique.
- ✚ Matériels courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers....).

➤ *Réactifs :*

- ✚ Solution de salicylate de sodium à 0.5% (renouveler toutes les 24 h.).

0.5 Gramme de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.

- ✚ Solution d'hydroxyde de sodium 30 %. 30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

H_2SO_4 concentré.

- ✚ Tartrate double de sodium et de potassium.
- ✚ Hydroxyde de sodium Na OH.....400 g.
- ✚ Tartrate de sodium et de potassium60 g.
- ✚ Eau distillée.....qsp 1000 ml.
- ✚ Laisser refroidir avant de compléter à.....1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène. Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.

- ✚ Nitrate de potassium anhydre.....0.722 g.
- ✚ Eau distillée.....1000 ml.
- ✚ Chloroforme 1 ml.

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

Tableau 02: courbe d'étalonnage.

N° de capsule	B	I	II	III	IV
s étalon 5 mg/l.	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
s de salicylate de Na	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/l de N nitrique	0	0.5	1	2.5	5

➤ **Mode opératoire:**

- ✚ Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.
- ✚ Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30%.
- ✚ Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- ✚ Évaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C. (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
- ✚ Reprendre le résidu avec 2 ml. H₂SO₄ laisser reposer 10 mn.
- ✚ Ajouter 15 ml d'eau distillée.
- ✚ Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

6. Dosage de Nitrites NO₂⁻ :

➤ **principe:**

Les ions nitrites réagissent en milieu acide (PH=1,9) avec la sulfanilamide en formant sel de di-azonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl)-éthylène diamine dichloro hydraté un colorant azoïque rouge.

➤ **Réactifs :**

➤ **Solution du réactif:**

20g de Sulfamide.(C₆H₈N₂O₂S)à dissoudre dans un mélange de 50ml d'acide Phosphorique (d=1,71g/ml 85% de masse) et 250 ml d'eau distillée.

Dans cette solution dissoudre 1g de N-(1 naphtyle)-éthylène diamine-dichloro hydraté (C₁₂H₁₆CL₂N₂).

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

➤ **Solution d'acide phosphorique :**

- ✚ Dans une fiole jaugée de 250 ml. Dissoudre 25 ml d'acide phosphorique (d=1.71g/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 100 mg/l Dissoudre 0,4926g+ 0,0002 de Nitrites de Sodium (NaNO₂), sécher pendant 2 heures à 105 OC dans 750 ml d'eau distillée compléter à IL. Iml-100gr0.1mg de NO₂-N.
- ✚ Cette solution est stable pendant 1 mois à l'obscurité et à 40 °C.

❖ **Prélèvement et préparation des échantillons:**

Conserver l'échantillon à 4 °C et effectuer le dosage dans les six heures qui suivent le prélèvement, en cas d'impossibilité, ajouter une goutte de chloroforme à l'échantillon, pour le prélèvement il faut utiliser des bouteilles en verre.

Tableau 03: Courbe d'étalonnage:

file 1 mg/l	0	1	2.5	5	7.5	10
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	42.5	40
Réactif Mixte	1	1	1	1	1	1
<i>Attendre 10 min</i>						
(NO₂-) mg/l	0	0.02	0.05	0.1		0.2

➤ **Mode opératoire :**

- ✚ Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- ✚ Ajouter 1 ml du réactif mixte.

Attendre 10min.

- ✚ L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂
- ✚ Effectuer la lecture à 543 nm.

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.

7. Dosage de l'ammonium NH_4^+ :

➤ *Principe:*

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate (III) desodium (nitroprussiate de sodium).

➤ *Réactifs :*

1. *Eau exempte d'ammonium.*

2. *Réactif coloré (Réactif 1):*

✚ Peser 13g+ou- 1g de salicylate de sodium. 13g +ou-1g de citrate trisadiquedihydraté et 0,097g de sodium nitropentacyanoferrate (III) dihydraté à dissoudre dans 100 ml d'eau distillée.

✚ Conserver dans un récipient en verre brun. Cette solution est stable pendant 2 semaines



3. *Dichloroisocyanurate de sodium (Réactif 2):*

✚ Prendre 3,2g d'hydroxyde desodium dans 50 ml d'eau distillée, +0,2g +ou 0,002g De dichloro isocyanuratedihydraté

✚ Dissoudre dans 100 ml d'eau distillée, conserver dans un récipient en verre brun.

4. *Solutions étalons :*

✚ Chlorures d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ou le sulfate d'ammonium

➤ *Préparation de l'échantillon:*

Prendre 40 ml d'échantillon dans une fiole de 50 ml, ajouter 4 ml (réactif I). ; Puis ajouter 4 ml de la solution de réactif II, compléter la fiole jusqu'à la jauge, attendre 1h30min l'apparition de la couleur vert indique la présence de l'ammonium effectuer la lecture à 655 nm.

