

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA  
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE  
L'UNIVERS  
DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



## Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Qualité des produits et sécurité alimentaire

---

**Thème : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des  
eaux de forages du périmètre Irrigué Guelma- Boumahra**

---

**Présenté par :**

- HAMADA Souada
- SALAH- SALAH Soumia

**Devant le jury composé de :**

Président : Dr.KACHI Slimane (M.C.A)  
Examineur : Dr.NOUAR Taher (MCA)  
Mme. GUECHI Salima (M.A.A)  
Encadreur : Dr.GHRIEB Lassaad (M.C.B)

Juin 2012

## Remerciement

Avant toute chose, nous tenons à exprimer nos profonds remerciements à dieu, qui nous a donné la force et la volonté pour faire ce modeste travail.

Ce travail n'aurait vu le jour sans la collaboration de nombreuses personnes qu'il nous est agréable de leur adresser nos vifs remerciements

Tout d'abord nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères estimés à Mr GHRIEB Lassaad, qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail avec ses précieux conseils, sa disponibilité constante, et son soutien permanent.

Nous tenons à remercier Monsieur KACHI.S, d'honorer par sa présence la présidence de ce jury.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail : Mr. NOUAR.T, et Mme GUECHIS.

Nous remercions également Messieurs : Châalal.M, directeur de l'algerienne des eaux Guelma, Amraoui.S et Gueroui.Y ainsi que toute l'équipe du laboratoire Hammam Dbegh sans pour autant oublier Mr Benmarce.K et Mme Boudjebiar. A La DHW Guelma.

Nos reconnaissances et notre gratitude vont à l'égard de Mme Houria, ainsi qu'à tout le personnel du laboratoire du département de Biologie Guelma.

Les personnes qui ont partagé avec nous les moments d'espoir, de joie et surtout les périodes difficiles, par leur soutien continu et sans faille : Yacine, Samer, Mehdi, Hana, Marwa, Ahlem, Ikhlasse, Karima et Meriem. On vous exprime toutes nos reconnaissances et nos remerciements les plus affectueux.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants et personnels du département de Biologie.

Nous voudrions en fin rendre un hommage particulier à la patience de Nos parents qui ne se sont guère fatigués de prier pour nous, de nous supporter, de nous soutenir, surtout que nous dérangeons toujours leur quiétude jusqu'à ce qu'ils soient parfaitement content de nous et pour nous.

## Résumé

La plaine de Guelma possède actuellement des ressources hydriques relativement limitées. Ces dernières années, un essor économique, particulièrement agricole, a eu lieu, ce qui a entraîné, d'une part, l'accroissement des besoins en eaux et a provoqué, d'autre part, la dégradation de la qualité des eaux.

Le choix de ce thème de recherche a été guidé par le souci de mieux connaître les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques ainsi que les questions d'ordre environnemental, à savoir la présence de polluants et leurs origines.

Nous avons ainsi pu étudier l'évolution des paramètres physico-chimiques et bactériologique d'une manière convenable, permettant la comparaison de l'historique de l'année 2010 avec celui de l'année 2012.

Cette étude comprend les éléments majeurs, le cycle d'azote, les paramètres physiques et cinq paramètres bactériologiques (Germe revivifiables, coliformes totaux, coliformes thermo tolérants, streptocoques fécaux et les anaérobies sulfite-réductrices).

Le traitement et la représentation des données ont fait appel à l'usage d'outils modernes à savoir l'analyse statistique et graphisme automatique.

Ainsi les résultats obtenus pour la période d'analyse (2010,2012), indiquent que les eaux de ces forages sont dépourvues de tous germes pathogènes, et présentent une bonne qualité chimique.

**Mots clés :** Ressources hydriques, paramètres physico-chimiques, paramètres bactériologiques.

### Abstract

Actually the plain of Guelma has very limited water resources. These last years, a developed agricultural economy has taken place as a result of the need of water in one side and the degradation of water in the other side.

The choice of this research theme was guided by the need to better understand the physico-chemical and bacteriological characteristics as well as the environmental order issues and the presence of pollutants and their origins.

We have studied the evolution of the physico-chemical and bacteriological parameters in a proper manner with a comparison between the history of 2010 and 2012.

This research studied the major elements, the nitrogen cycle, the physical parameters and five bacteriological parameters (Viable Germs, total coliforms, thermotolerant coliforms, fecal streptococci and sulfite-reducing anaerobes).

The treatment and the data representation used the modern tools in order to learn the statistical analysis and auto graphics.

The obtained results for the period of (2010-2012) shows that the water in these wells are devoid of all pathogens, and have a good chemical quality.

**Keywords:** Water resources, the physico-chemical parameters, bacteriological parameters

Produced with Scantopdf

## ملخص

يملك سهل قالمة حاليا موارد مائية محدودة نسبيا. حيث شهدت المنطقة في السنوات الاخيرة نمو اقتصادي و بالخصوص فلاحى ادى الى الزيادة فى احتياجات الموارد المائية من جهة و الى نقص جودتها من جهة اخرى. تم اختيار موضوع البحث نتيجة الحرص على معرفة الخصائص الفيزيوكيميائية و البكتريولوجية و كذلك بعض المسائل المتعلقة بالبيئة مثل العناصر الملوثة و مصادرها . كما تمت دراسة تطور العناصر الفيزيوكيميائية و البكتريولوجية بصورة ملائمة سمحت بمقارنة نتائج 2010 مع نتائج 2012. حيث تحتوي هذه الدراسة على عناصر هامة منها دورة الازوت. العناصر الفيزيائية و خمس عناصر بكتريولوجية تم من خلالها تمثيل و معالجة المعطيات بواسطة ادوات حديثة منها طريقة الخرائط و البيانات الالية. و قد اظهرت البيانات و النتائج المحصل عليها في فترتي 2010 و 2012 ان المياه الجوفية المستخرجة من الابار العميقة محور الدراسة ذات نوعية كيميائية جيدة .

الكلمات المفتاحية : الموارد المائية. العناصر الفيزيوكيميائية. العناصر البكتريولوجية

## Table des matières

## Chapitre I

Introduction Générale.....	1
1. L'eau dans la vie.....	3
2. Définition de l'eau.....	3
3. Le cycle de l'eau.....	4
4. La répartition de l'eau sur la planète.....	5
4.1. L'eau sous forme de gaz.....	6
4.2. L'eau sous forme liquide.....	6
4.3. L'eau sous forme de glace (iceberg).....	7
5. Les différents types de l'eau.....	8
5.1. Les eaux souterraines.....	8
5.1.1. Les eaux de sources.....	8
5.1.2. Les eaux de puits.....	9
5.1.3. Les eaux de forage.....	10
5.2. Les eaux de surface.....	10
5.2.1. Eaux courantes.....	10
5.2.2. Eaux stagnantes.....	11
5.3. La différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface.....	12
6. Usages des eaux.....	13
6.1. Usages domestiques.....	13
6.2. Usages agricoles.....	13
6.3. Usages industriels.....	13
7. La pollution de l'eau.....	14
7.1. Les principaux indicateurs de pollution.....	17
7.1.1. Indicateurs chimiques.....	17
7.1.2. Indicateurs physiques.....	17
7.1.3. Les indicateurs microbiologiques.....	18
7.2. Les différents types de pollution.....	18
7.2.1. La pollution naturelle.....	18
7.2.2. La pollution agricole.....	18
7.2.3. La pollution industrielle.....	20
7.2.4. La pollution résidentielles.....	20

8. Les maladies à transmission hydrique MTH.....	21
<b>Chapitre II</b>	
1. Description du site.....	23
2. Aperçu Géologique et stratigraphie.....	25
2.1. Le Primaire.....	25
2.2. Le Trias.....	25
2.3. Le Néritique.....	25
2.3.1. Le Jurassique.....	25
2.3.2. Le Crétacé.....	25
2.4. L'unité tellienne.....	25
2.5. L'unité ultra – tellienne.....	26
2.6. Le Numidien.....	26
2.7. Le Post – nappe.....	26
2.7.1. Le Mio-Pliocène.....	26
2.8. Le Quaternaire.....	26
2.8.1. Les Alluvions anciennes.....	26
2.8.2. Les Alluvions récentes.....	27
3. Climatologie.....	29
3.1. Analyse des données climatiques.....	29
3.1.1. Les précipitations.....	29
3.1.2. Les températures.....	33
3.1.3. Type de climat.....	36
3.1.4. L'humidité relative de l'air.....	37
3.1.5 Les vents.....	37
3.2. Le bilan hydrogéologique.....	38
3.2.1 Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :.....	38
3.2.2. Estimation du ruissellement.....	40
<b>Chapitre III</b>	
1. Echantillonnage.....	42
2. Matériel et mode de prélèvement.....	42
3. Transport des échantillons.....	43
4. Les différents paramètres d'étude.....	43
4.1. Analyses bactériologiques.....	43

4.1.1	Méthode d'analyse.....	43
4.1.2	Matériel utilisé.....	44
4.1.3	Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C... 44	
4.1.3.1	Objet et domaine d'application.....	44
4.1.3.2	Définition.....	44
4.1.3.3	Mode Opérateur.....	44
4.1.3.4	Lecture.....	45
4.1.4	Recherche et dénombrement des bactéries Coliformes et des Escherichia coli..... 47	
4.1.4.1	Objet et domaine d'application.....	47
4.1.4.2	Définition.....	47
4.1.4.3	Mode opératoire.....	47
4.1.4.4	Lecture.....	48
4.1.5	Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux (streptocoques)..... 51	
4.1.5.1	Objet et domaine d'application.....	51
4.1.5.2	Définition.....	51
4.1.5.3	Mode opératoire.....	51
4.1.5.4	Lecture.....	52
4.1.6	Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices et de Clostridium sulfite-réducteurs..... 54	
4.1.6.1	Objet et domaine d'application.....	54
4.1.6.2	Définition.....	54
4.1.6.3	Mode opératoire.....	54
4.1.6.4	Lecture.....	55
4.2	Analyses physico-chimiques.....	57
4.2.1	Les paramètres physiques.....	57
4.2.1.1	PH.....	57
4.2.1.2	Température.....	57
4.2.1.3	La conductivité.....	57
4.2.1.4	La salinité.....	58
4.2.1.5	La turbidité.....	58
4.2.1.6	La teneur en sel dissous TDS.....	58
4.2.2	Les paramètres chimiques.....	58
4.2.2.1	Dosage du calcium (Ca <sup>+2</sup> ).....	58
4.2.2.2	Dosage du magnésium (Mg <sup>+2</sup> ).....	59

4.2.2.3. Dosage de sodium et potassium.....	60
4.2.2.4. Chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	62
4.2.2.5. Détermination des sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	63
4.2.2.6. TAC/TC.....	64
4.2.2.7. Dosage des nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	65
4.2.2.8. Dosage des ions Nitrites (Méthode spectrométrique).....	67
4.2.2.9. Dosage de l'Ammonium (Méthode spectrométrique manuelle).....	69
4.2.2.10. Détermination du fer.....	70
4.2.2.11. (TH) Titre hydrotimétrique par (E.D.T.A).....	71
4.2.2.12. Résidu sec.....	72
4.2.2.13. Détermination des matières en suspension M.E.S.....	73
4.2.2.14. Matières organiques (M/O).....	73
<b>Chapitre IV</b>	
1. Analyses bactériologiques.....	75
2. Analyses physicochimiques.....	78
2.1. Paramètres physiques.....	78
2.1.1. Température.....	78
2.1.2. Conductivité électrique CE.....	78
2.1.3. La salinité.....	79
2.1.4. La teneur en sel dissous.....	79
2.1.5. La turbidité.....	79
2.1.6. Potentiel d'hydrogène (PH).....	79
2.2. Les paramètres chimiques.....	80
2.2.1. Les éléments majeurs.....	80
2.2.1.1. Calcium.....	80
2.2.1.2. Le magnésium (Mg <sup>2+</sup> ).....	80
2.2.1.3. Le sodium (Na <sup>+</sup> ).....	81
2.2.1.4. Les chlorures (Cl <sup>-</sup> ).....	82
2.2.1.5. Les sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ).....	83
2.2.1.6. Les bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	83
2.2.1.7. TH.....	84
2.2.1.8. TA et TAC.....	84
2.2.1.9. Résidus sec.....	84

2.2.1.10. Matières organiques.....	85
2.2.2. Détermination des principaux faciès chimiques.....	85
2.2.2.1. Faciès chimiques.....	85
2.2.2.2. Représentation graphique des faciès hydrochimiques.....	86
2.2.3. Impact des activités agricoles.....	91
2.2.3.1. Nitrate.....	91
2.2.3.2. Nitrite.....	91
2.2.3.3. Ammonium.....	92
2.2.4. Pollution métallique.....	93
2.2.4.1. Le fer.....	93
2.3. Analyse statistique (application de L'ACP).....	93
2.3.1. Analyse de l'espace des variables.....	94
2.3.2. Analyse de l'espace des individus.....	95
2.4. Indice de saturation.....	96
2.4.1. Application aux eaux de la région étudiée.....	96
2.4.2. Evolution des valeurs des IS dans les eaux de la région.....	97
Conclusion.....	100

Produced with ScanTopDF

Liste des figures		
Numéro de figure	Titre de figure	Numéro de la page
Figure1.1	Une molécule d'eau (tétraèdre)	4
Figure1.2	Le cycle de l'eau	5
Figure1.3	La répartition de l'eau sur la planète	6
Figure1.4	L'eau sous forme de gaz	6
Figure1.5	L'eau sous forme liquide	6
Figure1.6	L'eau sous forme de glace	7
Figure1.7	Le pourcentage d'eau salé et eau douce	8
Figure1.8	Eaux de sources	9
Figure1.9	Un puits	10
Figure2.1	Carte de description du site	24
Figure2.2	Carte structurale de la région de Guelma, extraite de la carte géologique	27
Figure2.3	Précipitations annuelles médianes « normales»	30
Figure2.4	Variabilité annuelle des précipitations à la station de Guelma	32
Figure2.5	Variabilité des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma	33
Figure2.6	Variation des températures moyennes annuelles à la station de Guelma	34
Figure2.7	Températures moyennes mensuelles à la station de Guelma	35
Figure2.8	Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M., 1998)	36
Figure2.9	Diagramme pluviothermique de la station de Guelma	37
Figure2.10	Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques	39
Figure3.1	Recherche et dénombrement des Microorganismes révivifiables à 22 et à 37°	46
Figure3.2	Recherche et dénombrement des coliformes et <i>Escherichia coli</i>	50

Figure3.3	Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux	53
Figure3.4	Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices	56
Figure4.1	Evolution des teneurs en Calcium périodes Avril (2010-2012)	80
Figure4.2	Evolution des teneurs en Magnésium périodes Avril (2010-2012)	81
Figure4.3	Evolution des teneurs en Sodium périodes Avril (2010-2012)	81
Figure4.4	Evolution des teneurs en Chlorures périodes Avril (2010-2012)	82
Figure4.5	Evolution des teneurs en Sulfate périodes Avril (2010-2012)	83
Figure4.6	Evolution des teneurs en Bicarbonate périodes Avril (2010-2012)	83
Figure4.7	Diagramme de Piper période Avril 2012	87
Figure4.8	Diagramme de Piper période Avril 2010	88
Figure4.9	Diagramme de Scheoller période Avril 2012	89
Figure4.10	Diagramme de Scheoller période Avril 2012	90
Figure4.11	Evolution des teneurs en Nitrate périodes Avril (2010-2012)	91
Figure4.12	Evolution des teneurs en Nitrites périodes Avril (2010-2012)	92
Figure4.13	Evolution des teneurs en Ammonium périodes Avril (2010-2012)	92
Figure4.14	Evolution des teneurs en Ammonium périodes Avril (2010-2012)	93
Figure4.15	Espace des variables de l'ACP globale	95
Figure4.16	Espace des individus	96

---

Figure4.17	Évolution des indices de saturation dans les eaux de la région (année2010).	98
Figure4.18	Évolution des indices de saturation dans les eaux de la région (année2012).	98

Produced with ScanTOPDF

Liste des Tableaux

Numéro du tableau	Titre du Tableau	Numéro de la page
Tableau1.1	Comparaison entre les caractéristiques de l'eau de surface et celles de l'eau souterraine en se basant sur les paramètres principaux d'analyse	12
Tableau1.2	Liste de sources potentielles de contamination des eaux souterraines	16
Tableau2.1	Description géologique et hydrogéologique des formations de la région d'étude	28
Tableau2.2	Caractéristiques géographiques et topographies de la station de Guelma	29
Tableau2.3	Précipitations annuelles à la station de Guelma de 1995-96 à 2009-2010	31
Tableau2.4	Précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (1995/96 - 2009/10)	32
Tableau2.5	Températures moyennes annuelles à la station de Guelma	33
Tableau2.6	Les températures moyennes mensuelles à la station de Guelma	34
Tableau2.7	Les extrêmes mensuels moyens à la station de Guelma	35
Tableau2.8	Variations moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air à la station de Guelma	37
Tableau2.9	Le bilan hydrologique selon la méthode de C.W Thornthwaite à la station De Guelma	38
Tableau2.10	Classes des pentes et leurs superficies dans la plaine de Guelma	40

Tableau2.11	Répartition des types de végétations par classes des superficies	41
Tableau3.1	Gamme de solutions filles étalons en sodium Préparer une gamme de six solutions filles	61
Tableau3.2	Gamme de solutions filles étalons en potassium Préparer une gamme de Cinq solutions filles	61
Tableau3.3	Préparation de la concentration $SO_4$	64
Tableau3.4	Courbe d'étalonnage $NO_3^-$	66
Tableau3.5	Courbe d'étalonnage $NO_2^-$	68
Tableau3.6	Courbe d'étalonnage Ammonium	69
Tableau3.7	Etablissement de la courbe d'étalonnage	71
Tableau4.1	Des normes particulières calculées selon les paramètres avec des méthodes différentes	75
Tableau4.2	L'évolution du nombre des germes revivifiables, des coliformes totaux, coliformes thermo tolérants, streptocoques fécaux et les anaérobies sulfite réductrices	76
Tableau4.3	Détermination du faciès chimique des eaux de la nappe par la formule ionique	86
Tableau4.4	Matrice de corrélation entre les variables	94
Tableau4.5	Valeurs de l'indice de saturation	98

## Glossaire

- ACP** : Analyse en Composantes Principales  
**ADE** : Algérienne des eaux  
**ANRH** : l'Agence Nationale des Ressources Hydriques  
**ASR** : Anaérobies sulfito-réductrices  
**(B)** : Bore  
**BA3**: Forage Boumahra N°= 3  
**BH**: Bilan Hydrique  
**BK1**: Forage Belkhir N°=1  
**Ca<sup>2+</sup>** : Calcium  
**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de calcium  
**CE** : Conductivité Electrique  
**CF** : Coliformes Fécaux  
**(Cl)** : Chlorure  
**(Cl<sub>2</sub>)** : Le chlore libre  
**CL** : Coefficient de latitude  
**CO<sub>3</sub>**: Carbonate  
**CP** : Coefficient pluviométrique  
**Def** : Déficit agricole  
**EDTA** : acide éthylène diamine tétraacétique  
**EIP** : Evapotranspiration potentielle  
**ETR** : Evapotranspiration réelle  
**EXC** : Excédent  
**Fe**: Fer  
**FNU**: Formazin Nephelometric Unit  
**GT** : Germes totaux  
**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Bicarbonate  
**IAP** : Produit d'activité ionique  
**ISO** : Organisation international de la normalisation  
**It**: Indice thermique  
**K**: Potassium  
**KCl** : Chlorure de potassium  
**MES** : Matière en Suspension  
**Mg<sup>2+</sup>** : Magnésium  
**MgCO<sub>3</sub>** : Carbonate de magnésium

**KMNO<sub>4</sub>** : Permanganate de potassium  
**MO** : Matière Organique  
**MTH** : Maladies à transmission hydrique  
**(Na)** : Sodium  
**NaCl** : Chlorure de sodium  
**NANO<sub>2</sub>** : Nitrite de sodium  
**NAOH** : Hydroxyde de Sodium  
**NH<sub>4</sub>** : L'ammonium  
**NO<sub>2</sub>** : Nitrite  
**NO<sub>3</sub>** : Nitrate  
**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit  
**ONM** : Office National de la Météorologie  
**OMS** : Organisation mondiale de la santé  
**PH** : Potentiel Hydrogène  
**RFU** : Réserve en eau Facilement Utilisable  
**S.A.R** : Le rapport d'adsorption du sodium  
**SO<sub>4</sub>** : Sulfate  
**T** : Température  
**TAC** : Titre alcalimétrique complet  
**TDS** : Teneur en Sel Dissous  
**TH** : Titre hydrotimétrique  
**TSC** : La gélose Tryptone-Sulfite-Cycloséline  
**TSN** : Gélose Tryptone-Sulfite-Néomycine  
**TTC** : Milieu Tergitol 7  
**UFC** : Unité Formant Colonie  
**VF** : Milieu Viande Foie

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Produced with Scantopdf

## Introduction Générale

L'eau est un élément matériel de base et une ressource naturelle très précieuse, dont les usages domestiques, agricoles, industriels, urbains et de loisirs sont devenus considérables.

La survie des écosystèmes planétaires, la santé et le bien-être de l'humanité reposent sur cette source vitale qui est l'eau. Le problème des ressources en eau mobilisables ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible, la qualité de ces eaux commence à poser de sérieux problèmes.

Tout comme l'air que nous respirons, l'eau de qualité et en quantité suffisante est un trésor collectif indispensable et irremplaçable, qui est en train de devenir un objet de conflits et de guerres, ainsi que de profit et de commerce lucratif.

L'année 2003 a été proclamée Année internationale de l'eau douce par l'UNESCO et par l'Assemblée générale de l'ONU. De plus, le Comité des droits économiques, sociaux et culturels de l'ONU vient de déclarer que l'accès à l'eau potable est un droit humain fondamental. Entre le Sommet de la Terre de 1992 à Rio et celui de Johannesburg en 2002, il y a eu une prise de conscience croissante du fait que l'eau est un enjeu vital pour l'avenir. Nous sommes maintenant devant la nécessité d'utiliser, de gérer, et de protéger l'eau de façon durable, et de garantir son équilibre entre les besoins et les utilisations car elle est à la base de toutes les formes de vie sur Terre.

En Algérie, La disponibilité annuelle de l'eau est de  $600\text{m}^3 / \text{hab} / \text{an}$ , donc il se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale qui est de l'ordre de  $1000\text{m}^3 / \text{hab} / \text{an}$  (Banque Mondiale, 1985). Les difficultés d'approvisionnement en eau douce, les problèmes de qualité de l'eau de boisson, la récurrence des maladies hydriques constituent déjà des menaces pour la stabilité social'.

En effet l'eau potable est essentielle à la vie; pourtant elle peut aussi être source d'exposition à des pathogènes et des contaminants chimiques et physiques. Les experts en santé publique conviennent généralement que les pathogènes microbiologiques représentent le plus gros risque associé à l'eau potable. Ces pathogènes peuvent causer l'apparition de maladies responsables de graves problèmes de santé pour une forte proportion de la population touchée.

Par contraste, les problèmes de santé liés aux contaminants chimiques se manifestent en principe après une longue période d'exposition.

La qualité des eaux a connu une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés ; utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que de l'exploitation désordonnée en eau. Ces facteurs provoquent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Pour ce faire, et dans une tentative de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité des eaux de forages, un suivi des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques a été réalisé.

Pour atteindre nos objectifs nous avons procédé de la manière suivante :

Après cette introduction, le manuscrit est divisé en quatre chapitres indépendants :

- Le **premier chapitre** : représente des généralités sur le cycle de l'eau, sa répartition sur la planète et ces différents types.
- Le **deuxième chapitre** : donne un aspect général sur la géologie, la climatologie et le cadre physique de la région d'étude.
- Le **troisième chapitre** : décrit les techniques et la méthodologie suivies de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des forages.
- Le **quatrième chapitre** : consacré à l'interprétation des différents résultats obtenus au cours de notre étude pratique. Il est suivi d'une discussion et finalement une conclusion relatant la qualité de cette eau.

# CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS

Produced with ScantOPDF

## 1. L'eau dans la vie

L'eau est le principal constituant des êtres vivants et l'élément indispensable à toute forme de vie. Sans eau, aucun organisme, qu'il soit végétal ou animal, simple ou complexe, petit ou gros, ne peut vivre

Pendant plus d'un milliard d'année se sont développés dans les océans des organismes unicellulaires (bactéries, algues, protozoaires), ensuite apparurent des organismes pluricellulaires, les premiers végétaux, les premiers animaux invertébrés et vertébrés.

Il y a environ 600 millions d'années se développèrent les organismes terrestres (amphibiens, reptiles, oiseaux, mammifères).

C'est ainsi selon les théories actuelles que la vie prit forme sur la terre et dans la mer. L'être humain, comme tout organisme vivant a besoin d'eau pour vivre, car c'est l'un des composants essentiel de son corps.

L'eau assure en partie son travail musculaire et mental. Mais l'homme dans sa vie de tous les jours perd de ce liquide si précieux, dans les urines et la transpiration par exemple. Il est donc vital pour sa survie d'absorber régulièrement de l'eau. On estime qu'un adulte, dans des conditions normales, devrait absorber 2,5 litres d'eau par jour (1,5L en boisson et 1L contenu dans les aliments solides) [16]

## 2. Définition de l'eau

La molécule de l'eau est simple, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène - sa formule chimique est  $H_2O$

Chaque atome d'hydrogène est relié à l'atome d'oxygène par une liaison covalente O-H celle-ci constituée par la mise en commun de deux électrons -ils forment un doublet - l'un venant de l'oxygène, l'autre de l'hydrogène (Michel lamy, 1995).

La molécule d'eau se présente donc comme un tétraèdre (figure1.1) dont l'atome d'oxygène occupe presque le centre (s'il occupait le centre, l'angle entre les deux liaisons O-H serait de  $109.5^\circ$ ).

Les propriétés électroniques et géométriques de la molécule d'eau ont une conséquence importante: dans la liaison covalente O-H, l'oxygène, qui est plus électronégatif que l'hydrogène, attire davantage les électrons et il se crée ainsi une dissymétrie dans la distribution des charges.

Celle-ci peut schématiquement se représenter par deux charges ponctuelles positives à l'endroit des atomes d'hydrogène et deux charges négatives correspondant aux deux orbitales non liantes, ce qui crée un dipôle permanent au sein de la molécule d'eau.

Il s'ensuit que l'eau, bien qu'électriquement neutre, possède un moment dipolaire important ( $1.8 \text{ Debye} = 6.1 \cdot 10^{-30} \text{ coulomb.m}$ ). (Horton et al, 1994).

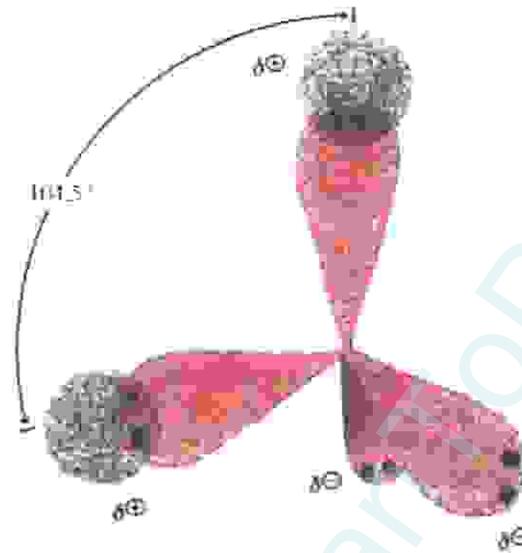


Figure 1.1 : Une molécule d'eau (tétraèdre) (Horton et al, 1994).

### 3. Le cycle de l'eau

Lorsqu'il pleut, l'eau qui tombe du ciel est en partie la même eau qui existe sur terre depuis des millions d'années. Système clos, la planète ne gagne ni ne perd jamais d'eau mais la fait circuler dans un cycle perpétuel d'évaporation et de précipitation. Une partie de cette eau voyage dans ce circuit dynamique relativement rapidement (quelques semaines), tandis qu'une autre partie prend des milliers d'années lorsqu'elle est tout au fond des océans ou stockée dans un glacier.

Puisque le cycle hydrologique forme une boucle il ne possède pas vraiment de début ou de fin. Partons du moment où, grâce à l'action chauffante du soleil, l'eau s'évapore des océans, rivières, fleuves et lacs de la terre. Les plantes apportent également de l'humidité dans l'atmosphère, un phénomène appelé (transpiration végétale). Toute cette vapeur d'eau finit par se condenser dans l'atmosphère pour former des nuages. Après une semaine environ, les précipitations sous forme de pluie, de grêle ou de neige, rapportent l'eau vers la terre. La majeure partie de cette eau tombe dans la mer ou vient grossir les glaciers continentaux.

Le reste alimente les réserves d'eau douce des différents avant de remonter vers l'atmosphère. Une partie s'évapore rapidement, et les végétaux absorbent également les précipitations avant de les rejeter par transpiration dans l'air. Pluie et neige alimentent les rivières, fleuves et lacs de la planète, dont l'eau finit par prendre la direction de la mer. Une certaine proportion des précipitations s'infiltre dans le sol et la roche pour rejoindre les

nappes phréatiques, dont l'eau rejaillira un jour ou l'autre à la surface ou dans les océans du globe, en attendant son tour dans l'atmosphère.

Entre la terre et son atmosphère, la quantité d'eau demeure inchangée : pas une goutte en plus, pas une goutte en moins. C'est l'histoire d'une infinité circulaire, d'une planète qui se donne la vie (figure 1.2). (Linda Hogan et all, 2009)

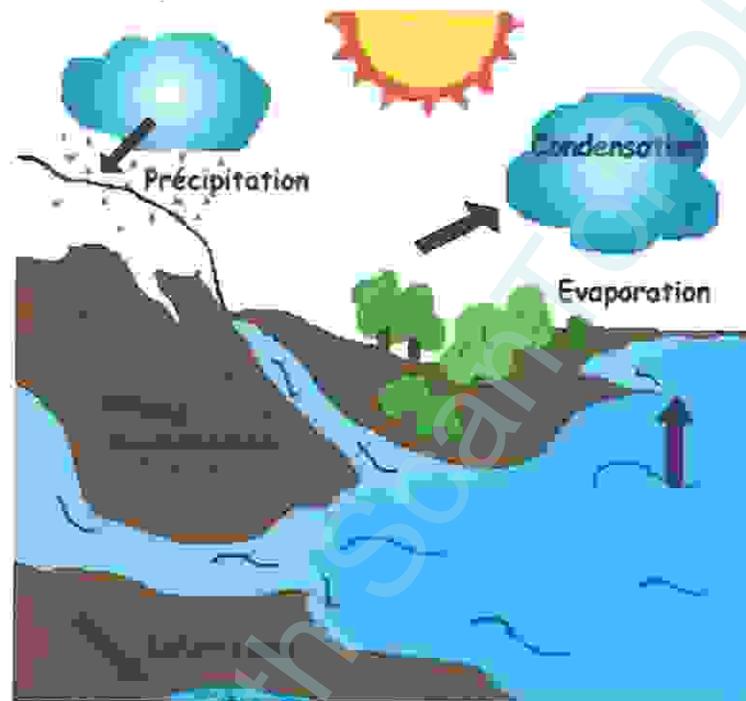


Figure 1.2 : Le cycle de l'eau [17]

#### 4. La répartition de l'eau sur la planète

Les Océans couvrent 71 % de la surface de la terre et contiennent 97.2 % du volume d'eau de notre planète (figure 1.3).

Le volume d'eau présent sur notre planète est composé de: 97.2 % d'eau salée et 2.8 % d'eau douce.

Seulement la moitié de l'eau contenue dans les nappes est utilisable par l'homme. Soit 0.3 % de la quantité d'eau présente sur terre ou encore 4 000 000 KM<sup>3</sup>. [17]

### 4.3. L'eau sous forme de glace (iceberg)

Les glaciers contiennent 80% des réserves d'eau douce du globe, ce qui correspond à la quantité d'eau déversée par tous les cours d'eau de la planète durant 700 ans (figure1.6)

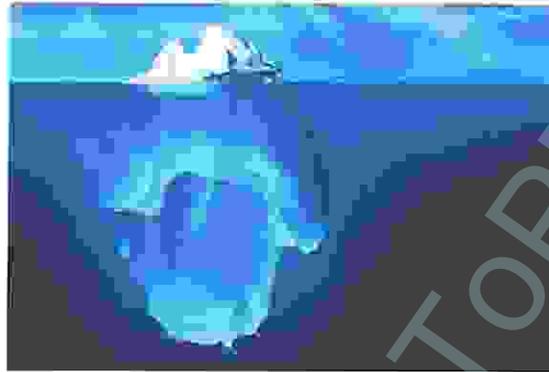


Figure1.6 : L'eau sous forme de glace [17]

L'eau est essentielle à toute forme de vie, elle a longtemps été considérée comme un bien disponible et inépuisable. Pourtant, si le volume d'eau douce disponible sur la planète reste constant, l'accroissement de la consommation dans de nombreux pays du monde et la répartition inégale à la surface de la terre représentent un défi sans précédent à l'humanité : celui du partage et de l'approvisionnement en eau des générations futures.

L'eau douce ne représente que 2% de l'eau totale présente sur la terre. L'essentiel de cette eau se situe dans les nappes souterraines. Elle est bien mal répartie, puisqu'elle est abondante à certains endroits et rare dans d'autres.

Les océans représentent les 4/5 de la surface du globe, mais 97% sont des eaux salées et sur les 3% d'eau douce, 2,1% sont gelées, autour des pôles ou dans les glaciers de montagne. Il ne reste donc que 0,9% de la réserve d'eau pour couvrir les besoins humains, et les cinq plus grands fleuves ne représentent que 27% des eaux de surface. Une quantité d'eau qui n'a pas augmenté depuis son apparition sur terre, il y a environ 3,4 milliards d'années.

Les régions arides recouvrent 31 % des terres émergées qui sont elles-mêmes touchées à 40% par la désertification : renforcé par la lente remontée du niveau des océans (figure1.7). [17]

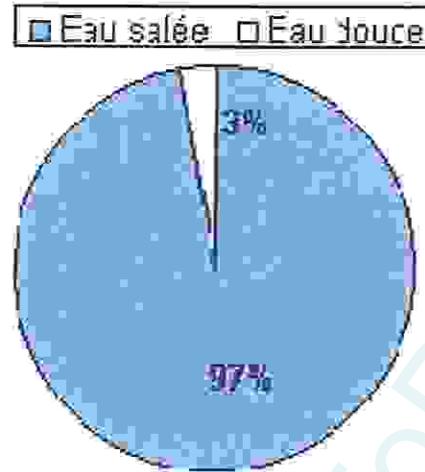


Figure1.7 : Le pourcentage d'eau salée et eau douce [17]

## 5. Les différents types de l'eau

### 5.1. Les eaux souterraines

C'est la principale ressource en eau potable. Circulant dans les interstices du sous-sol, elles jaillissent parfois naturellement à la surface, formant les sources. Dans d'autres cas, on les extrait du sous-sol par pompage pour les exploiter.

Les eaux souterraines sont l'un des éléments du cycle de l'eau. Elles se forment par infiltration des précipitations ou des eaux superficielles, comme les ruisseaux et rivières. Elles sont naturellement protégées par les couches qui les recouvrent. Le sol joue ainsi un rôle particulièrement important pour assurer leur qualité. Une épaisse couche de sol en bonne santé et biologiquement actif est à même de filtrer les particules et les agents pathogènes présents dans l'eau, ainsi que de retenir, voire de décomposer, les polluants qui y sont dissous.

Les eaux souterraines peuvent alimenter les eaux superficielles ou jaillir du sol sous forme de source. L'homme les exploite parfois au moyen de stations de pompage, notamment pour s'approvisionner en eau potable. [18]

#### 5.1.1. Les eaux de sources

Une Eau de Source, est une eau d'origine souterraine, protégée contre les risques de pollution, microbiologiquement saine. Elle doit respecter dans son état naturel les caractéristiques de qualité microbiologique des eaux minérales naturelles ainsi que les caractéristiques de qualité physico-chimique des eaux destinées à la consommation humaine.

L'eau de Source, exploitée par une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, est obligatoirement embouteillée à la source. Aucun traitement de désinfection microbiologique n'est permis et elle ne contient bien entendu aucun désinfectant rémanent. (figure 1.8) [19]

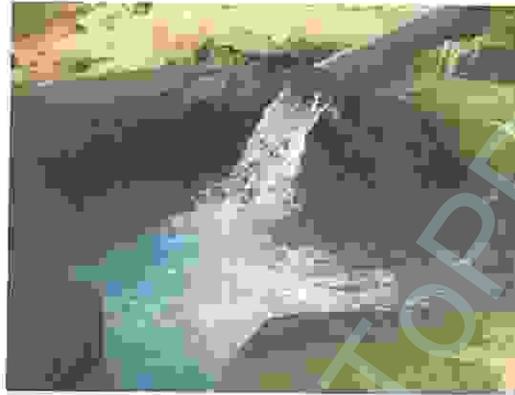


Figure 1.8 : Eaux de sources [19]

### 5.1.2. Les eaux de puits

Un puits est une fosse creusée ou forée assez profondément par l'homme pour intercepter la table de l'eau. Si le puits est creusé sous la table de l'eau, l'eau remplira l'espace ouvert au niveau de la table de l'eau, et pourra être récupérée par des seaux ou par pompage. Un puits artésien est un puits profondément foré de sorte que l'eau soit entraînée vers le haut grâce à la Pression.

La condition géologique nécessaire pour avoir un puits artésien est qu'une couche aquifère inclinée soit serrée entre des couches de roches imperméables. L'eau entre dans la couche aquifère à une altitude élevée et est filtrée par le bas à travers les pores. L'eau tenue dans ces espaces est sous pression en raison du poids de l'eau dans la partie de la couche aquifère au-dessus d'elle. Si un puits est foré de la surface de terre par le plancher imperméable sus-jacent à la couche aquifère, cette pression fera monter l'eau dans le puits. Dans les secteurs où la pente de la couche aquifère est assez grande, la pression la conduira au dessus du niveau du sol sous forme d'une spectaculaire fontaine. L'eau d'un puits artésien ou d'une source est habituellement froide et exempte de contaminants organiques, la rendant ainsi potable (figure 1.9). [20]

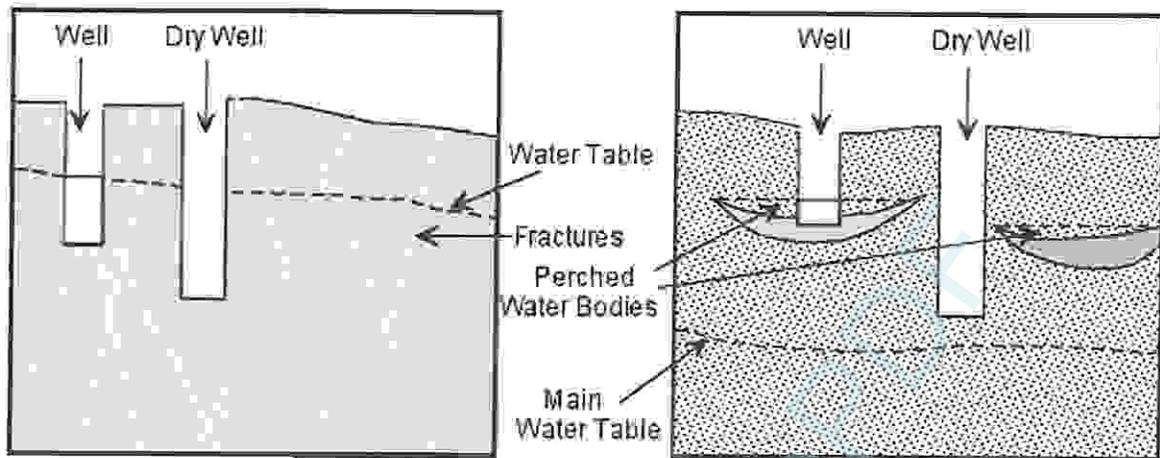


Figure 1.9 : Un puits [20]

### 5.1.3. Les eaux de forage

Le forage est un ensemble d'opérations qui permet de creuser un trou de diamètre centi à décimétrique, généralement vertical et utilisé à des fins scientifiques ou économiques. Le forage d'eau est un ouvrage réalisé pour des professionnels et des particuliers pour des raisons économiques. Il permet d'exploiter l'eau du sous-sol pour sa qualité (eau de source) et sa quantité (débit allant de 0.5 à 300 m<sup>3</sup>/heure).

**Les fonctions de cet ouvrage peuvent être diverses :**

- Sondage de terrain, prospection
- Captage d'eau pour l'irrigation ou la consommation domestique
- Evacuation d'eaux résurgentes via des massifs drainants
- Rejet des eaux de pluies
- Captation de chaleur via la géothermie sur nappe phréatique
- Captation de chaleur via la géothermie par sonde [21]

### 5.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface ont deux origines : les eaux de pluies et les eaux souterraines. L'eau de pluie qui ne pénètre pas dans le sol reste à sa surface. Elle peut s'écouler et former les cours d'eau, ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement (lacs, mares, étangs,...). Les eaux souterraines permettent la formation de sources, à l'origine de cours d'eau ou d'étendue aquatique.

On distingue deux types des eaux de surface

#### 5.2.1. Eaux courantes

Les eaux courantes sont les eaux qui subissent constamment un écoulement, de l'amont vers l'aval. Le cours d'eau dévale des pentes jusqu'à terminer sa course dans les mers et océans.

### 5.2.2. Eaux stagnantes

Les eaux stagnantes apparaissent quand il y a une entrave à l'écoulement avec un obstacle naturel ou artificiel. Plusieurs types d'eaux stagnantes se distinguent :

Les lacs sont des étendues d'eau naturelle.

Les plans d'eau artificiels ont une profondeur beaucoup plus faible que pour un lac et peut s'élever au maximum à plusieurs dizaines de mètres. Ces derniers comprennent deux milieux : Les étangs qui sont des étendues plus petites que les lacs ; Ils sont souvent créés dans le but de faire de l'élevage de poisson (pisciculture). Les retenues d'eau, consistent à collecter de l'eau en montagne ou dans les vallées. Ces retenues ont plusieurs vocations : Elles peuvent servir à la production d'électricité (barrage hydroélectrique), à l'augmentation du débit des cours d'eau lorsqu'il devient faible (soutien d'étiage), à la rétention des crues ou des eaux pluviales, à l'irrigation, à l'approvisionnement en eau potable ou encore aux loisirs.

Les marais correspondent à un affleurement d'une nappe d'eau peu profonde sur un terrain fortement végétalisé. Une forte quantité de sédiments, c'est-à-dire de dépôts laissés par l'eau, s'est accumulée au fond.

### 5.3. La différence entre les eaux souterraines et les eaux de surface

**Tableau 1.1** : comparaison entre les caractéristiques de l'eau de surface et celles de l'eau souterraine en se basant sur les paramètres principaux d'analyse. [20]

Caractéristique	Eau de surface	Eau souterraine
Température	variable suivant les saisons	relativement constante
Turbidité, Solide en Suspension (SS)	niveaux variables, parfois élevés	faibles ou nuls (excepté dans les sols calcaires).
Couleur	Due principalement à la SS (argiles, algues) excepté dans les eaux très douces ou acides (acide humique).	Due surtout aux solides dissouts.
Teneur en minéraux	Varie avec les sols, les précipitations, les effluents, etc.	Constante, généralement plus élevée que pour l'eau de surface.
Fer divalent et Mn en solution	Souvent nul, excepté dans le fond des lacs et des étangs en cours d'eutrophisation	Souvent présent
CO <sub>2</sub> Agressif	Souvent nul	Souvent présent
O <sub>2</sub> Dissout	Souvent près du niveau de saturation, absent dans l'eau très polluée	Souvent nul
H <sub>2</sub> S	Souvent nul	Souvent présent
NH <sub>4</sub>	Trouvé seulement dans les eaux polluées	Souvent détecté
Nitrates	niveau généralement faible	niveau parfois élevé
Silice	proportions modérés	niveau souvent élevé
Micropolluants minéraux et organiques	Peut être présent mais disparaît rapidement une fois que la source est détecté	Habituellement aucun mais une pollution accidentelle peut rester à très long terme
Organismes vivants	Bactéries, virus, plancton	Bactéries de fer fréquemment trouvées
Solvant Chlorés	Rarement	Souvent présent
Nature eutrophique	Souvent. Augmenté avec la température	Nul

## 6. Usages des eaux

### 6.1. Usages domestiques

L'essentiel de l'eau que nous consommons à la maison (93 %) est utilisée pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et diverses tâches ménagères. La boisson et la préparation des aliments ne représentent que 7 % de notre consommation totale.

En plus des consommations « à la maison », il faut ajouter les consommations collectives auxquelles chacun participe : écoles, hôpitaux, bureaux, lavage des rues ... [22]

### 6.2. Usages agricoles

Aujourd'hui, l'agriculture absorbe plus de 70 % de l'eau consommée. Cette consommation conséquente dans ce secteur peut s'expliquer par différentes raisons :

- l'élevage dont le régime alimentaire implique la mobilisation de grandes quantités d'énergie et d'eau par ration produite.
- l'irrigation massive dans le but d'assurer des rendements maximums.

L'accroissement de la population qui nécessite la production de plus grandes quantités de denrées alimentaires.

- des régimes alimentaires plus riches dus à une orientation croissante du mode de vie « à l'occidental ».

De ce fait, au début des années 1960, les agriculteurs, pour accroître de manière conséquente leurs rendements, ont eu recours à l'agriculture intensive (utilisation d'engrais chimiques, de pesticides et de produits phytosanitaires).

Cette agriculture intensive a eu pour conséquence de polluer les eaux des sols avec de fortes concentrations en azote, phosphore et molécules issues des produits phytosanitaires.

Aujourd'hui, les traitements pour éliminer ces polluants sont complexes, onéreux et souvent difficiles à appliquer. Par conséquent, on s'oriente donc vers d'autres pratiques agricoles plus respectueuses de l'homme et de l'environnement comme l'agriculture « intégrée » ou « biologique ». [23]

### 6.3. Usages industriels

Les usines sont souvent implantées au bord de l'eau (rivière, canal ou mer) pour des raisons diverses :

- les commodités de transport des matières premières et des produits finis,
- la possibilité de faire accomplir à l'eau des tâches industrielles multiples et variées,
- les commodités de rejets de sous produits ou de déchets générés au cours des opérations de fabrication.

En ce qui concerne les tâches industrielles, l'eau réunit un ensemble de propriétés physiques et chimiques : elle peut devenir solvant, fluide thermique ou simplement liquide facile à manipuler.

Ces propriétés expliquent pourquoi l'eau est impliquée dans la plupart des fabrications industrielles ; elle permet de réaliser de nombreuses fonctions ou opérations comme :

- le lavage d'objets, de récipients, de canalisations, de sols d'ateliers,
- le chauffage ou le refroidissement d'objets, de milieux liquides ou gazeux,
- la réalisation de réactions chimiques car une forte proportion des chimies minérale et organique se déroule en milieu aqueux.
- le transport d'objets par canalisations ouvertes ou fermées...

Certes, ces activités industrielles ont besoin d'eau pour effectuer toutes ces opérations mais cette utilisation massive d'eau dans divers domaines conduit également à polluer les cours d'eau.

En effet, le mode de gestion industrielle de l'eau qui a consisté à considérer que les cours d'eau pouvaient supporter tous les rejets de pollution de manière illimitée a conduit progressivement l'eau à des états de dégradations.

Cependant, on peut également remarquer que depuis quelques dizaines d'années les industriels en coopération avec les services de l'Etat font tout pour diminuer les diverses pollutions afin de rétablir une certaine qualité de l'eau. [24]

## 7. La pollution de l'eau

On appelle pollution de l'eau toute modification de la qualité chimique, physique ou biologique qui a un effet nocif sur les êtres vivants qui la consomment. Quand ces êtres humains consomment de l'eau polluée, il y a en général des conséquences sérieuses pour leur santé. La pollution de l'eau peut aussi rendre l'eau inutilisable pour l'usage désiré.

En général elle est due aux activités humaines. Il y a deux sortes de sources de pollution, les sources localisées et les non-localisées. En ce qui concerne les premières, les polluants sont déversés dans un lieu précis des eaux de surface grâce aux canalisations ou aux égouts. En ce qui concerne les sources non localisées on ne peut pas remonter jusqu'à un lieu précis de déversement des polluants.

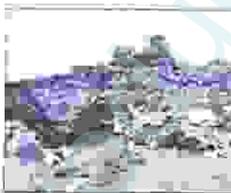
Les usines, les installations de traitement d'eaux d'égout, les mines souterraines, puits de pétrole, les pétroliers et l'agriculture ; sont des exemples de sources localisées.