➤ *Expression des résultats :* Le résultat est donné directement en mg/l.



Figure 04: résultats d'ammonium à partir d'un Spectrophotomètre.

Tableau 04: Courbe d'étalonnage.

S fille 1 mg/l	0	1	2.5	5	25	40
ED (mb)	50	49	47.5	4.5	25	10
Réactif 1 (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif2 (Colore) (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1h30min						
[NH₄] enmg/1	0	0.02	0.05	0.1	0.5	0.8

8. Détermination des phosphates PO₄³⁻:

➤ *Principe:*

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium, réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption (l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm).

➤ **Solution d'acide phosphorique:**

- ✚ Dans une fiole jaugée de 250 ml, dissoudre 25 ml 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 100 mg/l Dissoudre 0,4926g+ 0,0002 de Nitrites de Sodium (NaNO_2), sécher pendant 2 heures à 105 °C dans 750 ml d'eau distillée compléter à 1 ml-100gr 0.1mg de $\text{NO}_2\text{-N}$.
- ✚ Cette solution est stable pendant 1 mois à l'obscurité et à 4 °C.

❖ **Prélèvement et préparation des échantillons:**

- ✚ Conserver l'échantillon à 40°C et effectuer le dosage dans les six heures qui suivent le prélèvement, en cas d'impossibilité, ajouter une goutte de chloroforme à l'échantillon.
- ✚ Pour le prélèvement il faut utiliser des bouteilles en verre.

➤ **Réactifs:**

➤ **Réactif- mélange:**

- A. 13 g d'heptamolybdate d'ammonium.....qsp 100 ml H₂O distillée.
- B. 0.35 g de tartrate d'antimoine.....qsp 100 ml H₂O distillée.
- C. 150 ml d'acide sulfurique concentré.....qsp 300 ml H₂O distillée.
- D. Mélanger (A+C)+B= 500 ml (**Stable pendant deux mois**).

➤ **Acide ascorbique:**

10 g Acide ascorbique, solution mère d'orthophosphate à 50mg/l PO_4 :.....qsp 100 ml H₂O distillée.

À partir de K_2HPO_4 dipotassiumhydrogène phosphate préalablement séché pendant 2 heures à 105 °C

- ✚ K_2HPO_40,281g.
- ✚ Eau Distillée.....1000 ml.
- ✚ H_2SO_4 4,5 N.....10 ml.

À partir de solution d'acide sulfurique 9mol/l (50% eau + 50% H_2SO_4)

Prélever un volume de cette solution et diluer à 50%

Solution fille à 2 mg/l PO_4^{3-}

20 ml de la solution à 50mg/l dans une fiole de 500 ml et compléter au volume, par l'eau distillée.

Tableau 05: Gamme d'étalonnage.

N° Fiole	0	1	2	3	4	5
S.fille à 2.0 mg/l P	0 ml	0.3	0.6	1.2	2.4	4.8
Osp 40 ml eau distillée	40 ml	40	40	10	40	40
Mg/l de P	0.0	0.0015	0.03	0.06	0.120	0.240
Mg/l de PO₄³⁻	0.0	0.0459	0.0918	0.01836	0.3672	0.7340
Formule: $P \times 3.06 = PO_4^{3-}$						
Acide ascorbique	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml	1 ml
Réactif-mélange	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml	2 ml

➤ **Mode opératoire :**

- Prendre 40 ml d'eau à analyser -1 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml du réactif-mélange
- attendre 10 mn.
- L'apparition de la coloration bleue indique la présence des PO₄
- Longueur d'onde 2 à 700 ou 880 nm.

➤ **Expression des résultats :**

Le résultat est donné directement en mg/l.



Figure 05: résultat du phosphate sur un Spectrophotomètre.

9. Matières en suspension (MES):

➤ *Principe:*

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

➤ *Matériel utilisé:*

• Dispositif de filtration disque de filtration: papier en fibre de verre /Papier Wattman 47mm de diamètre

➤ *Mode opératoire:*

- ✚ Peser les disques après passage au dessiccateur
- ✚ Le mettre en place sur le dispositif de filtration, mettre en service le dispositif et verser 200 ml de l'échantillon(V) sur le filtre.
- ✚ Sécher le disque de filtration à 105 °C pendant 20min
- ✚ Laisser refroidir et peser

➤ *Expression des résultats:*

La teneur de l'eau en MES est exprimée en (mg/l) et est donnée par l'expression suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = (P2-P1) \times 5 \times 1000.$$