Pour celles non localisées on a les dépôts d'acide de l'air, les polluants diffusés par les fleuves et ceux provenant des eaux souterraines.

Il est donc difficile de contrôler la pollution non localisée car on ne peut en retrouver les auteurs.

La pollution de l'eau est détectée en laboratoire, où on recherche la présence de différents polluants dans de petits échantillons d'eau. Des organismes vivants, tels que les poissons peuvent également être utilisés pour détecter la pollution de l'eau. Des changements dans leur comportement ou dans leur croissance nous informent que l'eau dans laquelle ils vivent est polluée. Des propriétés spécifiques de ces organismes peuvent même nous fournir des informations sur le type de pollution de leur environnement. Les laboratoires utilisent également des modèles informatiques pour déterminer quels dangers il peut y avoir dans certaines eaux. Ils importent les données qu'ils possèdent sur l'eau dans l'ordinateur, et ce dernier détermine alors s'il y a des impuretés dans l'eau. [25]

**Tableau 1.2 :** Le tableau suivant montre une liste de sources potentielles de contamination des eaux souterraines : [26]

Origine	Sources potentielles de contamination des eaux souterraines			
	Municipal	Industriel	Agricole	Individuel
Sur ou près de la surface	<p>pollution de l'air</p> <p>déchets municipaux</p> <p>sel pour le dégivrage des routes</p> 	<p>pollution de l'air</p> <p>produits chimiques: stockage et flaques</p> <p>carburants: stockage et flaques</p> 	<p>pollution de l'air</p> <p>flaques chimiques</p> <p>engrais</p> <p>pesticides</p> 	<p>pollution de l'air</p> <p>engrais</p> <p>produits d'entretien</p> <p>détergents</p> <p>huile de moteur</p> <p>peinture</p> <p>pesticides</p> 
Sous la surface	<p>décharge</p> <p>égouts</p> 	<p>canalisations</p> <p>réservoirs de stockage souterrains</p> 	<p>stockage en souterrain</p> <p>réservoirs</p> <p>puits: mal construits ou abandonnés</p> 	<p>Système septique</p> <p>puits: mal construits ou abandonnés</p> 

## 7.1. Les principaux indicateurs de pollution

L'eau, qu'elle soit douce, salée, de l'eau de pluie, de l'eau souterraine ou de l'eau superficielle, peut être souillée par des matières qui peuvent la rendre nocive. Selon l'origine des déchets (industriels, agricoles, urbains...), qui est majoritairement anthropique, les pollutions peuvent donc être de nature chimique, physique ou encore biologique [27]

### 7.1.1. Indicateurs chimiques

Différents polluants: des exemples avec l'origine:

Les pesticides (produits phytosanitaires)

- Contre les insectes : insecticides
- Contre les mauvaises herbes : herbicides
- Contre les champignons : fongicides -> Agricole et Industrie

Les hydrocarbures - pétrole, gaz naturel -> Industrie

Les métaux lourds - plomb, mercure, arsenic, cyanure -> Agricole (plomb dans engrais), Naturelle (pluies acides) et Industrielle

Les détergents - phosphates -> Domestique (lessives) et Industrie

Les engrais - nitrates -> Agricole

Les solvants - Hydrocarbures aromatiques -> Industrie, Domestique et Agricole

Les colorants - chrome -> Industrie (peintures)

### 7.1.2. Indicateurs physiques

Elle provient essentiellement des centrales thermiques et nucléaires et des usines utilisant l'eau comme liquide de refroidissement. L'eau prélevée dans le milieu naturel va être rejetée par ces structures à une température plus élevée. Ceci va provoquer une élévation de la température. (Notons alors qu'une centrale de 1000 Mw utilise et rejette plusieurs dizaines de m<sup>3</sup> d'eau par seconde avec une température élevée de 7 à 8 °C).

La pollution thermique qui est liée à l'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement par les industriels, apparaît souvent mineur. Mais il s'accroît, du fait de l'augmentation des besoins de l'industrie.

Ensuite, un autre facteur de la pollution physique de l'eau serait celui lié aux risques de pollution radioactive tels que les accidents potentiels (L'accident de Tchernobyl a par exemple libéré dans l'atmosphère divers radioéléments, provoquant une augmentation très nette de la radioactivité des aérosols. Retombés au sol avec les pluies, ces contaminants ont été entraînés par ruissellement et infiltration jusque dans les nappes phréatiques).

Dernièrement, on peut aussi constater une pollution de l'eau par des matières en suspension provenant des mines ou des cimenteries qui peuvent alors modifier la turbidité de l'eau, c'est-à-dire réduire la transparence de celle-ci. [27]

### 7.1.3. Les indicateurs microbiologiques

La pollution microbiologiques est liée au surdéveloppement de micro-organismes (bactéries, virus...) ou de végétaux micro ou macroscopiques (champignons) qui provoquent un déséquilibre du milieu environnant.

La pollution microbiologique résulte des déchets organiques, en particulier les excréments qui contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau. Ces germes peuvent provoquer des maladies graves qui ont été jadis responsables d'épidémies dramatiques dans nos pays. Exemples : origine bactérienne = choléra, origine virale = poliomyélite, origine parasitaire = helminthes. Aujourd'hui, cette pollution des eaux a fortement diminué dans les pays industrialisés grâce à la mise en service de stations d'épuration qui assurent le nettoyage des eaux usées avant leur rejet dans la nature. [27]

### 7.2. Les différents types de pollution

De grandes quantités de composés organiques sont manufacturées et utilisées par les industries, l'agriculture et les municipalités. Les composés organiques se trouvent dans la nature mais peuvent venir aussi bien de source naturelle que de l'activité des hommes. Dans beaucoup d'endroits, les eaux souterraines ont été souillées par des produits chimiques pendant des décennies. Malheureusement, cette forme de pollution n'a été identifiée en tant que problème écologique sérieux qu'à partir des années 80.

Voici, une brève description de différentes sources de contamination:

#### 7.2.1. La pollution naturelle

Les eaux souterraines contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge.

Les eaux souterraines se déplaçant à travers les roches et les sols sédimentaires, peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures.

Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux souterraines dépend du type du contaminant et de ses concentrations. [28]

#### 7.2.2. La pollution agricole

Les pesticides, les engrais, les herbicides et les déchets animaliers sont des sources agricoles de contamination des eaux souterraines. Les sources agricoles de contamination sont nombreuses et variées : Débordement des engrais et des pesticides pendant la manipulation, écoulement du chargement et lavage des pulvérisateurs de pesticide ou de tout autre équipement d'application, utilisation de produit chimique...

Une région agricole qui manque de drainage est considérée par beaucoup de fermiers comme étant terre perdue du point de vue du revenu. Ainsi, ils peuvent installer des tuiles de drain ou des puits de drainage pour rendre la terre plus productive. Les puits de drainage servent alors de conduit direct aux eaux souterraines pour les déchets agricoles.

Le stockage de produits chimiques agricoles près de conduits d'eaux souterraines, telles que les puits, les trous d'évier, est susceptible de s'accumuler et de provoquer une contamination. La contamination peut également se produire quand des produits chimiques sont stockés dans des secteurs découverts, non protégés du vent et de la pluie. [28]

- **La pollution des eaux d'irrigation**

#### **Risque des bicarbonates pour l'eau d'irrigation**

Une forte teneur en carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et en bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) augmente la valeur du S.A.R (Le rapport d'adsorption du sodium) (environ 3-4 mg/l ou 180-240 mg/l).

Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ou carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ) dans des conditions de sécheresse.

#### **Risque de Salinité**

L'excès de teneur en sel est l'un des soucis principaux avec l'eau utilisée pour l'irrigation. Une concentration élevée en sel dans l'eau ou dans les sols affectera négativement le rendement des récoltes, provoquera une dégradation des sols et une pollution des eaux souterraines.

L'utilisation d'une eau salée pour l'irrigation dépendra de plusieurs facteurs:

- La tolérance en sel de la récolte
- Les caractéristiques du sol sous l'irrigation
- Les conditions climatiques.

La qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle essentiel dans les secteurs arides affectés par des taux d'évaporation élevés entraînant une accumulation importante de sel dans les sols.

#### **Les éléments toxiques dans l'eau d'irrigation**

##### **- Ions phytotoxiques**

Les ions toxiques les plus communs dans les eaux d'égouts sont :

- Bore (B)
- Chlorure (Cl)
- Sodium (Na)

Le sodium et le chlorure sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit habituellement dans des systèmes d'irrigation par arrosage dans des conditions de faible humidité et de hautes températures. La convenance de concentration de ces anions

dépend du type de récolte, de l'état de croissance, de la concentration en ions, du climat et de l'état des sols. [28]

#### -Chlore libre

Le chlore libre ( $\text{Cl}_2$ ) est fortement réactif et instable dans l'eau. Donc, un haut niveau de chlore résiduel se dissipe rapidement quand l'eau est stockée dans des réservoirs pour plusieurs heures. Une concentration de chlore libre résiduel au-dessous de  $1\text{mg/L}$  ne va probablement pas affecter le feuillage des plantes. [28]

#### 7.2.3. La pollution industrielle

Les industries de fabrication et de secteur tertiaire ont des demandes élevées en eau pour les procédés de refroidissement, de traitement ou de nettoyage. La pollution des eaux souterraines se produit quand l'eau utilisée est retournée au cycle hydrologique.

L'activité économique moderne exige le transport et le stockage de la matière employée dans la fabrication, le traitement, et la construction. De cette manière, une partie de ce matériel peut être perdue par débordement, par fuite, ou par mauvaise manipulation.

Les pratiques en matière de disposition d'eau usagée de certains types d'entreprises, telles que des stations-service d'automobile, fabricants de composant électrique ou de machine, processeurs de photo, sont particulièrement concernés parce que les déchets qu'ils génèrent sont susceptibles de contenir des produits chimiques toxiques. Les autres sources industrielles de contamination incluent: le nettoyage des réservoirs ou la pulvérisation d'équipement sur la terre, l'évacuation de déchets dans les systèmes septiques ou les puits secs, et le stockage de matériaux dangereux dans des secteurs découverts ou dans les secteurs qui n'ont pas des garnitures avec des drains ou des bassins de captation. [26]

#### 7.2.4. La pollution résidentielles

Les systèmes résidentiels d'eau usagée peuvent être une source de différents types de contaminants, y compris des bactéries, des virus, des nitrates, et des composés organiques.

Les puits utilisés pour l'évacuation des eaux domestiques usagées (les systèmes septiques, puisards, puits de drainage pour l'écoulement de précipitations exceptionnelles, puits de recharge d'eaux souterraines) sont particulièrement concernés par la qualité des eaux souterraines s'ils sont placés près des puits d'eau potable.

Le stockage incorrect ou l'évacuation de produits chimiques ménagers tels que les peintures, les détergents synthétiques, les huiles, les médicaments, les désinfectants, les produits chimiques de piscine, les pesticides, peut mener à la contamination des eaux souterraines. [26]

## 8. Les maladies à transmission hydrique MTH

Diarrhées et autres maladies d'origine hydrique tuent chaque année environ 2,2 millions d'enfants, dont 80% avant l'âge de deux ans. Ce sont ainsi 42000 enfants qui meurent chaque semaine, 6000 chaque jour, quatre chaque minute, soit un enfant toutes les quinze secondes.

Alors que l'eau est essentielle au bon fonctionnement de notre organisme, sources contaminées, manque d'hygiène et pollution peuvent la rendre dangereuse pour notre santé. En effet, chaque année, cinq millions de personnes meurent de maladie d'origine hydrique, et plus de deux milliards souffrent de troubles causés par de l'eau contaminée.

De nombreuses maladies, dont le choléra, typhoïde, la polio et la méningite peuvent se transmettre par l'eau. La diarrhée - symptôme d'infection due à l'ensemble d'organismes parasitaires, viraux ou bactériens présents dans l'eau contaminée - est la première cause de mortalité infantile par maladies d'origine hydrique. Quelques 6000 enfants en meurent chaque jour, et dans les pays en voie de développement, les zones les plus touchées se situant en Afrique sub-saharienne et en Asie du sud, elles comptabilisent plus de 20 % des décès infantiles avant l'âge de cinq ans.

A lui seul, le paludisme est à l'origine d'environ trois cents millions de cas graves et tue plus d'un million de personne chaque année. Là aussi, les enfants sont les plus affectés.

L'Afrique est, de loin, la région du monde la plus touchée, regroupant environ 90 % des décès dus au paludisme. D'autres maladies, comme celle du ver de Quincke ou de la bilharziose, sont provoquées par des organismes parasitaires qui passent une partie de leur existence dans l'eau. Si elles ne sont pas nécessairement mortelles, ces maladies engendrent de graves troubles de santé. Le ver à l'origine de la bilharziose infecte chaque année près de deux cents millions de personnes dans le monde, dont 10 % développent de grave affections : insuffisance rénale, cancer de la vessie et fibrose hépatique.

Les polluants chimiques peuvent également créer de graves risques sanitaires. Certes, les contaminations de ce type sont la plupart du temps liées aux rejets industriels et agricoles. Mais certaines substances toxiques naissent naturellement dans le sous-sol. Ainsi, on relève souvent des taux dangereux d'arsenic et de fluorure, sans rapport avec l'activité industrielle locale, dans l'eau bue par les habitants du Bangladesh, d'Inde, d'Afrique orientale et d'une partie de la Chine.

La solution à tous ces problèmes serait un meilleur accès à l'eau potable, une amélioration des conditions sanitaires et une baisse de la pollution, en particulier dans les régions en voie de développement. Or, la tâche n'est pas simple. Le rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau rappelle, par exemple, que même en atteignant l'objectif de réduire de moitié la proportion d'individus privés d'accès à un système

sanitaire sans danger, il restera toujours deux milliards de personnes dépourvues d'accès en 2015 (Linda Hogan et alI, 2009).

Produced with ScanTOPDF

CHAPITRE II :  
REPRÉSENTATION  
CLIMATIQUE ET  
GÉOLOGIQUE

Produced with Scantopdf

## Introduction Générale

L'eau est un élément matériel de base et une ressource naturelle très précieuse, dont les usages domestiques, agricoles, industriels, urbains et de loisirs sont devenus considérables.

La survie des écosystèmes planétaires, la santé et le bien-être de l'humanité reposent sur cette source vitale qui est l'eau. Le problème des ressources en eau mobilisables ne se pose pas uniquement en termes de quantité disponible, la qualité de ces eaux commence à poser de sérieux problèmes.

Tout comme l'air que nous respirons, l'eau de qualité et en quantité suffisante est un trésor collectif indispensable et irremplaçable, qui est en train de devenir un objet de conflits et de guerres, ainsi que de profit et de commerce lucratif.

L'année 2003 a été proclamée Année internationale de l'eau douce par l'UNESCO et par l'Assemblée générale de l'ONU. De plus, le Comité des droits économiques, sociaux et culturels de l'ONU vient de déclarer que l'accès à l'eau potable est un droit humain fondamental. Entre le Sommet de la Terre de 1992 à Rio et celui de Johannesburg en 2002, il y a eu une prise de conscience croissante du fait que l'eau est un enjeu vital pour l'avenir. Nous sommes maintenant devant la nécessité d'utiliser, de gérer, et de protéger l'eau de façon durable, et de garantir son équilibre entre les besoins et les utilisations car elle est à la base de toutes les formes de vie sur Terre.

En Algérie, La disponibilité annuelle de l'eau est de  $600\text{m}^3 / \text{hab} / \text{an}$ , donc il se situe dans la catégorie des pays pauvres en ressources hydriques au regard du seuil de rareté fixé par la Banque Mondiale qui est de l'ordre de  $1000\text{m}^3 / \text{hab} / \text{an}$  (Banque Mondiale, 1985). Les difficultés d'approvisionnement en eau douce, les problèmes de qualité de l'eau de boisson, la récurrence des maladies hydriques constituent déjà des menaces pour la stabilité social".

En effet l'eau potable est essentielle à la vie; pourtant elle peut aussi être source d'exposition à des pathogènes et des contaminants chimiques et physiques. Les experts en santé publique conviennent généralement que les pathogènes microbiologiques représentent le plus gros risque associé à l'eau potable. Ces pathogènes peuvent causer l'apparition de maladies responsables de graves problèmes de santé pour une forte proportion de la population touchée.

Par contraste, les problèmes de santé liés aux contaminants chimiques se manifestent en principe après une longue période d'exposition.

La qualité des eaux a connu une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés ; utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture ainsi que de l'exploitation désordonnée en eau. Ces facteurs provoquent une modification chimique de l'eau et la rendent impropre aux usages souhaités.

Pour ce faire, et dans une tentative de mieux comprendre l'impact des paramètres climatiques et lithologiques sur la qualité des eaux de forages, un suivi des caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques a été réalisé.

Pour atteindre nos objectifs nous avons procédé de la manière suivante :

Après cette introduction, le manuscrit est divisé en quatre chapitres indépendants :

- Le **premier chapitre** : représente des généralités sur le cycle de l'eau, sa répartition sur la planète et ces différents types.
- Le **deuxième chapitre** : donne un aspect général sur la géologie, la climatologie et le cadre physique de la région d'étude.
- Le **troisième chapitre** : décrit les techniques et la méthodologie suivies de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des forages.
- Le **quatrième chapitre** : consacré à l'interprétation des différents résultats obtenus au cours de notre étude pratique. Il est suivi d'une discussion et finalement une conclusion relatant la qualité de cette eau.

### 1. Description du site

La nappe alluviale de Guelma est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued Seybouse. Elle fait partie de la moyenne Seybouse. Elle couvre une superficie de l'ordre de 122Km<sup>2</sup> avec environ 25Km d'Est en Ouest entre 3 et 10Km de largeur.

La plaine est limitée :

- Au Nord par le massif de Houara et Djbel Bousbaa
- Au Sud par le massif de la Maouna et Beni Marmis
- A l'Ouest par le Djbel Arrar
- A l'Est par le massif du Nador N'bails

En effet le périmètre irrigué du secteur Guelma \_ Boumahra a fait l'objet de cette étude, où on a choisi cinq forage représentatifs à savoir : le forage BA3, BK1, la Rail, Ex Sogedia et à la fin puits Oued El Maïz ayant comme coordonnées :

**Le forage BA3** se situe au niveau de Bled El Hafais dans sa partie ouest à environ 5,50 km à l'est de la ville de Guelma aux coordonnées Lambert comme suit :

X : 926 730 m      y : 361 700 m

**Le forage BK1** se situe au centre de la commune de Belkhir qui se trouve à environ 3 km de l'est de Guelma aux coordonnées Lambert comme suit :

X : 924 270 m      y : 362 610

**Le forage la Rail** se situe au niveau de Oued El Maïz à environ 2,5 km de l'est de Guelma aux coordonnées Lambert comme suit :

X : 924 250 m      y : 362 610

**Le forage Ex Sogidia** se situe au niveau d'Oued El Maïz à environ 2,117 km à l'est de Guelma ville aux coordonnées Lambert comme suit :

X : 924 240 m      y : 362 620 m

Le forage est limité :      Au nord par la R.N.20 et la cité Frères Rahhabi.

**Le forage puits Oued El Maïz** se situe au niveau Oued El Maïz à environ 2,173 km à l'est de Guelma centre et à environ 200 m à l'ouest de Belkhir aux coordonnées Lambert comme suit :

X : 924 250 m      y : 362 620 m (figure2.1)



Figure 2.1 : carte de description du site (D.R.E.G)

## 2. Aperçu Géologique et stratigraphie

### 2.1. 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.

Ces affleurements sont formés par des schistes satinés alternants avec des petits bancs de grés.

### 2.2. 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.

### 2.3. 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 Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest à Djebel Taya.

#### 2.3.1. Le Jurassique

Il est représenté par des dolomies noires avec des schistes calcaireuses de faibles épaisseurs dans la région de Djebel Debagh.

#### 2.3.2. 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 Hamam Bradaa et Djebel Debagh.

Les calcaires massifs à microbrèches calcarinites avec des niveaux calcaires à chailles indiquent nettement le faciès néritique du Compagnien – Maastrichtien (Vila 1977).

Le Crétacé supérieur est caractérisé par des niveaux calcaires dolomitiques riches en orbitolines et des débris à Rudiste datant le Cénomaniens – Vraconien d'épaisseur limitée.

### 2.4. L'unité tellienne

Elle appartient au domaine externe de la chaîne des Maghrébides dans le Nord – Est algérien. Cette unité correspond au domaine Tellien externe qui est constitué de formations paléogènes, où l'on distingue:

- un ensemble méridional à Nummulite et au Sud à Globigérines ;
- un ensemble médian à sédimentation profonde ;
- un ensemble septentrional à matériels Eocène.

La série débute par des marnes noires paléocènes et atteint le Lutécien inférieur avec une faune riche en Nummulite.

### 2.5. L'unité ultra – tellienne

Le faciès dominant est celui des marnes et marnocalcaires avec des barres de micrites à microfaunes variées (Delga et al, 1968).

La stratigraphie est la suivante, dont nous distinguons de bas en haut:

- marnes à ammonites (barrémien – albien)
- marnes à micrites-vertes (Campanien)
- marnes grises (Maestrichtien)

A Djeballa Khemissi, cette unité est caractérisée par des formations crétacées de faibles épaisseurs.

### 2.6. Le Numidien

Il forme les principaux reliefs de la région de Guelma (Mahouma, Houara).

Il est caractérisé par un flysch gréseux constitué par les trois termes suivants:

- épaisseur d'argile verte et rouge d'âge Oligocène
- alternance d'argile et de gros blocs de grès souvent hétérométriques d'âge aquitainien
- argile, silicites et marnes correspondants au Burdigalien inférieur.

A Hammam Debagh, le sommet est représenté par des grès grossiers à dragées de quartz (Lahondère, 1981).

### 2.7. Le Post – nappe

#### 2.7.1. 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.
- Le second cycle formé par une succession d'argiles de conglomérats rouges, argiles grises à gypses et à soufre et des calcaires lacustres.

### 2.8. 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.

Le Quaternaire occupe le centre du bassin et correspond au faciès de terrasses où l'on distingue:

#### 2.8.1. Les Alluvions anciennes

Ce sont des éboulis mélangés parfois à des argiles numidiennes. Elles sont localisées tout le long du versant Ouest du bassin.



Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la région d'étude, a permis de distinguer un ensemble du remplissage mio plio-quaternaire, capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions, constituées essentiellement par des sables, cailloutis, galets, limons et conglomérats ;
- le réservoir de la nappe des hautes terrasses, représenté par des galets, conglomérats, limons et sable.

**Tableau2.1** : Description géologique et hydrogéologique des formations de la région d'étude.

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Intérêt hydrogéologique	
				perméabilité	type de nappe
Quaternaire	récent	-Alluvions actuelles : galets, calcaires, limons, travertins -Alluvions anciennes : *Basse terrasse : sables, cailloutis, limons. *Moyenne terrasse : sables, cailloutis, galets, limons, conglomérats. *Haute terrasse : galets, conglomérats, limons, sables	15  30 - 50  100	Perméables	*nappe de la basse terrasse *nappe de la moyenne terrasse  *nappe de la haute terrasse
	ancien	tufs calcaires	-	perméable	
Tertiaire	Mio-Pliocène	argile à gypse	-	impermeable	substratum
	Pliocène	Travertins	-	perméable	nappe des travertins

### 3. Climatologie

L'étude des caractéristiques climatiques joue un rôle important dans la connaissance des mécanismes de la pollution ainsi que les variations des réserves d'eau souterraines. Pour cela il est impératif de déterminer les termes du bilan hydrologique, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et surtout l'infiltration, car ce dernier est le facteur de l'alimentation des nappes aquifères, aussi vecteur de pollution étant donné que les eaux infiltrées entraînent des polluants de différentes natures vers les eaux souterraines.

Pour la région d'étude, nous disposons des données climatiques de la station de Guelma (ONM) située à Belkhier, distante de 5km du chef-lieu de la wilaya.

Le tableau qui suit (Tableau2.2), donne les caractéristiques géographiques et topographiques de cette station.

**Tableau2.2:** Caractéristiques géographiques et topographies de la station de Guelma (1995-2010)

	Altitude	Longitude	Latitude	Période d'observation
<i>Station de Guelma</i>	227	7° 28 E	36° 28 N	1995/96 à 2009/10

#### 3.1. Analyse des données climatiques

##### 3.1.1. Les précipitations

Les précipitations constituent le premier facteur important dans le cycle de l'eau, leur distribution dans le temps et dans l'espace conditionne la forme des écoulements et les apports aux nappes. La carte suivante de répartitions précipitations établie par l'ANRH (figure2.3) montre que dans la région de Guelma ces dernières sont de l'ordre de 600 mm/an, ce qui constitue un apport considérable.

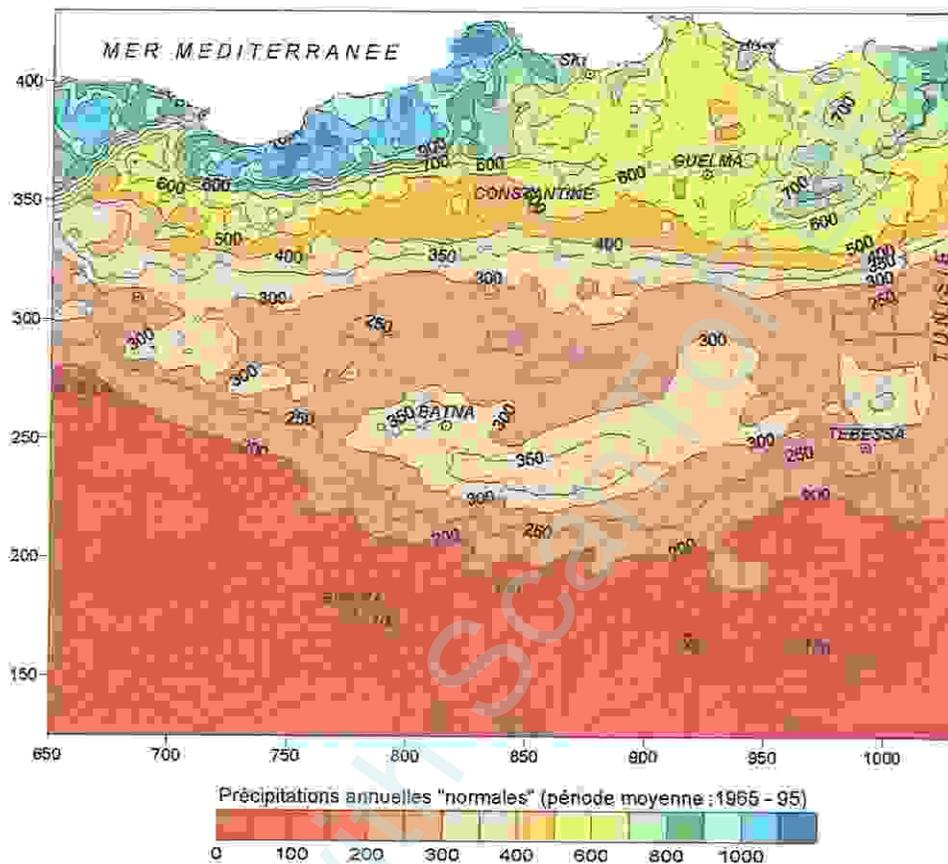


Figure 2.3 : Précipitations annuelles médianes « normales » (1965-95) (d'après étude ANRH GTZ, 2003) In Azzedine MEBARKI (\*) et Jean-Pierre LABORDE (\*\*)

### Répartition inter annuelle des précipitations

La variabilité interannuelle des précipitations est exprimée par le coefficient pluviométrique (CP) qui permet de déterminer les années excédentaires des années déficitaires. (Tableau 2.3)

Le coefficient pluviométrique est calculé par la formule suivante :

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

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

$\bar{P}$  : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude.

Nous avons deux cas : Si CP > 1 ⇒ année excédentaire

CP < 1 ⇒ année déficitaire.

P.moyenne = 649.7 mm.

**Tableau 2.3 :** Précipitations annuelles à la station de Guelma de 1995-96 à 2009-2010

Année	P (mm)	CP	Remarque
95-96	386,3	0,61	Année Déficitaire
96-97	579,2	0,91	Année Déficitaire
97-98	734,8	1,15	Année excédentaire
98-99	620,4	0,97	Année Déficitaire
99-2000	767,1	1,20	Année excédentaire
2000-2001	596,1	0,93	Année Déficitaire
2001-2002	405,3	0,64	Année Déficitaire
2002-2003	483,1	0,76	Année Déficitaire
2003-2004	504,2	0,79	Année Déficitaire
2004-2005	938,5	1,47	Année excédentaire
2005-2006	804,8	1,26	Année excédentaire
2006-2007	541	0,85	Année Déficitaire
2007-2008	478,3	0,75	Année Déficitaire
2008-2009	730,3	1,14	Année excédentaire
2009-2010	525,6	0,82	Année Déficitaire

L'analyse de la courbe des variations inter annuelles des précipitations sur une période de 15 ans (95/96-2009/10 (figure 2.4), montre que l'année 2004/2005 est l'année la plus arrosée avec 938,5 mm/an par contre l'année 95/96 est la plus sèche avec 386,3 mm/an. Notons que les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 649,7 mm/an.

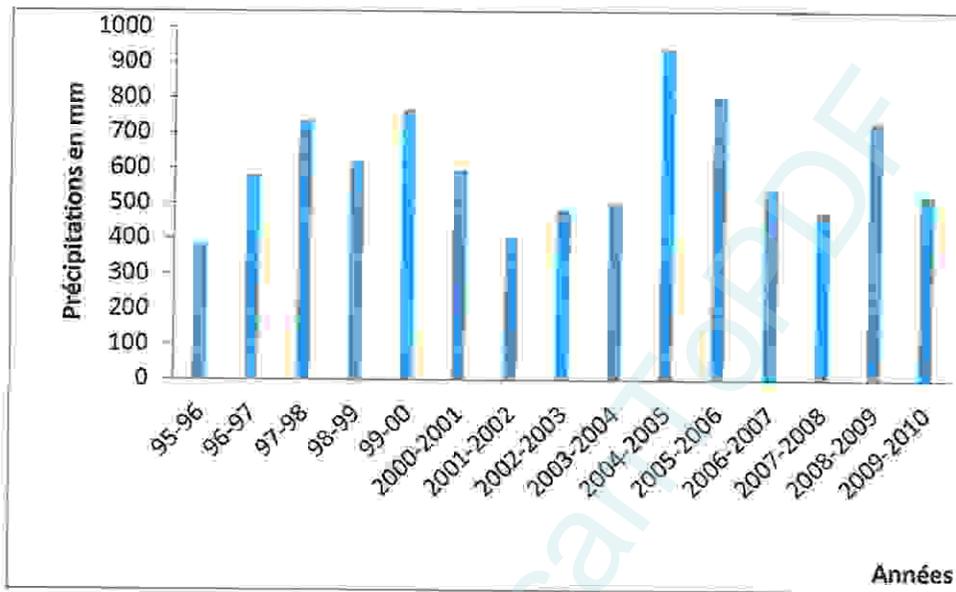


Figure 2.4 : Variabilité annuelle des précipitations à la station de Guelma (95-2010).

#### Répartition des précipitations mensuelles

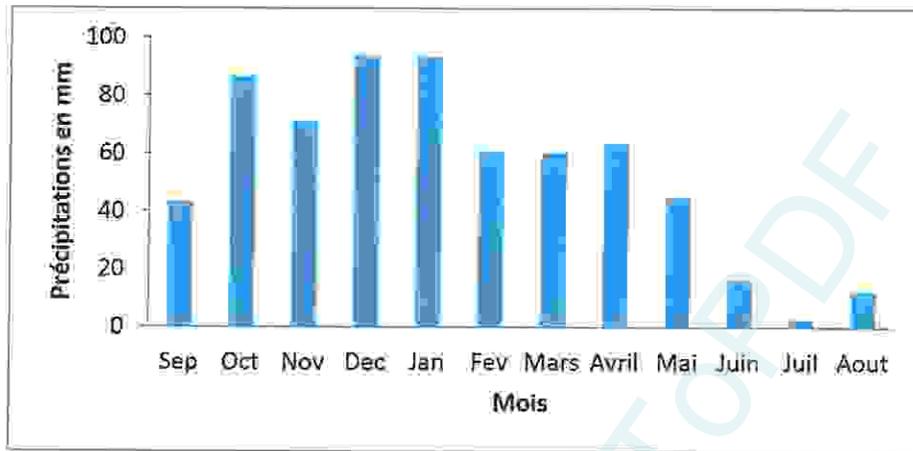
La répartition mensuelle des précipitations, au cours de l'année ainsi que leur variabilité conditionne le régime des cours d'eau et les fluctuations des niveaux piezométriques des nappes phréatiques.

Le tableau 2.4 qui suit montre cette variabilité pendant une période de 15 ans.

Tableau 2.4 : Précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (1995/96 – 2009/10)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	43,38	86,61	71,24	81,8	93,62	60,77	60,12	63,43	45,04	16,45	2,96	12,46

La figure suivante (figure 2.5) des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 15 ans (95/96-09/10), montre que le mois de Janvier (93.62mm) est le plus pluvieux, par contre le mois de juillet avec 2.96mm est le plus sec.



**Figure 2.5 :** Variabilité des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma (95-2010)

### 3.1.2. Les températures

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influe sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique. Pour réaliser notre travail, nous nous sommes basé sur les données recueillies à la station de Guelma (Tableau 2.5).

**Tableau 2.5:** Températures moyennes annuelles à la station de Guelma (95-2010).

Année	T (°C)	Année	T (°C)
95-96	18,30	2003-2004	18,14
96-97	17,40	2004-2005	18,44
97-98	17,31	2005-2006	17,52
98-99	18,22	2006-2007	17,40
99-00	17,26	2007-2008	18,39
2000-2001	18,42	2008-2009	17,39
2001-2002	17,96	2009-2010	17,72
2002-2003	18,12		

L'analyse de l'histogramme des variations interannuelles des températures sur une période de 15 ans (figure2.6) montre une fluctuation thermique de faible amplitude donnant une certaine constance de l'allure générale variant entre 17 et 18°C. La moyenne annuelle est de 17,51°C.

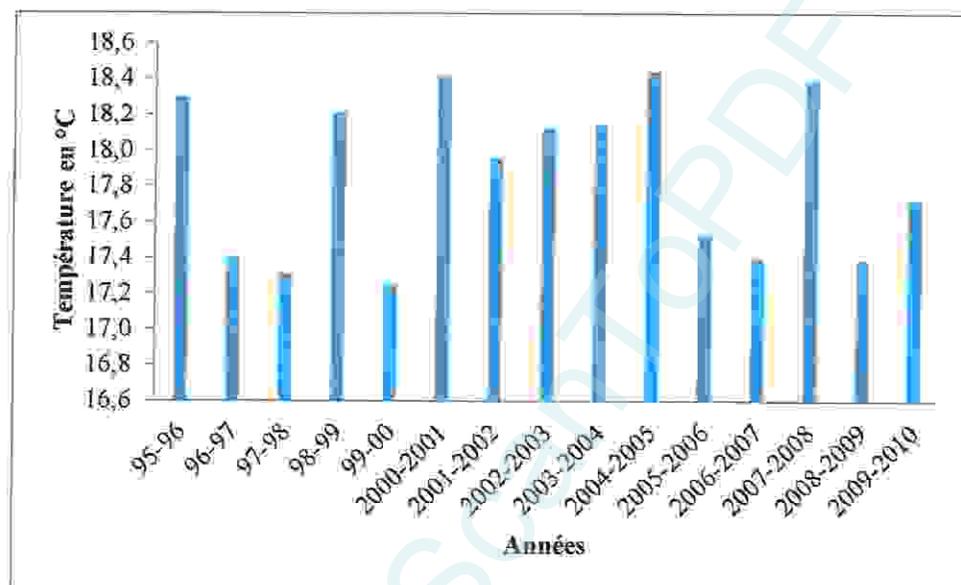


Figure2.6: Variation des températures moyennes annuelles à la station de Guelma (95-2010).

Tableau2.6 : Les températures moyennes mensuelles à la station de Guelma.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Temp.Moy. (°C)	23,29	18,41	14,33	10,81	9,74	10,18	12,4	14,84	19,65	24,25	25,3	26,88

L'histogramme représentant les variations des températures moyennes mensuelles sur une période de 15 années (figure2.7) montre que les valeurs les plus élevées sont observées essentiellement pendant l'été (Juin-Septembre), avec des températures variant de 23,29 à 26,88°C. Par contre les températures les plus basses, de 9,74 à 12,4°C, sont observées pendant la période d'hiver (décembre à mars) avec un minimum pendant le mois de janvier (9,74°C). Les autres mois présentent des températures intermédiaires.

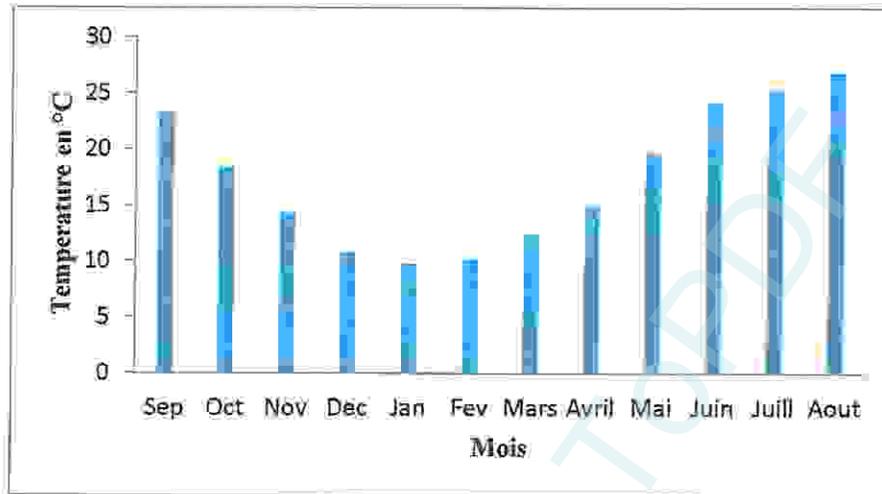


Figure 2.7: Températures moyennes mensuelles à la station de Guelma (95-2010).

**Les extrêmes mensuels moyens :**

Les températures extrêmes ainsi que la moyenne des maxima et des minima sont représentées dans le tableau 2.7.

Tableau 2.7 : Les extrêmes mensuels moyens à la station de Guelma.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T°max												
M	29,39	27,31	19,42	16,62	15,5	15,65	21,28	22,07	27,18	32,72	38,5	36,34
T°min												
(m)	17,3	13,8	8,47	6,26	4,98	4,61	6,62	8,13	12,17	15,97	18,5	19,88
T.moy												
M+m/2	23,35	20,56	13,95	11,44	10,24	10,13	14,95	15,08	19,68	24,35	28,50	28,11

La plus forte valeur est observée pendant le mois d'Août (36,34°), le minimum des minima est de 4°C correspondant au deux mois de Janvier et de Février.

### 3.1.3. Type de climat

Sachant que les éléments climatiques les plus importants pour caractériser un climat sont les précipitations, les températures et l'évaporation ; les méthodes combinant ces éléments sont plus intéressantes que celles qui incluent un seul élément. Toutes ces méthodes ont qualifié le climat de la plaine de Guelma comme étant sub-humide, ce qui est en conformité avec la carte des étages bioclimatiques, établie par M. Côte en 1998 (figure2.8)

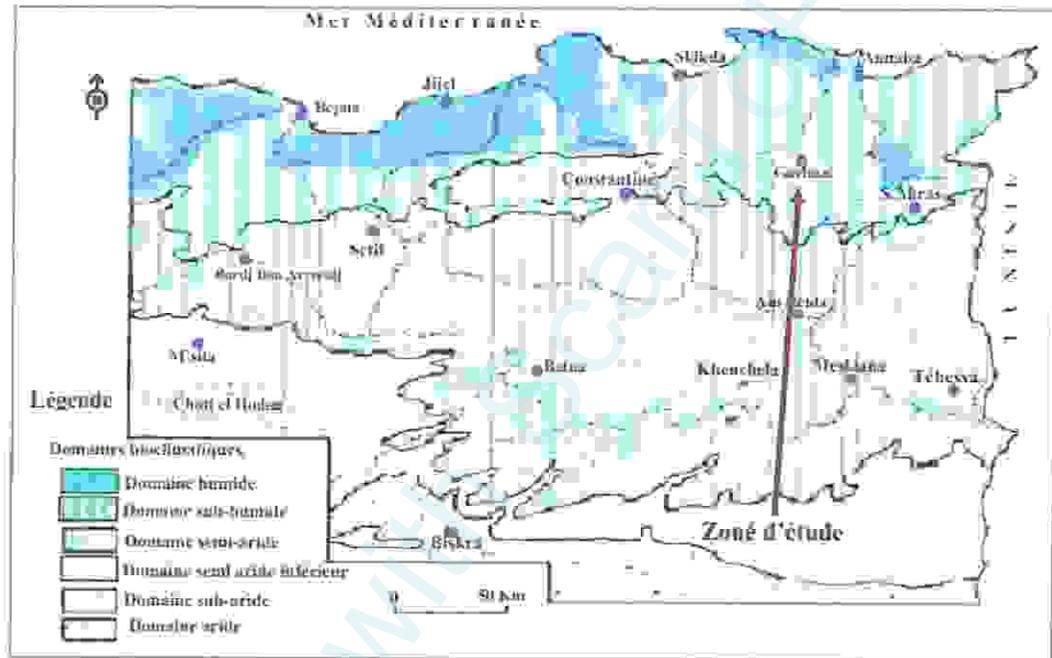


Figure2.8: Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Côte M., 1998).

#### Diagramme pluviothermique :

Les valeurs des précipitations et des températures enregistrées au niveau de la station de Guelma sur une période de 15 années, permettent l'établissement du diagramme pluviothermique (figure2.9), ce dernier montre la succession de deux saisons l'une humides et l'autre sèche. La première s'étale du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril compris, une moyenne de huit mois. La seconde va du mois de mai jusqu'au mois Septembre.

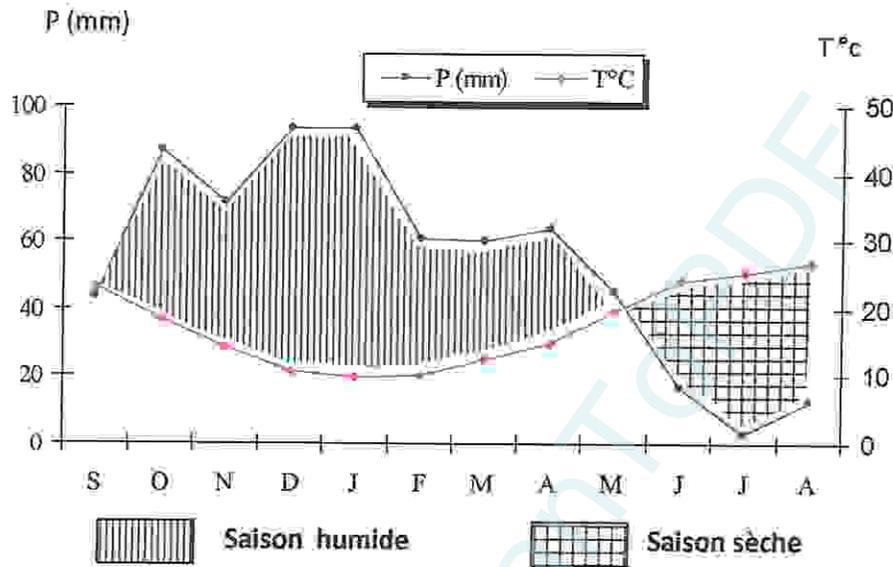


Figure 2.9 : Diagramme pluviothermique de la station de Guelma (1995-2010).

### 3.1.4. L'humidité relative de l'air

Les moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air ne descendent guère au-dessous de 50%. L'humidité relative est en générale plus élevée pendant les mois les plus chauds ; en Juillet et Août (Tableau 2.8).

Tableau 2.8 : Variations moyennes mensuelles de l'humidité relative de l'air à la station de Guelma (95-2010).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Humidité relative (%)	66,17	69,74	72,7	76,02	76,52	75,71	73,62	72,08	68,14	60,67	55,17	56,43

### 3.1.5 Les vents

Dans la région de Guelma, les données traitées sur des moyennes de 25 ans, sont tirées de l'étude de SELTZER qui montre que les vents dominants sont de direction :

- Nord – Ouest avec une moyenne de 23,77 %, ils atteignent leur maximum au mois de juillet avec 10,36%.

- A l'inverse, les vents Nord -Est sont plus fréquents au mois de Juillet avec 32% au maximum, ils représentent 18,7 % des relevés annuels.

### 3.2. Le bilan hydrogéologique

#### 3.2.1 Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite :

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humide et semi-aride, ce qui convient à la région de Guelma, vu les caractéristiques de son climat. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU) (Tableau2.9).

**Tableau2.9** : Le bilan hydrologique selon la méthode de C.W Thornthwaite à la station de Guelma (1995-2010).

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	23,29	10,3	1,03	108,2	43,38	-64,9	-0,6	0,0	0,0	43,4	64,9	0,0
O	18,41	7,2	0,97	66,1	86,61	20,5	0,3	20,5	20,5	66,1	0,0	0,0
N	14,33	4,9	0,86	37,0	71,24	34,2	0,9	34,2	54,7	37,0	0,0	0,0
D	10,81	3,2	0,81	20,7	93,62	72,9	3,5	45,3	100,0	20,7	0,0	27,6
J	9,74	2,7	0,87	18,4	93,62	75,2	4,1	0,0	100,0	18,4	0,0	75,2
F	10,18	2,9	0,85	19,5	60,77	41,3	2,1	0,0	100,0	19,5	0,0	41,3
M	12,4	4,0	1,03	34,0	60,12	26,2	0,8	0,0	100,0	34,0	0,0	26,2
A	14,84	5,2	1,10	50,5	63,43	13,0	0,3	0,0	100,0	50,5	0,0	13,0
M	19,65	7,9	1,21	93,0	45,04	-48,0	-0,5	-48,0	52,0	93,0	0,0	0,0
J	24,25	10,9	1,22	138,1	16,45	-121,6	-0,9	-52,0	0,0	68,5	69,6	0,0
J	25,3	11,6	1,24	151,7	2,96	-148,8	-1,0	0,0	0,0	3,0	148,8	0,0
A	26,88	12,8	1,16	158,7	12,46	-146,2	-0,9	0,0	0,0	12,5	146,2	0,0
Annuel	17,5	83,7		896,0	649,7	-246,3				466,5	429,5	183,2

- T : Température mensuelle en °C -Pr : précipitation mensuelle en (mm)
- it : Indice thermique - RFU: réserve facilement utilisable en (mm)
- CL : Coefficient de latitude - ETR : évapotranspiration réelle en (mm)
- ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm) - Def : déficit agricole en (mm)
- BH: Bilan Hydrique - EXC : excédent en (mm)

Formules de vérification:

$$P = \sum ETR + \sum EX \quad A.N: P = 466.5 + 183.2 = 649.7$$

$$ETP = \sum ETR + \sum DA \quad A.N: ETP = 466.5 + 429.5 = 896$$

- L'analyse des résultats du bilan hydrique, nous permet de faire les constatations suivantes :
- L'ETR représente 72% des précipitations ; le déficit agricole commence à partir du mois de Juin jusqu'au mois de Septembre avec un maximum au mois de juillet (148,8mm).
  - La reconstitution de la réserve utile commence en Octobre et s'épuise au mois de Juin.
  - L'écoulement se produit après que la RFU soit satisfaite (RFU= 100mm), il dure cinq mois ; de Décembre jusqu'à fin Avril avec un maximum au mois de Janvier (75.2 mm).

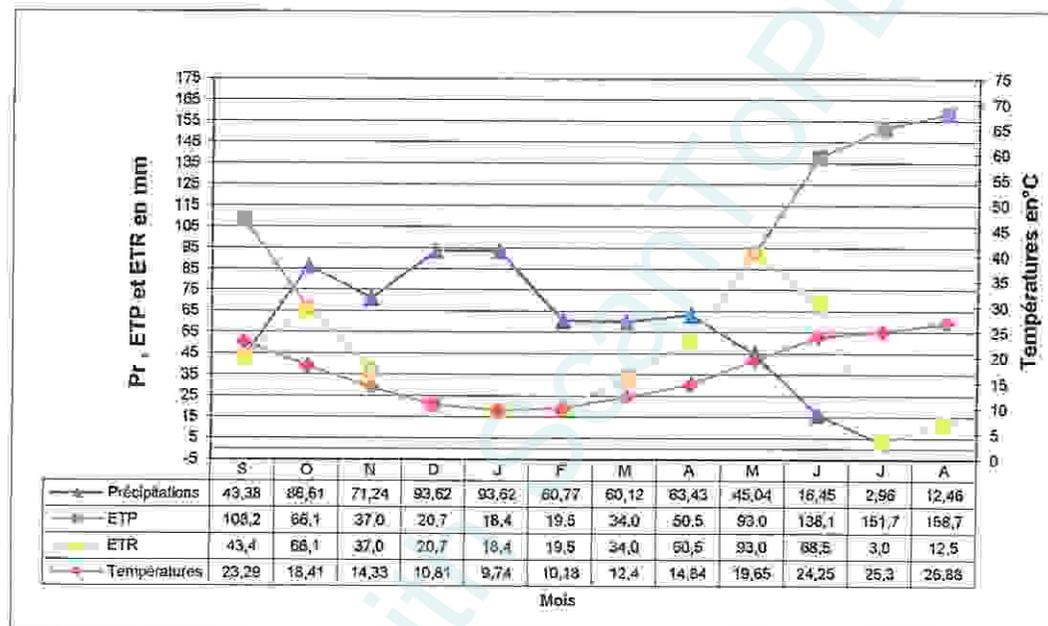


Figure 2.10 : Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques (1995-2010).

L'observation du graphe du bilan hydrologique (figure 2.10) nous amène à dire que l'ETP est importante du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, avec des valeurs atteignant les 158.7 mm au mois d'août, rendant ainsi nécessaire l'irrigation. A partir du mois de novembre, on assiste à une reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de Décembre et Avril. Au-delà de cette période, on assiste à une baisse de la RFU, traduisant un épuisement du stock.

### 3.2.2. Estimation du ruissellement

La formule élaboré par A.Ghorbel (Tunisie) pour les précipitations supérieur à 600mm, comme c'est le cas à la station de Guelma ( $P = 649,7\text{mm}$ ), on a :

$$Re = 0,26 p - 80, \text{ pour les bassins peu ruisselles}$$

$$Re = 0,26 p, \text{ pour les bassins moyennement ruisselles}$$

$$Re = 0,26 p + 150, \text{ pour les bassins très ruisselles}$$

Avec :  $Re =$  ruissellement (mm)

$P =$  précipitations annuelles (mm)

Etant donné que la plaine de Guelma, est caractérisée par un relief doux (Bouchiheb et al, 2002), où les plus grandes superficies, sont caractérisées par des pentes très faibles à moyennes, occupant l'actuelle vallée de l'oued Seybouse, la partie centrale et s'étendent vers le sud. (Tableau2.10), et du fait que l'occupation de ses sols, est en faveur de l'infiltration que du ruissellement (Tableau2.11), on a opté pour l'application de la première formule ; qui est pour les bassins peu ruisselles.

**Tableau2.10** : Classes des pentes et leurs superficies dans la plaine de Guelma (Bouchiheb et al, 2002).

Classe des pentes (%)	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie (%)	Observation
0-4	84,25	18	Très faible
4-10	101	21,60	Faible
10-16	111,5	23,82	Moyenne
16-22	95,5	20,40	Assez forte
22-28	48,5	10,18	Forte
> 28	28,50	6,00	Très forte

**Tableau 2.11** : Répartition des types de végétations par classes des superficies  
(Bouchiheb et al, 2002)

Type d'occupation	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Superficie (%)
Périmètre d'irrigation	90,6	19,80
Grande culture parcours	177,4	37,80
Forêts et maquis	93,05	19,82
Broussaille	69	14,7
Olivier	28,25	6,02
Vigne	3	0,64
Sable	3,46	0,73
Tissu urbain	4,5	0,95

$$Re = 0,26 P - 80$$

$$\text{D'où } Re = 88,92 \text{ mm}$$

$$\text{Donc l'infiltration : } I = P - (ETR + R) = 94,28 \text{ mm}$$

**P** : précipitation annuelle (mm).

**ETR** : Evapotranspiration réelle (mm).

La région de Guelma est soumise à un climat méditerranéen, la moyenne des précipitations est de l'ordre de 649.7mm, la température moyenne est de 17,51 °C.

Elle est caractérisé par deux périodes distinctes, l'une pluvieuse s'étalant sur huit mois, du début du mois d'Octobre jusqu'à la fin du mois d'Avril, l'autre sèche débutant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre durant laquelle les précipitations sont faibles.

Le bilan de C.W Thorthwaite donne une évapotranspiration réelle de l'ordre de 466,5 mm / an présentant 72 % des précipitations.

Le ruissellement calculé par la formule de A. Ghorbel est de l'ordre de 88.92 mm/ an (13.6%), d'où l'infiltration est égale à 94.28 mm/an présentant uniquement 14.51 % des précipitations.

Connaître la qualité d'une eau ou d'un cours d'eau avant de l'exploiter, ou encore connaître la signature chimique de l'eau des forages afin de mieux comprendre le système aquifère, ou encore pour savoir si l'eau peut être utilisée pour la consommation pour cela cette eau nécessite une analyse périodique pour s'assurer de sa bonne qualité physique, chimique et bactériologique et connaître son évolution par les étapes suivantes :

### 1. Echantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, il convient que le prélèvement ait une connaissance précise des conditions du prélèvement et de son importance pour la qualité des résultats analytiques (Chaouch Redouane et al, 2008/2009). Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total un prélèvement pour l'analyse physico-chimique et deux prélèvements pour l'analyse bactériologique (un prélèvement début Mars et le deuxième fin Avril).

Tous ces prélèvements ont été réalisés dans cinq points : Forage la Rail, Forage Ex Sogedia, Puits Oued El Maiz, BK1, BA3.

### 2. Matériel et mode de prélèvement

Le matériel de prélèvement doit faire l'objet d'une attention particulière ; pour la physico-chimique on utilise des bouteilles en plastique d'une contenance d'un demi litre, pour l'analyse bactériologique ; on a utilisé des flacons en verre stériles d'une contenance égale à 250ml à bouchage hermétique.

Un examen quel que soit physico-chimique ou bactériologique ne peut être valablement interprété que s'il est effectué sur un échantillon correctement prélevé dans un récipient stérilisé ; selon un mode opératoire précis évitant toute contamination accidentelle.

Au moment du prélèvement, pour l'analyse physico-chimique ; la bouteille sera de nouveau rincée plusieurs fois avec de l'eau à analyser puis la remplir jusqu'au bord, et la fermer. Pour l'analyse bactériologique, le prélèvement s'effectue dans des meilleures conditions d'asepsie ; tenir le flacon par le bas et le plonger dans l'eau, tourner le flacon jusqu'à ce que le goulot pointe légèrement, l'ouverture dans le sens opposé à la pression, puis le remplir. La fermeture de bouchon s'effectue sous l'eau de façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air. Les prélèvements doivent être scellés et munis d'une étiquette : La date, l'heure, et le point de prélèvement (Mayet.J, 1994).

### 3. Transport des échantillons

L'analyse bactériologique se fait directement sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes :

- Le délai entre le prélèvement et l'analyse au laboratoire doit être le plus court possible.
- Pour les eaux potables, l'idéal étant de commencer l'analyse le jour même du prélèvement.
- Sauf indication contraire, réfrigérer les échantillons à une température de  $5 \pm 3^{\circ}\text{C}$  pendant le transport en utilisant des blocs réfrigérants ou de la glace fondante. Protéger les échantillons contre les rayonnements solaires.
- Pour les échantillons transportés pendant une durée supérieure à 8 heures, il est nécessaire de surveiller et d'enregistrer la température. [29]

### 4. Les différents paramètres d'étude

#### 4.1. Analyses bactériologiques

L'eau tout en jouant un rôle important pour la vie, la santé, l'accès à l'hygiène et au confort, constitue d'un autre côté un vecteur de nombreuses maladies à transmission hydrique (MTH), comme la brucellose, la fièvre typhoïde, le choléra et les diarrhées, pour ne citer que quelques maladies qui tuent des milliers de personnes chaque année à travers le monde.

Il existe trois principaux types de micro-organismes qu'on peut trouver dans l'eau potable : les bactéries, les virus et les protozoaires. Ils peuvent exister à l'état naturel ou être le résultat d'une contamination par des matières fécales d'origine humaine ou animale.

Les sources d'eau de surface, comme les lacs, les rivières et les réservoirs sont plus susceptibles de contenir des microorganismes que les sources d'eaux souterraines, à moins que ces dernières ne soient sous l'influence directe des eaux de surface.

Dans notre étude nous avons effectué une analyse réduite qui comprend la recherche :

- Des coliformes et des coliformes thermo tolérant (*Escherichia coli*)
- Des streptocoques fécaux
- Des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices

#### 4.1.1. Méthode d'analyse

Dans notre étude nous avons utilisé la méthode par filtration qui est basée sur une filtration d'un volume donné d'échantillon d'eau à travers une membrane filtrante en cellulose de porosité  $0.45\mu\text{m}$  et de 47 mm de diamètre, la porosité est suffisante pour retenir les bactéries, la membrane est placée ensuite sur un milieu gélosé préalablement préparé.

# CHAPITRE III : MATÉRIEL ET MÉTHODES

Produced by Scantopdf

#### 4.1.2. Matériel utilisé

- Rampe de filtration à 3 postes avec une pompe à vide
- Etuve à  $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$  et à  $44 \pm 0.5^\circ\text{C}$
- Flacons en verre stériles.
- Tubes à essai
- Pipettes pasteur
- Boîtes de pétri stériles
- Pincés stériles
- Bec Bunsen
- Anse de platine
- Des filtres de porosité  $0.45\mu\text{m}$  et de 47 mm de diamètre

#### 4.1.3. Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C

##### 4.1.3.1. Objet et domaine d'application

Cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement des microorganismes dans les eaux de forages destinés à la consommation humaine par comptage des colonies à 22° et à 37°C. [12]

##### 4.1.3.2. Définition

Dans le sens de cette méthode, on entend par microorganismes : Bactéries, Levures, Moisissures se développant en aérobiose, lorsque l'essai est effectué selon la méthode spécifiée. [12]

##### 4.1.3.3. Mode Opérateur

A partir de l'eau à analyser ( $SM = 1$ ) et/ou des dilutions décimales  $10^{-1}$  et  $10^{-2}$ , porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique figure 3.1 ci-après.

Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à  $45 \pm 2^\circ\text{C}$ . Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes.

Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale.

Laisser solidifier les boîtes sur pailleasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche, a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses. [12]

Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

- La première série sera incubée à  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $68 \pm 4$  heures,

- La seconde série sera incubée à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$ , pendant  $44 \pm 4^\circ\text{C}$  heures (figure 3.1).

#### 4.1.3.4. Lecture

Les colonies de microorganismes revivifiables apparaissent en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes. Retenir les boîtes contenant moins de 300 colonies, au niveau de deux dilutions successives. Il faut qu'une boîte renferme au moins 15 colonies.

Calculer ensuite la valeur du nombre  $N$ , de microorganismes revivifiables à  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  à part et celle du nombre  $N$  de microorganismes revivifiables à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  à part, en tant que moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{\Sigma c}{1,1 \times d}$$

Où :

$\Sigma c$  : est la somme des colonies dénombrées sur deux boîtes de dilutions successives retenues.

$d$  : est le taux de dilution correspondant à la première dilution.

Arrondir les résultats calculés à deux chiffres significatifs après la virgule.

Le résultat final de microorganismes revivifiables dénombrés à  $22^\circ\text{C}$  et à  $37^\circ\text{C}$  par ml d'eau est noté par un nombre compris entre 1,0 et 9,9 multiplié par  $10^x$  où  $x$  est la puissance appropriée de 10. [12]

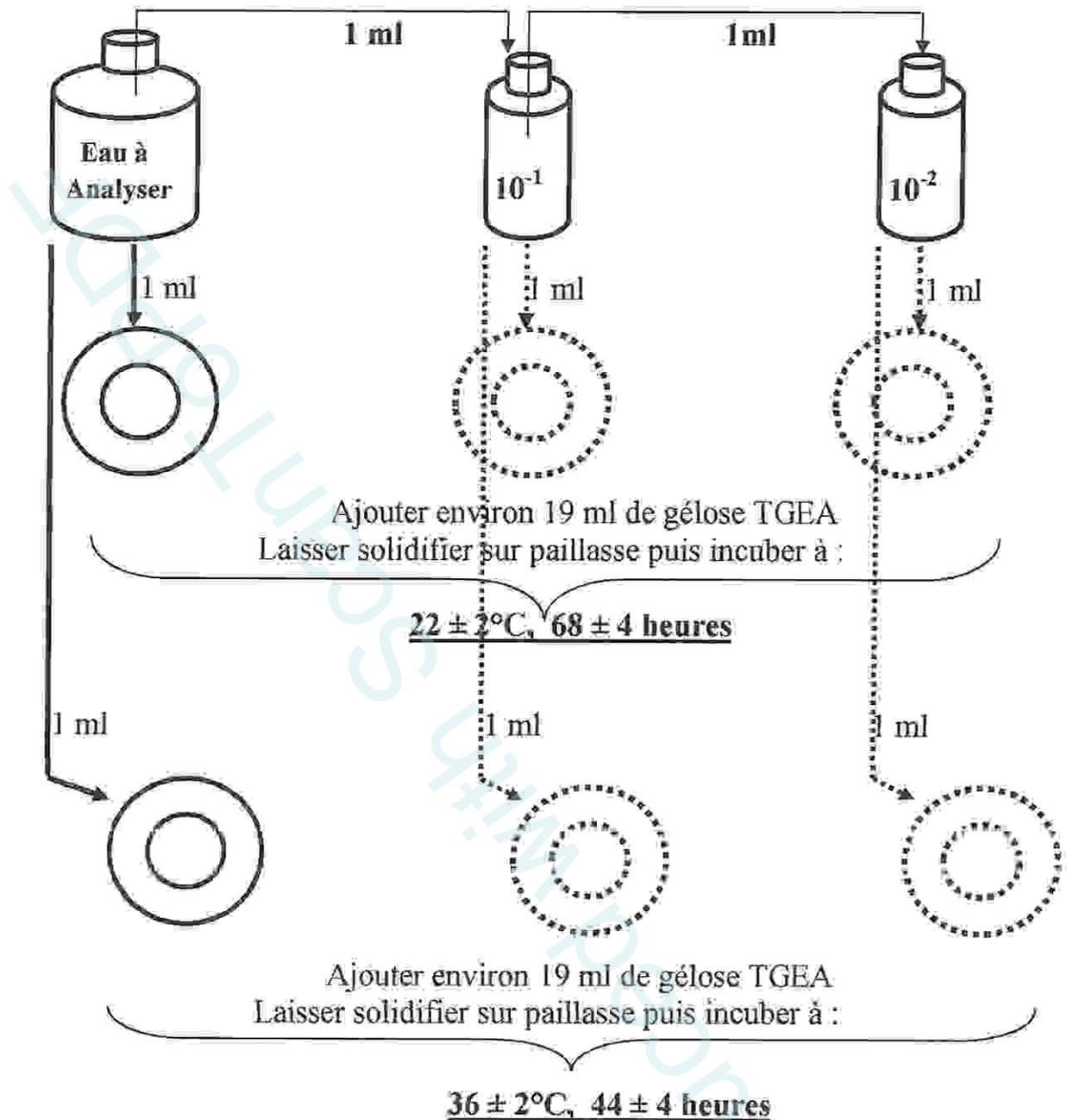
Exemple :

Un dénombrement de microorganismes à  $37^\circ\text{C}$  a donné les résultats suivants :

- à la première dilution retenue  $10^{-2}$  : on a 158 colonies.
- à la seconde dilution retenue  $10^{-3}$  : on a 14 colonies. [12]

$$N = \frac{\Sigma c}{1,1 \times d} = \frac{158 + 14}{1,1 \times 10^{-2}} = \frac{172}{0,011} = 15636$$

Arrondir à deux chiffres significatifs, soit 16000 ou mieux encore :  
 $1,6 \times 10^4$  microorganismes par ml d'eau à  $22^\circ\text{C}$  ou à  $37^\circ\text{C}$



Dénombrer les colonies lenticulaires ayant poussé en masse dans chacune des boîtes, puis calculer la valeur de N à 22°C puis celle de N à 37°C.

— Obligatoire

.....Facultatif

**Figure3.1** : Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C

[12]

#### 4.1.4. Recherche et dénombrement des bactéries Coliformes et des *Escherichia coli* (Méthode par filtration)

##### 4.1.4.1. Objet et domaine d'application

Il s'agit là d'une méthode de référence qui consiste en la recherche et le dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries Coliformes éventuellement présents dans les eaux destinées à la consommation humaine, par comptage des colonies obtenues en milieu solide après 24 à 48 heures d'incubation en aérobiose à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  puis à  $42 \pm 2^\circ\text{C}$ .

La présente méthode est recommandée pour les eaux peu contaminées. [13]

##### 4.1.4.2. Définition

Au sens de cette méthode, on entend par Coliformes des bacilles à Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C.

Les Coliformes thermo tolérants ont les mêmes propriétés que les coliformes mais à  $42 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Les *Escherichia coli* sont des coliformes thermo tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à  $42 \pm 2^\circ\text{C}$ . [13]

##### 8.1.4.3. Mode opératoire

La recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

###### Essai standard

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de  $0,45 \mu$  entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $21 \pm 3$  heures voire

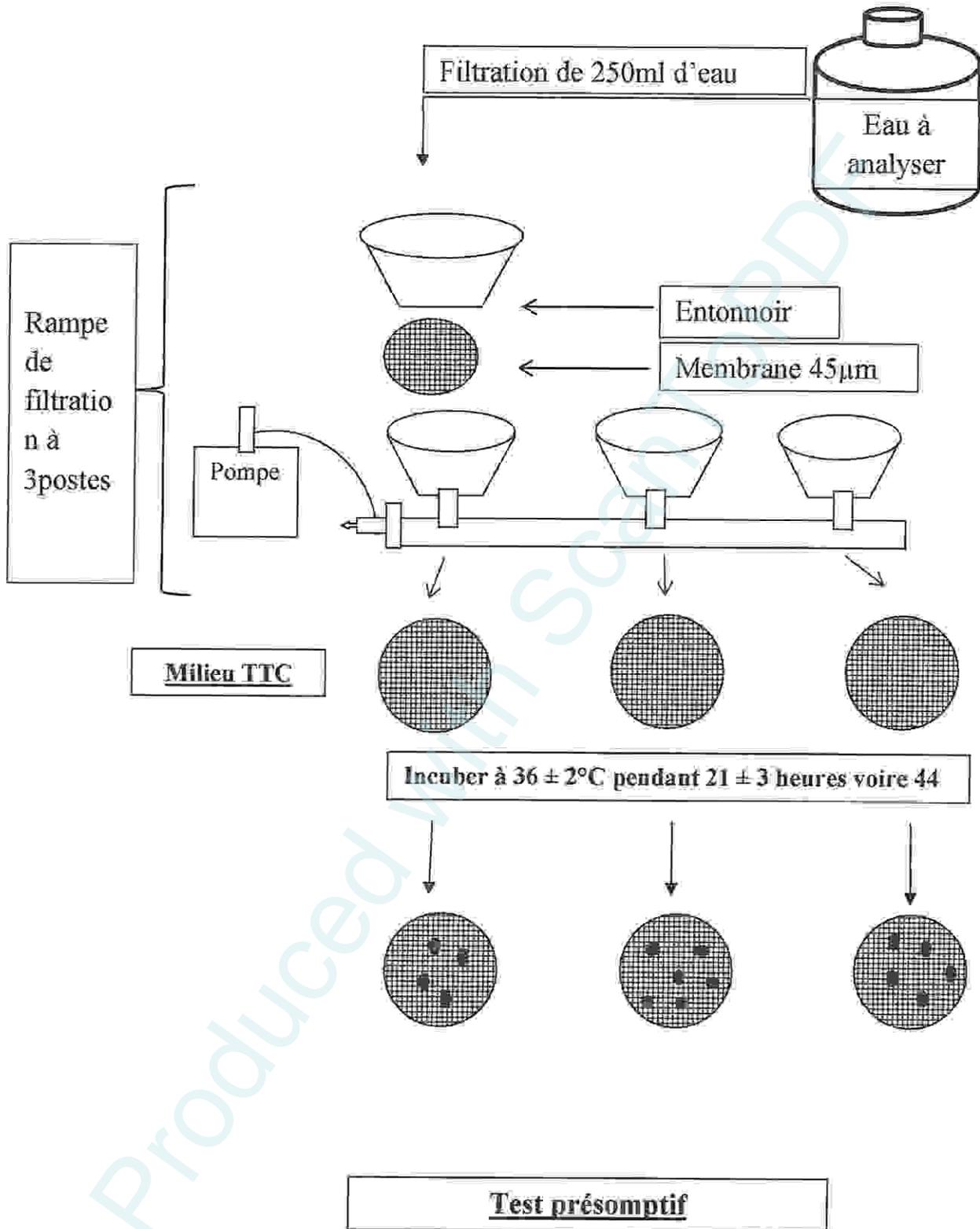
44 ± 4 heures et servira à la recherche des bactéries coliformes, suivie de l'identification biochimique des *Escherichia coli* (figure 3.2). [13]

#### 4.1.4.4. Lecture

Après la période d'incubation spécifiée, dénombrer les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentés en jaune orangé ou en jaune (lactose positives).

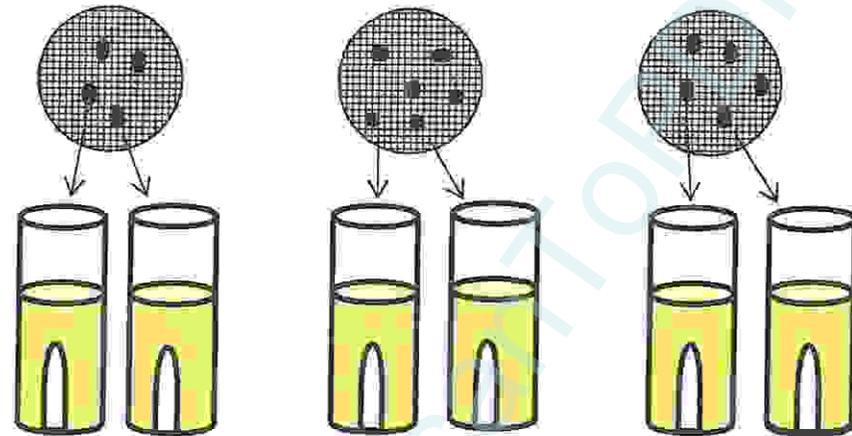
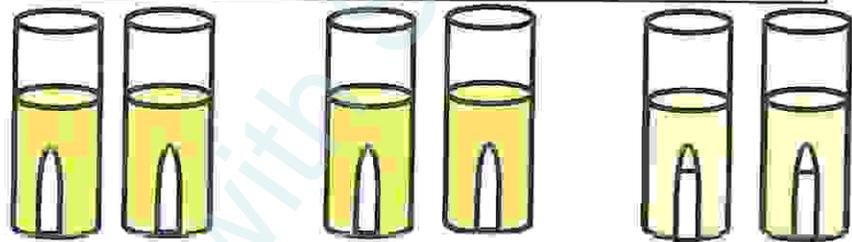
On va faire un repiquage à l'aide d'une anse de platine stérile de quelques colonies caractéristiques sur le milieu de confirmation, chaque tube est muni de cloche de Durham pour déceler de dégagement éventuel de gaz dans le milieu. L'incubation des tubes se fait à 44° C pendant 21 ± 2h. Sont considérés comme positifs, tous les tubes présentent un trouble bactérien, production de gaz dans la cloche, pour les tubes qui ont une réaction indole positive c'est-à-dire l'apparition d'un anneau rouge en surface après addition de réactif Kovacs pour la recherche d'*Escherichia coli* ; sont considérés comme positifs.

Les résultats de dénombrement des coliformes sont exprimés en unité formant de colonie (UFC) du nombre des germes par 100ml. Toute colonie caractéristique productrice du gaz est considérée comme bactérie coliforme et toute colonie caractéristique, productrice d'indole à 44°C est considérée comme bactérie *Escherichia coli*. [13]

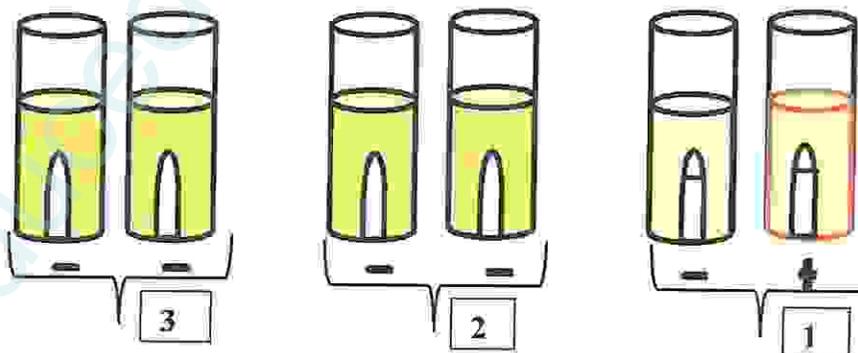


**Test confirmatif**

Repiquage sur un milieu Schubert

Incuber à  $44 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $21 \pm 3$  heures

Ajouter 2 à 3 gouttes du réactif Kovacs par tube

Figure 3.2 : Recherche et dénombrement des coliformes et *Escherichia coli*

#### 4.1.5. Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux (streptocoques)

##### méthode par filtration sur membrane

##### 4.1.5.1. Objet et domaine d'application

Cette méthode de référence, consiste en la recherche et le dénombrement des entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe « D » de la classification de Lance Field, ou encore Streptocoques fécaux dans les eaux destinées à la consommation humaine, par filtration sur membrane. [14]

##### 4.1.5.2. Définition

Au sens de cette méthode, on entend par entérocoques intestinaux des bactéries qui se présentent sous forme de cocci à Gram positive, sphériques ou ovoïdes formant des chaînettes, ne possédant pas de catalase mais possédant l'antigène du groupe D. Ils sont capables de se développer en 24 à 48 heures à 37°C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus hydrolysent l'esculine en 2 heures à 44°C après repiquage d'une colonie sur une gélose biliée à l'esculine et à l'azoture. [14]

##### 4.1.5.3. Mode opératoire

La recherche des entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe « D » par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45 µ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ou 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, à la surface d'une plaque de gélose SLANETZ et BARTLEY préalablement préparée.

Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant  $44 \pm 4$  heures (figure3.3).

[14]

#### 4.1.5.4. Lecture

Après la période d'incubation spécifiée, les entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe «D» apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentées en rouge, marron ou rose.

Transférer aseptiquement la membrane du milieu de Slanetz et Bartley sur une plaque de gélose Bile esculine azoture (BEA) préchauffée préalablement à 44°C. Cette dernière sera incubée à son tour à  $44 \pm 0,5^\circ\text{C}$  pendant 2 heures.

Les colonies caractéristiques prennent alors une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu.

Compter le nombre de colonies et le rapporter à 100 ou 250 ml d'eau à analyser. [14]

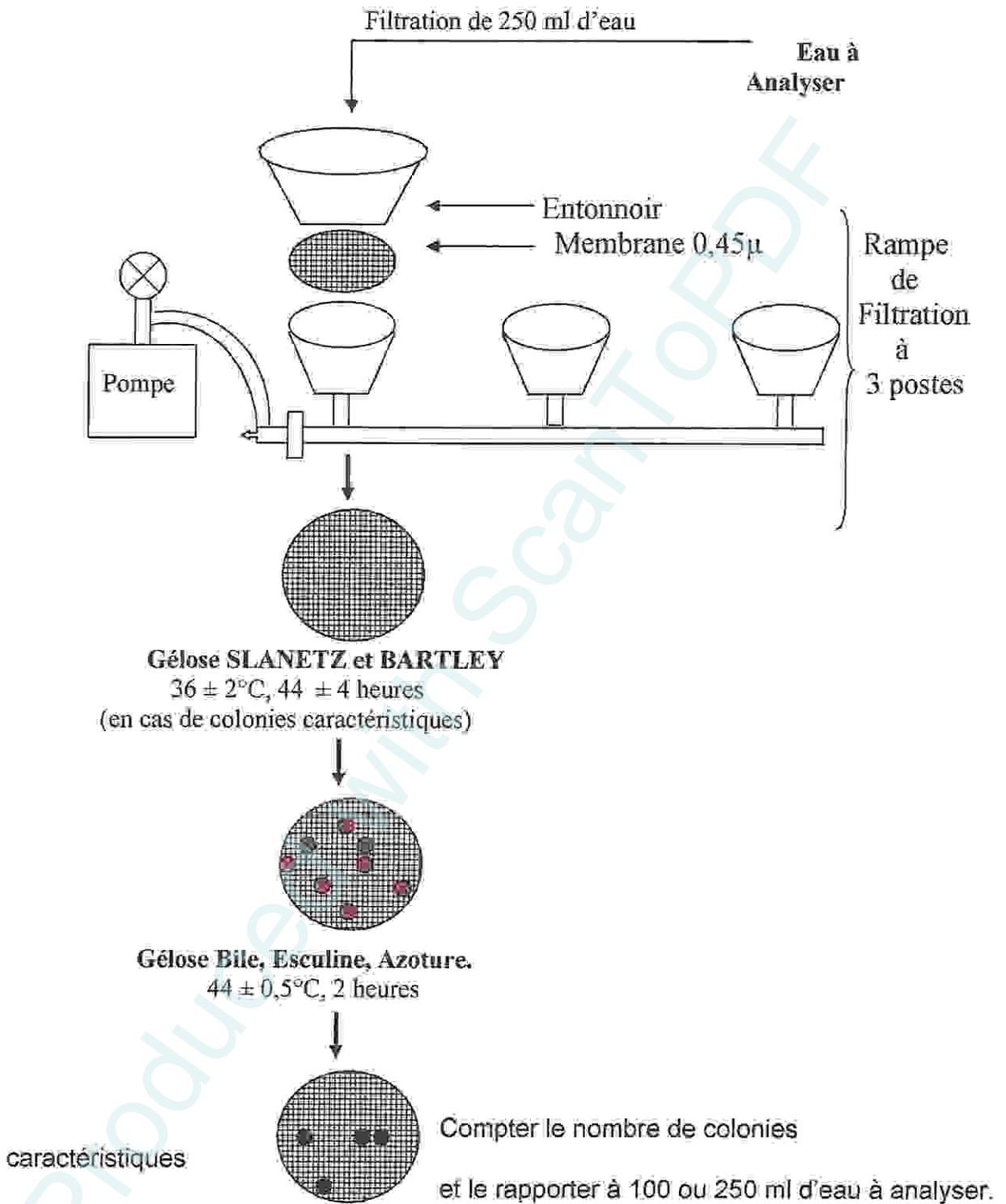


Figure 3.3 : Recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux. [14]

#### 4.1.6. Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de Clostridium sulfito-réducteurs. Méthode par incorporation en gélose en tubes profonds

##### 4.1.6.1. Objet et domaine d'application

Cette méthode consiste en la recherche et le dénombrement des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de Clostridium sulfito-réducteurs dans les eaux destinées à la consommation humaine, par incorporation en gélose en tubes profonds. [15]

##### 4.1.6.2. Définition

Au sens de cette méthode, on entend par bactéries anaérobies sulfito-réductrices des bactéries qui se présentent sous forme de bacilles à Gram positif et qui en se développant à température de  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  en 24 à 48 heures en gélose profonde de type gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou Tryptose Sulfite Néomycine ou encore gélose Viande Foie, donnent des colonies caractéristiques qui sont de couleur blanche entourées d'une auréole noire. Ce dernier est le témoin de la réduction du sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de  $\text{Fe}^{2+}$  qui donne  $\text{FeS}$  (sulfure de fer) de couleur noire.

La présence de spores de bactéries ASR dans les eaux, sans flore d'accompagnement, constitue généralement un véritable indice de contamination ancienne. [15]

##### 4.1.6.3. Mode opératoire

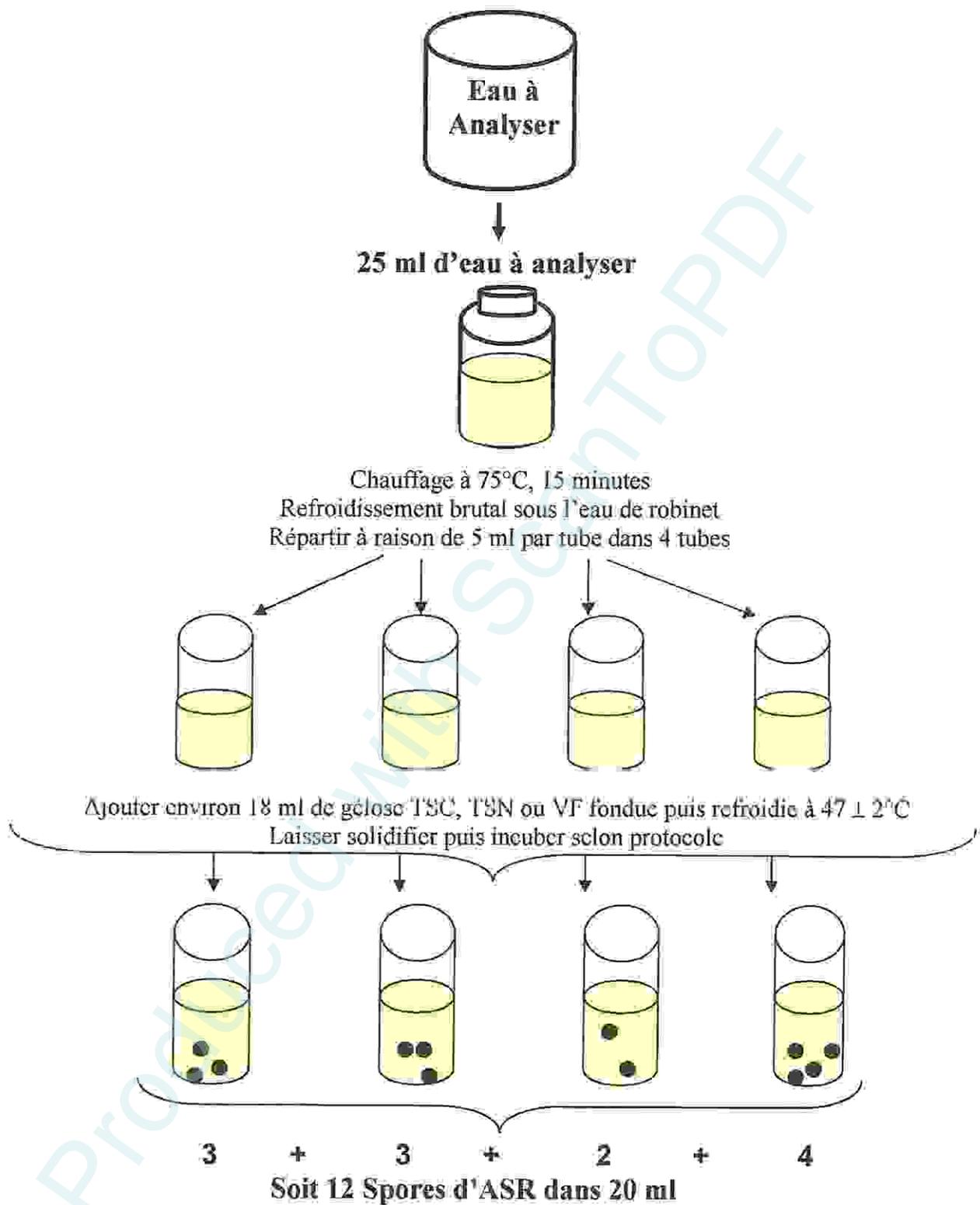
A partir de l'eau à analyser :

- Transférer environ 25 ml dans un tube stérile, qui sera par la suite soumis à un chauffage de l'ordre de  $75^\circ\text{C}$  pendant 15 minutes, dans le but de détruire toutes les formes végétatives des bactéries anaérobies sulfito-réductrices éventuellement présentes. Un autre flacon rempli d'une autre eau servira de témoin de température.
- Après chauffage, refroidir immédiatement le flacon destiné à l'analyse, sous l'eau de robinet.
- Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes différents et stériles, à raison de 5 ml par tube.
- Ajouter environ 18 à 20 ml de gélose Tryptose Sulfite Cyclosérine ou Tryptose Sulfite Néomycine ou encore gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à  $47 \pm 1^\circ\text{C}$ , additionnée de leurs additifs spécifiques.
- Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène.
- Laisser solidifier sur pailleuse pendant 30 minutes environ, puis incuber à :
  - $44 \pm 4^\circ\text{C}$ , pendant  $20 \pm 4$  heures, dans le cas de la gélose TSC ou TSN.
  - $36 \pm 2^\circ\text{C}$ , pendant  $44 \pm 4$  heures, dans le cas de la gélose Viande Foie (figure3.4). [15]

#### 4.1.6.4. Lecture

La première lecture doit absolument être faite à 16 heures car très souvent les spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices sont envahissantes auquel cas on se trouvera en face d'un tube complètement noir rendant ainsi l'interprétation difficile voire impossible et l'analyse sera à refaire en utilisant des dilutions décimales de  $10^{-1}$  voire  $10^{-2}$ , la deuxième lecture se fera à 24 heures et la troisième et dernière à  $44 \pm 4$  heures.

Dénombrer toute colonie noire de 0,5 mm de diamètre, ayant poussé en masse et rapporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser. [15]



**Figure 3.4 :** Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices [15]

# CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Produced by Scantopdf

## 4.2. Analyses physico-chimiques

### 4.2.1. Les paramètres physiques

#### Mesures in situ :

Six paramètres physiques (pH, température, conductivité électrique, salinité et turbidité et TDS) ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'une valise multiparamètre de terrain de marque HANNA HI9828

#### 4.2.1.1. PH

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions  $H^+$  de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH mètre ou par colorimétrie. [30]

#### 4.2.1.2. Température

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

La température doit être mesurée in situ. Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent généralement un thermomètre intégré. [30]

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs tels que

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

La variation verticale de la température de l'eau dans un forage permet de définir les arrivées ou sorties d'eau ou de définir une anomalie thermique.

#### 4.2.1.3. La conductivité

La conductivité électrique d'une eau ( $\gamma$ ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{ cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique ( $\rho$ ). [31]

#### 4.2.1.4. La salinité

Salinité de l'eau ou minéralisation totale est la somme des ions dissous dans l'eau. Il existe un rapport direct entre la salinité totale et la conductivité de l'eau.

La présence de sel dans l'eau modifie certaines propriétés (densité, compressibilité, point de congélation, température du maximum de densité). D'autres (viscosité, absorption de la lumière) ne sont pas influencées de manière significative. Enfin certaines sont essentiellement déterminées par la quantité de sel dans l'eau (conductivité, pression osmotique). [31]

#### 4.2.1.5. La turbidité

La turbidité donne à l'eau une apparence trouble. Ceci est dû principalement à la présence de matières en suspension dans l'eau. La turbidité occasionne des dépôts dans la tuyauterie et les réservoirs créant ainsi un milieu propice à la prolifération des bactéries. [28]

#### 4.2.1.6. La teneur en sel dissous TDS

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en calcium, en magnésium, en chlorures, en sulfates et en hydrogencarbonates, semblent mieux contribuer à l'homéostasie de l'homme. (J. Rodier, 2009)

### 4.2.2. Les paramètres chimiques

#### Analyses aux laboratoires :

On a procédé à une analyse complète de tous les éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{HCO}_3^-$ ), ainsi que le titre alcalimétrique complet TAC et le titre hydrotimétrique TH. Les polluants résultants des activités agricoles ont été l'objet d'un suivi particulier ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , et  $\text{NH}_4^+$ ).

#### 4.2.2.1. Dosage du calcium ( $\text{Ca}^{+2}$ )

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires, et par entraînement à partir du sol dans les eaux d'infiltration, par lixiviation et par ruissellement. La concentration moyenne du calcium dans le sol est d'environ  $1,37 \times 10^4$  mg/kg. On a constaté que la lixiviation du calcium à partir du sol augmentait nettement avec l'acidité de l'eau de pluie.

La concentration du calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium. [33]

#### a) Principe (Méthode par complexométrie)

Le principe est identique à celui de la méthode complexo - métrique décrite pour la dureté totale.

Comme le dosage se fait à un Ph élevé, le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde et n'intervient pas.

Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

#### b) Réactifs :

- Indicateur coloré : Murexide.
- Solution d'E.D.T.A (N/50).
- Solution d'hydroxyde de sodium à 2N.

#### c) Mode opératoire :

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large.
- Ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde et quelques graines d'indicateur coloré.
- Verser la solution d'E.D.T.A jusqu'au virage du rose au violet soit V le volume de solution d'E.D.T.A versé.

#### d) Expression des résultats

$$[Ca^{+2}] \text{ mg/l} = V_{[E.D.T.A]} \times F \times 8$$

#### 4.2.2.2. Dosage du magnésium ( $Mg^{+2}$ )

Le magnésium se place au huitième rang parmi les éléments naturels les plus abondants. Il constitue 2,5 pour cent de la croûte terrestre et forme généralement des minéraux comme la giobertite ("magnésite"), la dolomie, l'olivine, la serpentine, le talc et l'amiante. Toutes les eaux naturelles en contiennent et il contribue largement à leur dureté.

Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires. Dans les régions riches en roches magnésiques, l'eau peut contenir des concentrations de 10 à 50 mg/L de cet élément. [34]

#### a) Réactifs

- Solution d'E.D.T.A (N/50)
- Noir urochrome
- $NH_4OH$  à PH = 10

#### b) Mode opératoire :

- Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer au col large.
- Ajouter 02 ml de  $NH_4OH$  à PH = 10 et une pincée de Eurochrome T.

- Titrer par E.D.T.A (N/50) jusqu'au virage de couleur bleu ( $V_2$ ).

**c) Facteur**

- 50 ml de solution mère de  $\text{CaCl}_2$

- 02 ml de  $\text{NaOH}$  (2N)

- Une pincée de Murexide

- Titrer par E.D.T.A (N/50) jusqu'au virage de couleur violet.

$$F = 12,5 / V_{(E.D.T.A)}$$

**d) Expression des résultats**

$$[\text{Mg}^{2+}] \text{ mg/l} = (V_2 - V_1) \times F \times 4,8$$

$V_2$  : volume titré de calcium et de magnésium.

$V_1$  : volume titré de calcium.

**4.2.2.3. Dosage de sodium et potassium**

**a) Principe**

La photométrie de flamme permet le dosage des cations alcalins  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ .

Le photomètre de flamme est constitué de trois éléments : le brûleur, le monochromateur et d'une cellule photoélectrique, d'un amplificateur et d'un afficheur.

**Le brûleur** : Il fournit une flamme dans laquelle on pulvérise la solution à analyser.

**Le monochromateur** : permet de sélectionner la longueur d'onde caractéristique de l'élément à doser, il est composé de filtres.

**Le récepteur photoélectrique** : Il est composé d'une cellule photoélectrique qui transforme le flux lumineux en intensité électrique. La lecture est obtenue sous forme digitale.

Pour une même température de flamme, l'intensité de la radiation émise est proportionnelle à la concentration de l'élément à doser si celle-ci est faible.

**b) Mode opératoire**

**- Préparation des solutions étalons**

➤ **Solution mère**

Préparer 100 ml d'une solution mère renfermant 0,500 g/l de sodium et 1,500 g/l de potassium en prélevant les masses ci-dessous.

$\text{NaCl}$  pur pour analyses : 0,127 g

$\text{KCl}$  pur pour analyses : 0,286 g

Eau distillée q.s.p. 100 ml

Vérifier que les masses prélevées pour préparer la solution mère correspondent aux concentrations indiquées. (Tableau 3.1)

**Tableau3.1 :** Gamme de solutions filles étalons en sodium Préparer une gamme de six solutions filles

Solution mère en ml	1	2	3	4	5	6
Eau distillée	q.s.p 100ml					
Concentration massique en mg de sodium par ml	5	10	15	20	25	30

Vérifier que sur la troisième solution que la concentration indiquée est correcte avec le protocole proposé (Tableau3.2).

**Tableau3.2 :** Gamme de solutions filles étalons en potassium Préparer une gamme de cinq solutions filles

Solution mère en ml	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Eau distillée	q.s.p 100ml				
Concentration massique en mg de potassium par ml	1,5	3	4,5	6	7,5

Vérifier que sur la cinquième solution que la concentration indiquée est correcte avec le protocole proposé.

#### ➤ **Etalonnage du photomètre de flamme et mesure Réglages préliminaires**

Le flux lumineux reçu par la cellule contient la somme de deux flux : L'un provient de l'émission de l'élément à doser, L'autre provient de la flamme elle-même. Cette dernière émission est le fond de flamme.

Ce fond de flamme peut être compensé à l'aide de boutons qui permettent de ramener la valeur de l'indication à zéro lorsque l'échantillon est constitué d'eau distillée. Le photomètre étant branché et réglé sur la position Na (ou K), pulvériser de l'eau distillée et faire le réglage du zéro (Afficher 0 à l'aide du bouton « Blank »)

#### ➤ **Mesures**

- Placer le filtre sur Na ou K selon le dosage.
- Faire passer la solution étalon fille la plus concentrée et afficher 100 à l'aide des deux potentiomètres « sensitivity fine et coarse ».
- Faire passer ensuite les autres solutions étalons filles, noter l'indication correspondante à chaque solution.
- Faire passer la solution à doser (eau minérale diluée si nécessaire), noter la graduation.
- Entre chaque mesure, rincer le dispositif de pulvérisation à l'eau distillée.

**c) Résultats**

Tracer les courbes d'étalonnage, sur papier millimétré, pour le sodium et le potassium (indication de l'afficheur en ordonnées, concentrations en abscisses). Déterminer, à l'aide des courbes d'étalonnages les concentrations massiques en sodium et potassium de l'eau minérale. Vérifier avec l'indication de la bouteille.

**4.2.2.4. Chlorures (Cl)**

Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl); ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère. Ce sont les océans qui contiennent de loin la plus grande quantité de chlorures dans l'environnement. [35]

Les chlorures sont présents en grande quantité dans l'eau de mer ( $\pm 19$  g/l). Leur concentration dans l'eau de pluie est approximativement de 3 mg/l. Dans les eaux souterraines, leur concentration dépend des roches traversées. Les sols pollués par l'industrie chimique sont très riches en chlorures. [36]

**a) Principe**

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

**b) Réactifs**

- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent N/10.

**c) Mode opératoire**

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer à col large.
- Ajouter 02 à 03 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.
- Verser au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min.
- Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent N/50 utilisés.

**d) Expression des résultats**

$$\text{Teneur} = V(\text{ml}) \times 142$$

#### 4.2.2.5. Détermination des sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

Les sulfates ( $\text{SO}_4$ ) peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles. L'origine de la plupart des composés sulfates est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de schistes, ou de déchets industriels.

Le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau de pluie. Des concentrations importantes en sulfate dans l'eau que nous buvons peut avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau. Le sulfate peut être attaqué par une bactérie qui le réduit en sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ). [33]

##### a) Principe (Méthode Allemande : M.KERN)

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum.

##### b) Réactifs

##### -Solution mère de sulfate à 1g/l à partir de $\text{Na}_2\text{SO}_4$

Peser 1,47g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .....1000ml d'eau distillée.

##### -Solution stabilisante

Acide chlorhydrique.....60ml

Ethanol.....200ml

Chlorure de sodium.....150ml

Eau distillée.....1000ml

##### -Solution de chlorure baryum

Chlorure de baryum.....150g

Acide chlorhydrique.....5ml

Eau distillée.....1000ml

##### c) Gamme d'étalonnage

- Prendre 8 béchers de 250ml
- Laver très bien avec du savon et une lavette
- Rincer abondamment avec l'eau de robinet
- Rincer avec une solution d'acide chlorhydrique
- Rincer avec l'eau de robinet puis avec de l'eau distillée

##### Remarque

- Les échantillons troubles ou colorés doivent passer par un filtre de  $0.45\mu\text{m}$
- Les échantillons qui contiennent plus de  $70\text{mg/l}$  de  $\text{SO}_4^{2-}$  doivent être dilués avant détermination (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 : préparation de la concentration  $\text{SO}_4^{2-}$ 

N° Becher	0	1	2	3	4	5	6	7
S. mère à 1g/l	0	1ml	2ml	3ml	4ml	5ml	6ml	7ml
QSP	100ml							
S. stabilisante	5ml							
S. chlorure de baryum	2ml							
Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn	Agitation 1mn
Concentration finale $\text{mg/l SO}_4^{2-}$	0	10	20	30	40	50	60	70

Enregistrer la gamme dans le spectro à longueur d'onde  $\lambda=420\text{nm}$

#### d) Mode opératoire

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

#### e) Normes

Normes : PNA=400mg/l

: CMA=400mg/l

#### f) Expression des résultats

$\text{Mg/l SO}_4^{2-} = \text{La valeur lue sur le spectro} \times \text{la dilution}$

#### 4.2.2.6. TAC/TC

Titre alcalimétrique simple et complet (TA et TAC)

Le titre TAC exprimera l'alcalinité totale de l'eau.

Il a une importance fondamentale dans la connaissance de la capacité d'entartrage de l'eau et dans le traitement des eaux de chaudières vapeur.

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

Les titres alcalimétriques TA et TAC sont mesurés par ajout d'une solution titrée acide (liqueur alcalimétrique) en présence d'indicateurs colorés (ou d'un pH-mètre : plus rarement dans la pratique quotidienne de chantier) dont le changement de couleur indique leur neutralisation. [38]

**a) Principe :**

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

**b) Réactifs :**

- a) Acide chlorhydrique ou sulfurique N/50.
- b) Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0.5%.
- c) Solution de méthylorange à 0.5%
- d) Eau permutée exempte d'anhydrique carbonique libre ( par échantillon de 15 min).

**c) Mode opératoire**

**TA :**

a) 100ml d'eau à analyser.

02 03 gouttes de phénolphthaléine.

- Si une coloration rose apparaît titrer avec l'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (N/50) jusqu'à la disparition de la couleur.
- Si la couleur n'apparaît pas TA=0. (PH < 8.3 => TA= 0)

**T.A.C :**

- 100 ml d'eau à analyser
- 02 à 03 gouttes de méthylorange à 0.5 %.
- titrer par l'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (n/50) jusqu'au virage rouge orange

**d) Expression des résultats :** TA F = V titré

$$TAC \quad F = V \text{ titré} - 0.5$$

**4.2.2.7. Dosage des nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**

Composé minéral d'azote et d'oxygène de formule NO<sub>3</sub>. Seule forme d'azote assimilable par la plupart des végétaux mais qui pose des problèmes de pollution lors d'apports trop importants pour le milieu naturel (pollution agricole). [39]

Le nitrate est le dernier stade de la nitrification. Sa présence n'est pas dangereuse pour les poissons mais une concentration importante > 50mg/l peut freiner la croissance des poissons. [40]

**a) Principe** (Méthode au salicylate de sodium)

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

**b) Réactifs**

Solution de salicylate de sodium 0,5% (renouveler toutes les 24 heures).

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

- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.

- Tartrate double de sodium et de potassium.

Hydroxyde de sodium NaOH .....400g

Tartrate double de sodium et de potassium.....60g

Eau distillée.....qsp1000ml

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 distillé ..... 1000 ml.

Chloroforme ..... 1 ml.

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

**Appareillage** : étuve

Spectrophotomètre U.V visible,

**Tableau 3.4** : Courbe d'étalonnage

Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

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

**c) 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.

Evaporer à sec au bain Marie ou à l'étuve 75-88 °c.

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

Prendre les résidus avec 2 ml, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> laisser reposer 10 mn.

Ajouter 15 ml d'eau distillée.

Ajouter 15 ml de Tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.

#### d) Expression des résultats

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

#### 4.2.2.8. Dosage des ions Nitrites (Méthode spectrométrique)

Les nitrites  $\text{NO}_2^-$  sont généralement absents (ou à peine mesurables). Leur présence est indicatrice d'une pollution due à des rejets d'eau non épurée ou à un ralentissement du processus de nitrification.

Ils sont toxiques à faibles doses (dose létale pour les poissons 3-5 mg/l).

##### • Nitrification

Traitement physico-chimique : processus d'élimination de l'azote présent dans l'eau résiduaire.

Lors de la nitrification, l'ammoniaque ( $\text{NH}_4^+$ ) s'oxyde en se transformant en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) /nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

Unité standard de mesure de la turbidité, 1 NTU = 1 FNU (Formazin Nephelometric Unit)

- NTU < 5 : eau claire

- 5 < NTU < 30 : eau légèrement trouble

- NTU > 50 : eau trouble [30]

##### a) Principe

Les ions nitrites réagissent en milieux acide ( $\text{pH}=1,9$ ) avec la sulfamide en formant sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediamine-dichlorohydraté un colorant azoïque rouge.  $\lambda_{\text{Max}} = 543\text{nm}$

##### b) Réactifs

###### ➤ Solution de nettoyage

Solution d'acide chlorhydrique (à  $d = 1,12\text{g} = 25\%$ )

###### ➤ Solution du réactif

20g de sulfamide ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{N}_2\text{S}$ ) à dissoudre dans un mélange de 50ml d'acide phosphorique  $d=1,71\text{g/ml}=85\%$  de masse) et 250ml d'eau distillée.

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

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

➤ **Solution d'acide phosphorique**

Dans une fiole jaugée de 250ml, dissoudre 25ml d'acide phosphorique ( $d = 1,71\text{g/ml} = 85\%$  en masse) dans 150ml d'eau distillée. Après refroidissement à la température ambiante, on complète à l'eau distillée à 250ml.

➤ **Solution standard de 100mg/l**

Dissoudre  $0,4926\text{g} \pm 0,0002$  de nitrite de sodium ( $\text{NaNO}_2$ ), sécher pendant 2 heures à  $105^\circ\text{C}$  dans 750ml d'eau distillée compléter à 1L.

$1\text{ml} = 100\text{g} = 0,1\text{mg}$  de  $\text{NO}_2\text{-N}$ . Cette solution est stable pendant 1 mois à l'obscurité et à  $4^\circ\text{C}$  (Tableau 3.5)

**Tableau 3.5 : Courbe d'étalonnage**

\$fille 1mg/l	0	1	2,5	5	7,5	10
E distillée	50	49	47,5	45	42,5	40
Réactif mixte ml	1	1	1	1	1	1
Attendre 10min	Attendre 10min	Attendre 10min	Attendre 10min	Attendre 10min	Attendre 10min	Attendre 10min
( $\text{NO}_2$ ) en mg/l	0	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2

**c) Prélèvement et préparation des échantillons**

Conserver l'échantillon à  $4^\circ\text{C}$  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.

Dans le cas d'échantillon, coloré, il faut également mesurer l'extinction propre de l'échantillon d'eau (sans réactif) mais dilué de la même manière que l'échantillon réel).

**d) Mode opératoire**

- Prendre 50ml d'eau à analyser
- Ajouter 1ml du réactif mixte
- Attendre 10min

L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2$

**e) Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur onde de 543nm.

#### 4.2.2.9. Dosage de l'Ammonium (Méthode spectrométrique manuelle)

L'ion ammonium correspond à la forme réduite de l'azote. Ce composé azoté est caractéristique des eaux résiduaires où il est associé à l'azote organique.

Dans des conditions d'oxygénation normale, cet élément est oxydé en nitrites puis en nitrates.

Provient des processus de décomposition microbiologique des protéines animales et végétales. Il peut être réutilisé directement par les plantes et est utilisé dans les engrais commerciaux.

Lorsque le pH est élevé l'ammonium se transforme en ammoniac  $\text{NH}_3$  toxique (dose létale pour certains poissons 1 mg/l).[41]

##### a) Principe

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

##### b) Réactifs

- Eau exempte d'ammonium

- Réactif coloré : Peser 13g + ou - 1g de salicylate de sodium, 13g + ou - 1g de citrate trisadique déshydraté et 0,097g de sodium nitropentacyanoferrate (III) déshydraté à dissoudre dans 100ml d'eau distillée. Conserver dans un récipient en verre brun.

Cette solution est stable pendant 2 semaines.

- Dichloroisocyanurate de sodium : Prendre 3,2g d'hydroxyde de sodium dans 50ml d'eau distillée, + 0,2g de dichloroisocyanurate déshydraté. Dissoudre dans 100ml d'eau distillée. Conserver dans un récipient en verre brun.

- Solution étalon : Chlorures d'ammonium  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  ou le sulfate d'Ammonium. (Tableau3.6)

**Tableau3.6 : Courbe d'étalonnage**

\$ fille 1mg/l	0	1	2,5	5	25	40
Eau distillée (ml)	50	49	47,5	45	25	10
Réactif I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif II (coloré) (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1h30	Attendre 1h30	Attendre 1h30	Attendre 1h30	Attendre 1h30	Attendre 1h30	Attendre 1h30
$[\text{NH}_4^+]$ en mg/l	0	0,02	0,05	0,1	0,5	0,8

**c) Mode opératoire**

- Prendre 40ml d'eau à analyser
  - Ajouter 4ml du réactif I
  - Ajouter 4ml du réactif II et ajuster à 50ml avec H<sub>2</sub>O distillée et attendre 1h30.
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- Effectuer la lecture à 655 nm

**d) Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l [13]

**4.2.2.10. Détermination du fer**

La présence de fer dans les eaux souterraines a de multiples origines : le fer, sous forme de pyrite (FeS<sub>2</sub>), est couramment associé aux roches sédimentaires déposées en milieu réducteur (marnes, argiles) et aux roches métamorphiques. Il se retrouve souvent à de fortes concentrations dans les eaux des cuirasses d'altération de socle.

Présent sous forme réduite (Fe<sup>2+</sup>), le fer est oxydé par l'oxygène de l'air et précipite sous forme ferrique lorsque l'eau est pompée => Fe<sup>2+</sup> Fe<sup>3+</sup> + e<sup>-</sup>

Les dalles de forages ou puits sont alors colorées en brun/rouille et les populations se désintéressent parfois de la ressource car l'utilisation d'une eau chargée en fer pour la lessive colore le linge et, consommée directement ou sous forme d'infusion (thé...), peut avoir un goût prononcé.

Le fer est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. Présent à plus de 5 % dans le sol, il se dissout assez facilement dans l'eau ce qui lui donne un goût métallique et une couleur parfois jaune (fer ferrique). [30]

**a) Principe (méthode à l'orthophénantroline)**

Addition d'une solution de phénantroline 1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510nm.

Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe<sup>3+</sup> en Fe<sup>2+</sup>

**b) Réactifs**

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau bidistillée exempte de toute trace de fer.

- Tampon Acétate : Acétate d'Ammonium.....40g  
Acide acétique cristallisable.....50ml  
Q.S.P..... 100ml d'eau distillée
- Chlorhydrate d'hydroxylamine à 10% :  
Chlorhydrate d'hydroxylamine..... 10g  
Q.S.P..... 100ml d'eau distillée.

-Solution de Phénanthroline-1,10 :

Dissoudre 0,42g de phénanthroline-1,10 monohydraté ( $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$ ) dans 100ml d'eau distillée contenant 2 gouttes d'Acide chlorhydrique.

Cette solution est stable pendant une semaine. Conserver dans un flacon teinté et au réfrigérateur.

- Solution mère étalon de fer à 1g/l :

- Solution fille étalon de fer à 0,01 g/l (à préparer extemporanément).

Diluer au 1/100 la solution précédente.

**Tableau 3.7 :** Etablissement de la courbe d'étalonnage

Numéros de tubes	T	1	2	3	4	5	6
Solution fille à 0,01g/l (ml)	0	0,25	0,25	1,0	2,0	4,0	5,0
Eau distillée (ml)	50	49,75	49,5	49	48	46	45
Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Tampon acétate (ml)	2	2	2	2	2	2	0,5
Solution de phénanthroline -1,10(ml)	2	2	2	2	2	2	2
Correspondance en mg de fer par litre	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1

#### c) Mode opératoire

- Prendre 50ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100ml, ajouter 1ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine. Mélanger soigneusement.

- Ajouter 2ml de tampon acétate

- Ajouter 2ml de la solution 1,10 de phénanthroline et conserver à l'obscurité pendant 15min.

- Enfin passer au spectro pour mesurage à la longueur d'onde de 510nm

#### d) Expression des résultats

Le résultat est donné en mg/l.

#### 4.2.2.11. (TH) Titre hydrotimétrique par (E.D.T.A)

Les alcalins et les alcalino- terreux provient à l'origine des roches cristallines.

L'alcalinité caractérise la possibilité qu'a une eau à maintenir son pH constant. Ainsi un ajout d'une petite quantité d'acide faible dans une eau pure provoque automatiquement une baisse sensible du pH.

Une eau alcaline sera capable de neutraliser cet acide et donc de maintenir son pH plus ou moins constant. On parle aussi de pouvoir tampon d'un tel milieu. Une eau alcaline protège donc la vie aquatique.

Lorsqu'une eau se charge en carbonates, bicarbonates (en traversant des roches calcaireuses par ex), hydroxydes, phosphates, silicates elle augmente son alcalinité. [42]

#### a) Principe

Les alcalino - terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel di sodique de l'acide de l'éthylène - diaminetétracétique à PH 10

La disparition de dernières traces d'éléments libre à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

#### b) Réactifs

- Indicateur non d'Eriochrome T
- Solution d'E.D.T.A (0.2 N)
- Ammoniaque 34 %

#### c) Mode opératoire

- Prélever 10 ml d'eau à analyser
- Ajouter 9 ml de solution tampon (PH = 9.5 - 10) et quelques graines d'indicateur coloré
- Verser la solution d'E.D.T.A jusqu'au virage du rouge vieux au bleu.

Soit V le volume de solution d'E.D.T.A versé

#### d) Expression des résultats

$$TH (°F) = V \text{ (ml)} \times 10$$

#### 4.2.2.12. Résidu sec

Le résidu sec correspond au poids de la totalité des matières dissoutes par litre d'eau une certaine quantité d'eau bien mélangée est évaporée dans une capsule tarée de résidu desséché est ensuite pesé.

#### a) Mode opératoire

- Tarer une capsule préalablement lavée, rincer avec de l'eau distillée et dessécher.
- Prélever 200 ml d'eau à analyser.
- Porter à l'étuve à 105 °C pendant 24 h.
- Laisser refroidir pendant 1/4 heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement.

#### b) Expression des résultats :

$$R/S \text{ (mg/l)} = (P_p - P_v) \times 5 \times 1000$$

$P_p$  : poids plein de la capsule.

$P_v$  : poids vide de la capsule.

#### 4.2.2.13. Détermination des matières en suspension M.E.S

Ces particules minérales ou organiques sont présentes dans les eaux naturelles ou polluées. Les MES comprennent les matières décantables et les colloïdes, mais pas les matières dissoutes. Elles comportent souvent dans les cours d'eau des particules de nature argilo-humique provenant de l'érosion des sols, mais également bien d'autres constituants, en particulier d'origine organique. Elles représentent la cause essentielle de la turbidité de l'eau. [43]

##### a) Principe

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

##### b) Matériel spécial

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (rampe).
- Membranes de filtration.

##### c) Mode opératoire

- Mettre les membranes filtrantes dans une étuve à 105°C pendant 20 min.
- Laisser refroidir dans le dessiccateur.
- Ensuite les peser soit P<sub>1</sub> : poids des membranes avant filtration.
- Placer les membranes dans la rampe à filtration et faire passer 200 ml d'eau à analyser à travers.
- Rendre les membranes à l'étuve (105°C) afin de les sécher pendant 20 min.
- Les laisser refroidir au dessiccateur puis les peser une 2<sup>ème</sup> fois soit P<sub>2</sub> : poids des membranes après filtration.

##### d) Expression des résultats :

$$\text{M.E.S (mg/l)} = (P_2 - P_1) \times 5 \times 1000.$$

#### 4.2.2.14. Matières organiques (M/O)

Les matières organiques peuvent être présentes dans l'eau en suspension (plancton, déchets végétaux, ...) ou sous forme dissoute (hydrates de carbone, acides humiques, pigments et composés d'origine artificielle comme les hydrocarbures, les solvants chlorés ou les pesticides).

Ces éléments proviennent essentiellement de la dégradation de la matière organique présente dans le milieu ou dans les sols lessivés par les pluies (décomposition des plantes et des animaux) ainsi que des composés issus de l'activité humaine. Leur concentration est infime dans les eaux profondes mais elle peut atteindre quelques dizaines de milligrammes par litre dans les eaux de surface. [44]

**a) Principe**

L'opération consiste à mesurer, en milieu acide et en milieu alcalin, la quantité d'oxygène utilisée pour la réduction du permanganate de potassium par les matières organiques d'origine animale ou végétale contenues dans une eau.

**b) Réactifs**

- Solution d'acide sulfurique 50%.

- Solution de permanganate de potassium N/80.

A préparer à partir d'une solution N/10 récemment titrée, vérifier le titre de cette solution.

- 1ml de la solution N/80 correspond à 0.1 mg d'oxygène.

- Solution d'acide oxalique N/80 : A préparer à partir d'une solution N/10 récemment titrée.

**c) Mode opératoire**

- Introduire dans erlenmeyer de 500 ml, 100 ml d'eau à analyser et 10 ml d'acide sulfurique à 50 %.

- Ajouter 10 ml de solution de permanganate de potassium N/80

- Porter l'échantillon à l'ébullition ménagée pendant 10 min à partir du moment où les bulles en formation au fond du ballon venait crever la surface du liquide

- Ajouter ensuite 10 ml d'acide oxalique N/80 pour décolorer.

- Prévenir immédiatement à la teinte rose faible mais persistante à l'aide d'une burette graduée, la solution de permanganate de potassium N/80.

- Faire un essai à blanc en opérant dans les mêmes conditions.

**d) Expression des résultats :**

$M/O (O_2/l) = (V \text{ échi} - V \text{ blanc})$

Dans ce chapitre nous essayons de discuter les résultats obtenus des analyses bactériologiques et physico-chimiques.

### 1. Analyses bactériologiques

La qualité bactériologique est appréciée par la recherche de microorganismes spécifiques, indicateurs d'une possible contamination, cette analyse permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau, elle présente également un bon moyen pour contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement. Le tableau suivant montre les normes des paramètres de la qualité bactériologique selon la norme ISO.

**Tableau 4.1** : des normes particulières calculées selon les paramètres avec des méthodes différentes. [45]

Désignation	Méthode	Norme	Conformité
Coliformes totaux	Filtration sur membrane	NF EN ISO 9308-1*	< 1 UFC / 100 ml
Escherichia coli	Filtration sur membrane	NF EN ISO 9308-1*	< 1 UFC / 100 ml
Entérocoques (streptocoques fécaux)	Filtration sur membrane	NF EN ISO 7899-2*	< 1 UFC / 100 ml
Microorganismes aérobies revivifiables à 22°C	Incorporation en gélose	NF EN ISO 6222*	< 100 / ml
Microorganismes aérobies revivifiables à 36°C	Incorporation en gélose	NF EN ISO 6222*	< 20 /ml
Spores de microorganismes anaérobies sulfite réducteurs	Filtration sur membrane	NF EN 26461-2*	< 1 UFC / 100 ml

Les analyses répétées des eaux de forage nous permettent de révéler la qualité bactériologique, pour cela nous avons choisi 5 points de prélèvements : forage la Rai, Puits Oued El Maïz, Ex.Sogidia, BK1 et BA3 mentionnés dans le tableau ci-dessous.

**Le tableau 4.2 :** L'évolution du nombre des germes revivifiables, des coliformes totaux, coliformes thermo tolérants, streptocoques fécaux et les anaérobies sulfite réductrices

Prélèvements	sites	GT à 22°C	GT à 37°C	Coliformes totaux	Coliformes thermo tolérants	Streptocoques Fécaux	ASR
1 <sup>er</sup> Prélèvement	La Rai	0	0	15	0	0	0
	Puits Oued El Maïz	7	4	12	0	0	0
	Ex. Sogidia	0	11	75	0	0	0
	BK1	0	5	1	0	0	0
	BA3	0	10	10	0	0	0
2 <sup>ème</sup> Prélèvement	La Rai	0	0	22	0	0	0
	Puits Oued El Maïz	9	3	24	0	0	0
	Ex. Sogidia	0	14	115	0	0	0
	BK1	0	2	6	0	0	0
	BA3	0	8	2	0	0	0

Le dénombrement microbien est une étape primordiale pour la détermination de la qualité des eaux de forages.

Les résultats obtenus au cours de notre analyse et qui sont représentés dans le tableau 4.2 montrent que le nombre des germes totaux dans les deux prélèvements est variable d'un site à un autre.

La numération de la flore totale n'a que peu de valeur si elle n'est pas réalisée régulièrement et à divers moments de l'année.

En effet, il n'y a pas d'indicateurs spécifiques d'un type de pollution autre que celui d'origine fécale, susceptible de contenir également des agents pathogènes.

Une eau souterraine ou une eau potable à l'abri de toute pollution apte à la consommation humaine sans traitement ou adjonction et répond à des exigences de qualité et aux normes de potabilité.

La seule présence des bactéries suffirait à donner l'alarme mais dans la plupart de ces eaux vit une flore bactérienne normale. Cette flore est relativement constante, dès son accroissement peut traduire l'apport des bactéries étrangères, une stabilité dans le dénombrement des microorganismes est un bon signe de protection (Rodier, 2009).

La quantité des coliformes totaux dans les différents prélèvements étudiés est assez variable d'un prélèvement à un autre et d'un site à un autre.

Les coliformes totaux n'indiquent pas nécessairement qu'il y a contamination surtout les eaux souterraines.

Par ailleurs, ces microorganismes survivent plus longtemps dans l'eau et résistent mieux aux procédés de traitement que les coliformes fécaux et sont utilisés comme microorganismes indicateurs d'efficacité de traitement (Rodier, 2009).

La présence des coliformes totaux avec une absence d'*E. Coli* peut être expliquée par :

- Il se peut qu'une couche de bactéries se soit formée à l'intérieur de la tuyauterie. Cette couche porte le nom de pellicule biologique.
- Il se peut que l'eau provienne d'un aquifère contenant des bactéries. Cela peut se produire quand l'eau souterraine provient d'une source peu profonde.

Les streptocoques fécaux sont absents dans les différents prélèvements, puisqu'il n'y a généralement pas de croissance des entérocoques dans un réseau de distribution.

Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris comme des témoins de contamination fécales, car tous ont un habitat fécale, leur détection témoigne généralement d'une pollution fécale récente. Ainsi, les anaérobies sulfite-réductrices sont absents dans les différents prélèvements (Rodier, 2009).

## 2. Analyses physicochimiques

Il est évident que le chimisme des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux. Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ...). Les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Le présent chapitre traite le chimisme des eaux souterraines, et nous permettra d'essayer d'expliquer le comportement, l'origine et l'évolution des éléments chimiques décrits.

L'étude se base principalement sur les informations de deux campagnes de prélèvement, à partir de 05 points d'eau répartis sur le terrain. La première établie en 2010 par les services de l'Algérienne des eaux (ADE) et analysée au laboratoire de la station de Hammam Debagh de Guelma et la deuxième faite en 2012 dans le cadre de notre projet de fin d'étude et analysée dans le même laboratoire. On a procédé à l'analyse de tous les éléments majeurs, du titre alcalimétrique complet et du titre hydrotimétrique. Ainsi que ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , et  $\text{NH}_4^+$ ).

Les paramètres physiques ont été mesurés sur le terrain à savoir (Température, conductivité électrique, salinité, teneur en sel dissous, pH, et turbidité).

Le plan d'échantillonnage a été effectué de façon à quadriller au maximum l'ensemble de la région d'étude.

### 2.1. Paramètres physiques

#### 2.1.1. Température

Les températures des eaux mesurées sur le terrain ne montrent pas de variations importantes quel que soit la période de mesure (2010 ou 2012). L'intervalle de variations pour les deux campagnes est très restreint entre 17 et 20°C.

#### 2.1.2. Conductivité électrique CE

Elle dépend de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les valeurs de la conductivité électrique montrent que tous les forages ne dépassent pas la norme recommandée relative à la potabilité des eaux, pendant les deux périodes de prélèvement 2010 et 2012. Les valeurs enregistrées varient entre 954 et 1247 ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

### 2.1.3. La salinité

D'après les résultats obtenus durant la période d'étude, on remarque que les valeurs de la salinité sont au-dessous de la norme pour les deux périodes d'étude, oscillant entre 0,3 et 0,74mg/l.

### 2.1.4. La teneur en sel dissous

En ce qui concerne la teneur en sel dissous dans l'eau, exprimé en mg/l, les valeurs enregistrées pendant l'année 2010 s'échelonnent entre une valeur minimale de 481mg/l au niveau du forage BA3 et une valeur maximale de 669mg/l au niveau du forage la rail.

Pour l'année 2012 on a enregistré une valeur maximale de 584mg/l au niveau du forage Ex.Sogidia et une valeur minimale de 477mg/l au niveau du BK1. Ces valeurs sont inférieure à la norme 1000 mg/l donc il n'y a aucun risque pour la santé des consommateurs.

### 2.1.5. La turbidité

Les résultats des turbidités trouvées indiquent que ces eaux ne sont pas troubles avec des valeurs comprises entre 0,18 NTE et 1,42 NTE pour l'année 2010 et de 0,19 à 0,40 NTE pour l'année 2012. Ce qui explique que ces eaux ne sont pas influencées par les effets de la turbidité concernant une réduction de la luminosité, l'augmentation de la température et la sédimentation.

### 2.1.6. Potentiel d'hydrogène (PH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les mesures du pH montrent que tous les forages se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité. Pendant la période 2010 les valeurs de pH oscillent entre 7,1 et 7,5, alors qu'en période 2012 elles varient entre 6,9 et 7,12. Ceci indique que les valeurs varient peu et sont proches des de la neutralité.

## 2.2. Les paramètres chimiques

### 2.2.1. Les éléments majeurs

#### 2.2.1.1. Calcium

La plupart des forages présentent des teneurs qui ne dépassent pas la norme de potabilité des eaux (270 mg/l). Les valeurs les plus élevées avec un maximum de 154 mg/l sont observées pendant la période 2010. Pendant la période d'étude 2012 les valeurs oscillent entre 116 et 119mg/l. la provenance probable du calcium dans la région c'est la dissolution des formations carbonatées (figure4.1).

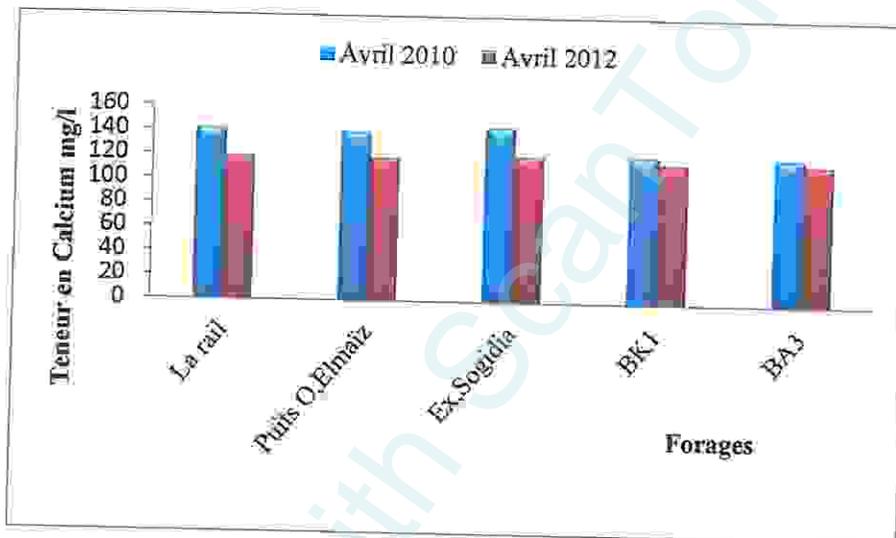


Figure4.1 : Evolution des teneurs en calcium périodes Avril (2010-2012)

#### 2.2.1.2. Le magnésium ( $Mg^{2+}$ )

Les ions ( $Mg^{2+}$ ) proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomite). La moyenne enregistrée pendant la période 2010 est presque égale à celle de la période 2012 ceci montre que Les variations de concentration sont très faibles. L'évolution du magnésium est très différente par rapport à celle du ( $Ca^{2+}$ ), car ce dernier possède de très fortes teneurs provenant d'une origine mentionnée plus haut (figure4.2).

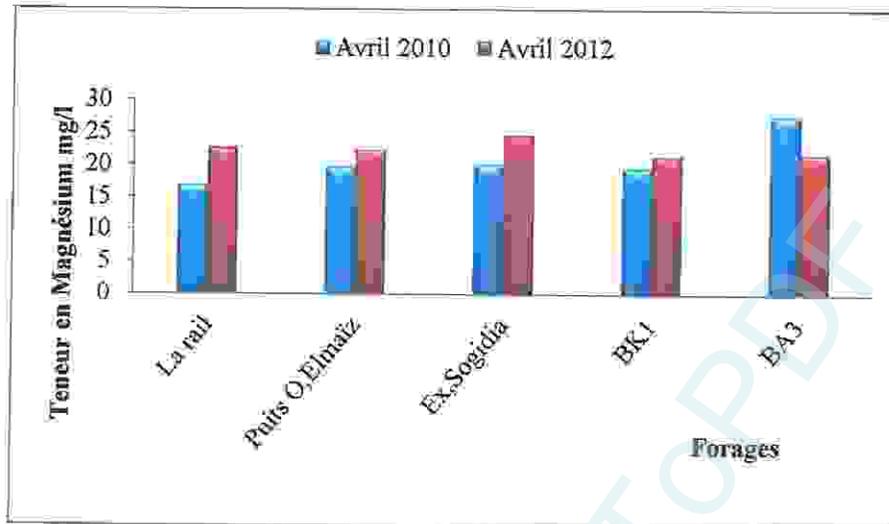


Figure4.2 : Evolution des teneurs en Magnésium périodes Avril (2010-2012)

### 2.2.1.3. Le sodium ( $\text{Na}^+$ )

Les teneurs en sodium sont d'origine des marnes gypsifères, qui constituent le substratum, ainsi que les dépôts évaporitiques qui se localisent dans la région d'étude et ceci par des phénomènes de lessivage, d'évaporation et par échange de base.

L'écoulement a favorisé l'acquisition de ces teneurs, car les eaux souterraines, qui s'écoulent, se chargent progressivement au fur et à mesure que l'on se déplace vers la zone d'accumulation.

Les concentrations varient entre 57,27 et 101,8 mg/l pour les deux périodes. On signale que tous les forages et pendant les deux périodes ne dépassent pas les normes de potabilité (figure4.3).

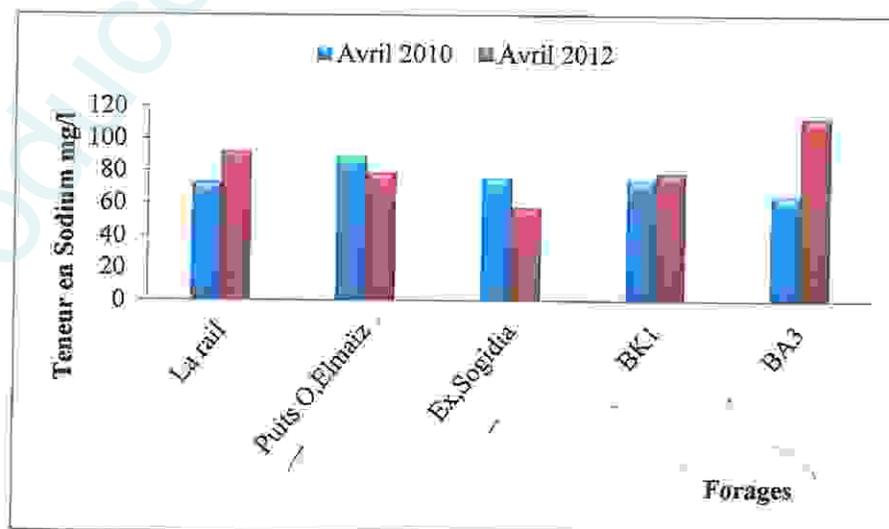


Figure4.3 : Evolution des teneurs en Sodium périodes Avril (2010-2012)

#### 2.2.1.4. Les chlorures (Cl<sup>-</sup>)

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution. Les teneurs enregistrées, pendant toutes les deux périodes d'observation, montrent des valeurs inférieures à la norme de potabilité de l'OMS fixée à 250 mg/l. On signale que le forage Oued El Maiz a légèrement dépassé cette norme pendant la période 2010 avec une valeur de 269.8mg/l (figure 4.4). Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines :

- Les formations argilo – marneuses grises ou jaunes parfois gypseuses du Mio-Plio-Quaternaire qui couvrent la zone d'étude ;
- Les dépôts évaporitiques;
- Le déversement des eaux usées dans la plaine.

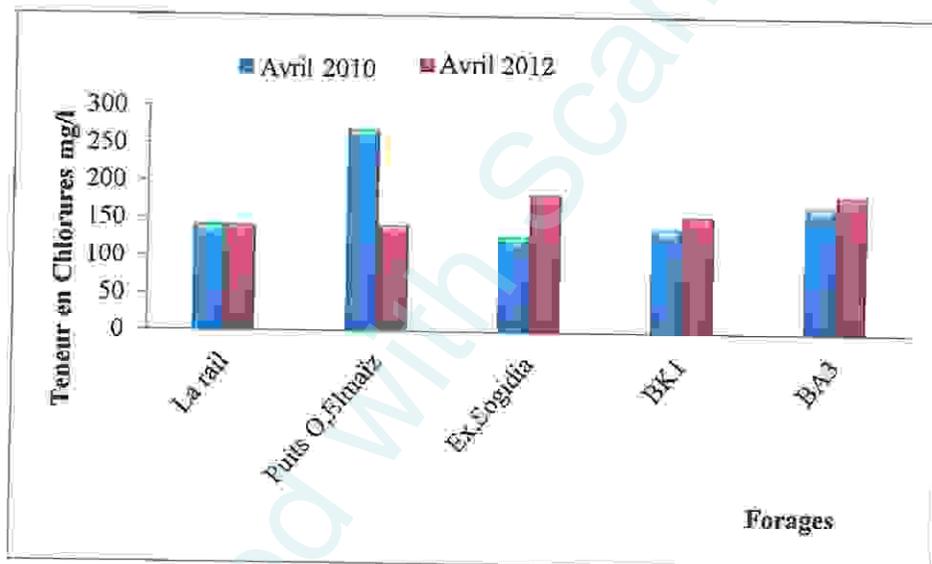
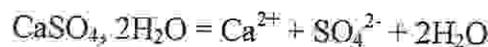


Figure 4.4 : Evolution des teneurs en Chlorures périodes Avril (2010-2012)

#### 2.2.1.5. Les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

La présence des sulfates dans l'eau est liée au lessivage des dépôts évaporitiques, selon la relation:



Les eaux analysées sont riches en sulfates mais par comparaison à la norme fixée 250mg/l comme valeur indicative de l'OMS n'ont pas dépassé cette norme. et ceci pendant les deux périodes d'étude (figure 4.5).

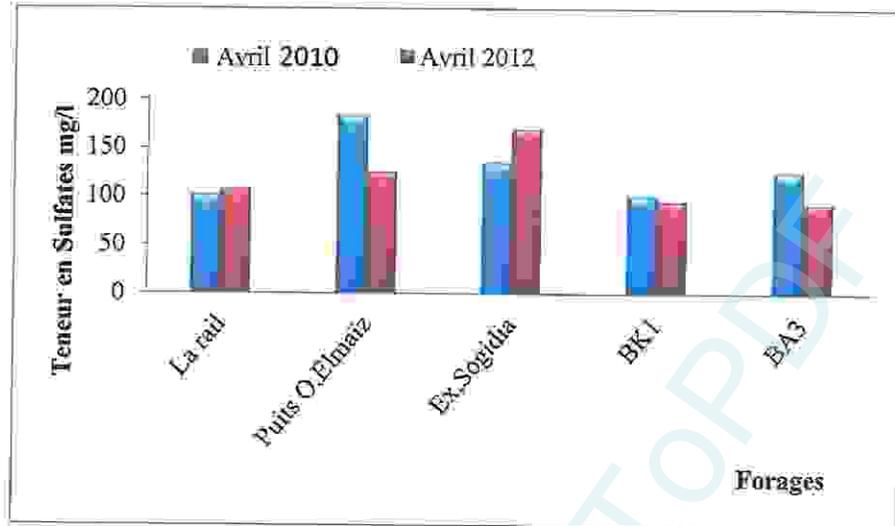
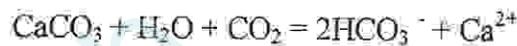


Figure4.5 : Evolution des teneurs en Sulfates période Avril (2010-2012)

#### 2.2.1.6. Les bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées qui bordent la nappe, selon la réaction suivante :



Les fortes teneurs sont enregistrées pendant la période 2010 avec un maximum de 283,04 mg/l (forage Oued El Maiz), suite à la dissolution des calcaires. Le reste des concentrations varient faiblement pour les deux périodes et restent au-dessous de la norme (250mg/l) (figure4.6).

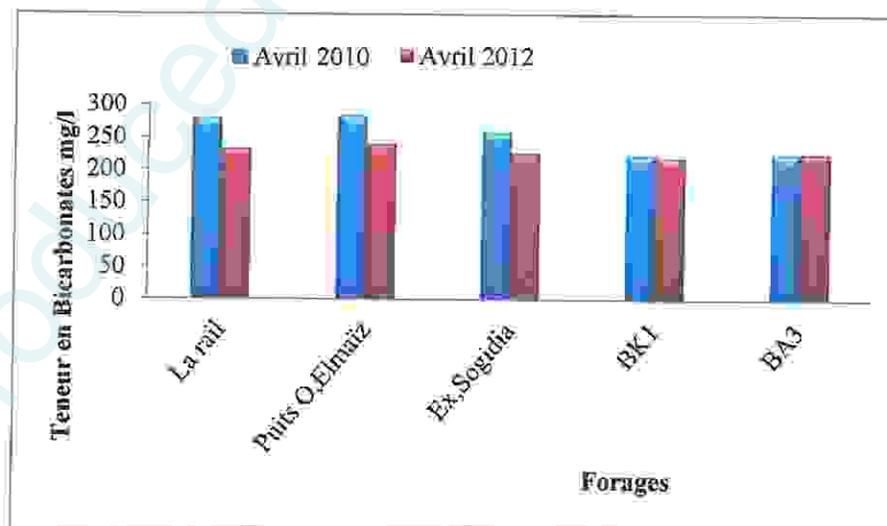


Figure4.6 : Evolution des teneurs en Bicarbonates périodes Avril (2010-2012).

### 2.2.1.7. TH

La dureté d'une eau est donnée par la concentration en ions alcalino-terreux (essentiellement  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$ ), leur présence dépend de la nature des terrains traversés par les ressources en eau utilisées, elle est donc différente selon les caractéristiques hydrogéologiques de chaque région et peut ainsi varier au cours de l'année de façon naturelle.

D'après nos résultats, on a constaté que le titre hydrotimétrique (TH) se trouve avec des valeurs faible au niveau de tous les forages dont on remarque qu'à l'année 2010 la valeur la plus élevées était au niveau du forage puits Oued El Maïz 48<sup>0</sup>F ensuite elle a connu une diminution légère jusqu'à ce qu'elle atteint 44<sup>0</sup>F à l'année 2012

La même remarque pour les autres forages qui ont connu aussi une diminution légère de l'année 2010 à l'année 2012.

La réglementation ne prévoit pas de seuil maximal. Les eaux très dures (au-delà de 30<sup>0</sup>F) favorisent la formation de tartre alors que les eaux très douces (moins de 10<sup>0</sup>F) peuvent provoquer des phénomènes de corrosion. Il est donc admis qu'une dureté comprise entre 15 et 20<sup>0</sup>F est idéale.

Ces résultats permettent de déduire que les eaux de ces forages contiennent une quantité remarquable de TH c'est-à-dire toutes les valeurs sont au-delà de 30<sup>0</sup>F et ce qui rend ces eaux très dure.

### 2.2.1.8. TA et TAC

Le titre alcalimétrique complet TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et hydrogencarbonate. Lorsque les valeurs des résultats sont comprises entre 100 et 200mg/l on peut dire que les terrains parcourus sont donc calcaire, par ailleurs, le TAC dépend des rejets urbains ou industriels, comme il peut donner une indication sur le degré de l'oxydation des composés organiques.

Les valeurs retrouvées du titre alcalimétrique complet nous a donné une idée sur la teneur en carbonate qui est presque constante durant les deux années 2010 et 2012.

Pour l'année 2010 les valeurs ont été un peu élevées avec une moyenne de 23.2mg/l au niveau du forage puits Oued Elmaïz. Les valeurs de l'année 2012 ont connu une diminution légère jusqu'en arrivant à une valeur de 18mg/l au niveau du forage Ex.Sogidia.

### 2.2.1.9. Résidus sec

La détermination des résidus secs permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. Pour des raisons de saveur, l'OMS recommande une valeur limite de 1000mg/l pour les eaux destinées à la consommation humaine. On remarque d'après les résultats trouvés que les valeurs du résidu sec en mg/l pour les cinq forages sont pratiquement

inférieures aux normes de l'OMS, d'une valeur de 729,5mg/l à 871mg/l pour l'année 2010 et de 567,5mg/l à 797,5mg/l, ce qui explique la bonne acceptabilité pour la consommation.

#### 2.2.1.10. Matières organiques

La quantité de la matière organique oxydable présente dans l'eau peut être évaluée par le test de l'oxydabilité au permanganate de potassium

Nos résultats révèlent que la matière organique est absente au niveau de tous les forages et pendant les deux périodes, c'est-à-dire absence de toute matière vivante ou issue d'une matière qui a été vivante, et/ou contient du carbone Un végétal, un excrément, mais aussi des hydrocarbures et des substances issues de la chimie (pesticides, solvants).

### 2.2.2. Détermination des principaux facies chimiques

#### 2.2.2.1. Facies chimiques

Les balances ioniques basées sur le principe de l'électroneutralité de l'eau (SCHOELLER, 1962) sont satisfaisantes puisqu'elles ne dépassent pas dans l'ensemble des cas le seuil de 5%.

D'après la formule ionique On note la prédominance du faciès Chloruré-calcique pour les deux périodes de prélèvement. (Tableau4.3).

**Tableau 4.3 :** Détermination du faciès chimique des eaux de la nappe par la formule ionique

Période	Points d'eau	Formule ionique	Faciès chimique
Avril 2010	Puits Oued El Maïz BK1 BA3  La rail Ex Sogidia	$rCl^-$ , $rHCO_3^-$ , $rSO_4^{--}$ , $rCa^{++}$ , $rNa^+$ , $rMg^{++}$	Chloruré -calcique
Avril 2012	La Rail Puits Oued El Maïz Ex, Sogidia BK1 BA3	$rCl^-$ , $rHCO_3^-$ , $rSO_4^{--}$ , $rCa^{++}$ , $rNa^+$ , $rMg^{++}$	Chloruré- calcique

### 2.2.2.2. Représentation graphique des faciès hydrochimiques

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper et à celui de Schoeller-Berkaloff. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes, conçu par Roland Simler (Laboratoire d'hydrogéologie, Université d'Avignon, 2004).

#### ➤ Diagramme de PIPER

Ce type de diagramme permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Les nuages de points concentrés dans un pôle représentent pour les différents échantillons la combinaison des éléments cationiques et anioniques.

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants.

L'interprétation des résultats d'analyses (figure 4.7 et figure 4.8) pour toutes les périodes d'observation (2010-2012) a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux souterraines de la nappe profonde et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès.

Le faciès prédominant pour les deux périodes c'est le chloruré calcique.

Ce faciès caractérise la totalité des forages de la zone d'étude. Les chlorures ont pour origine les formations salifères, par contre le calcium des forages provient de la nappe des travertins, qui alimente la nappe de la haute terrasse.

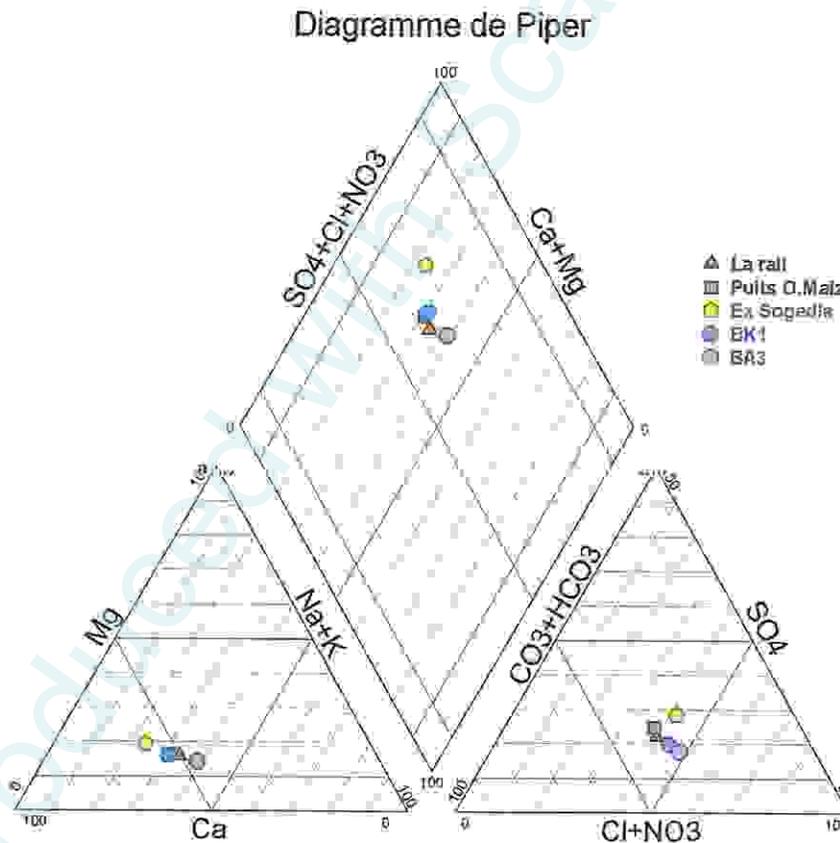


Figure 4.7 : Diagramme de Piper période Avril 2012

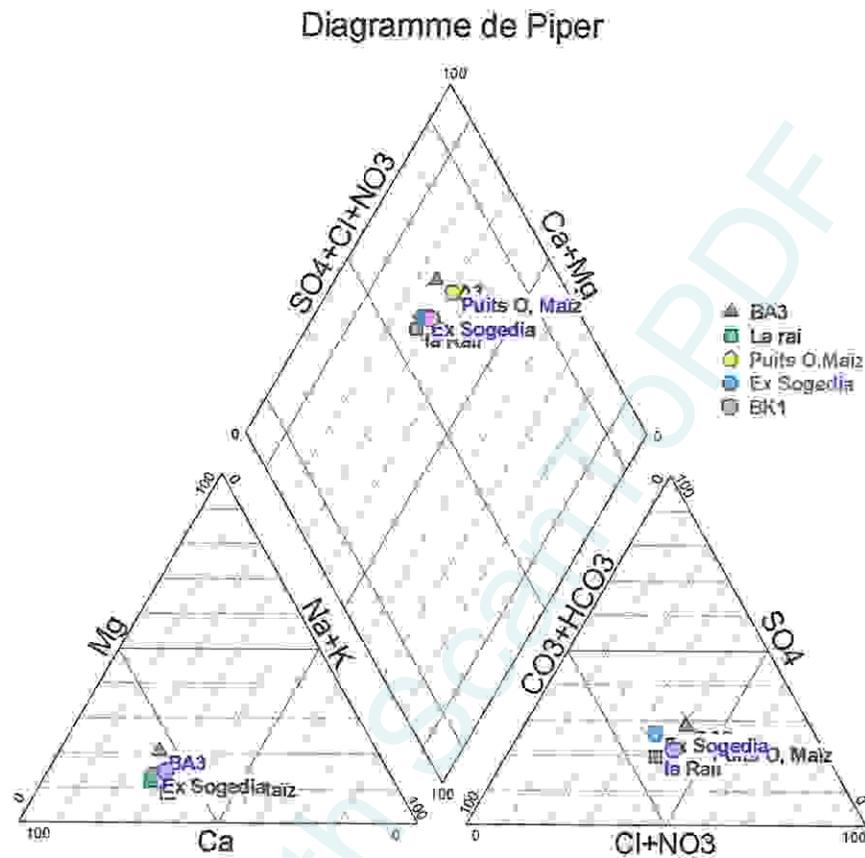


Figure 4.8 : Diagramme de Piper période Avril 2010

#### ➤ Diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF

Le diagramme de Schoëller- Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisées parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

Ce diagramme vient pour confirmer le faciès déterminé déjà par le diagramme précédent de Piper. Le diagramme tracé pour les deux périodes d'étude (2010-2012), confirme la dominance du faciès chloruré calcique, permettant de dire que la minéralisation des eaux est liée aux ions  $\text{Cl}^-$  et  $\text{Ca}^{2+}$  (figure 4.9 et figure 4.10).

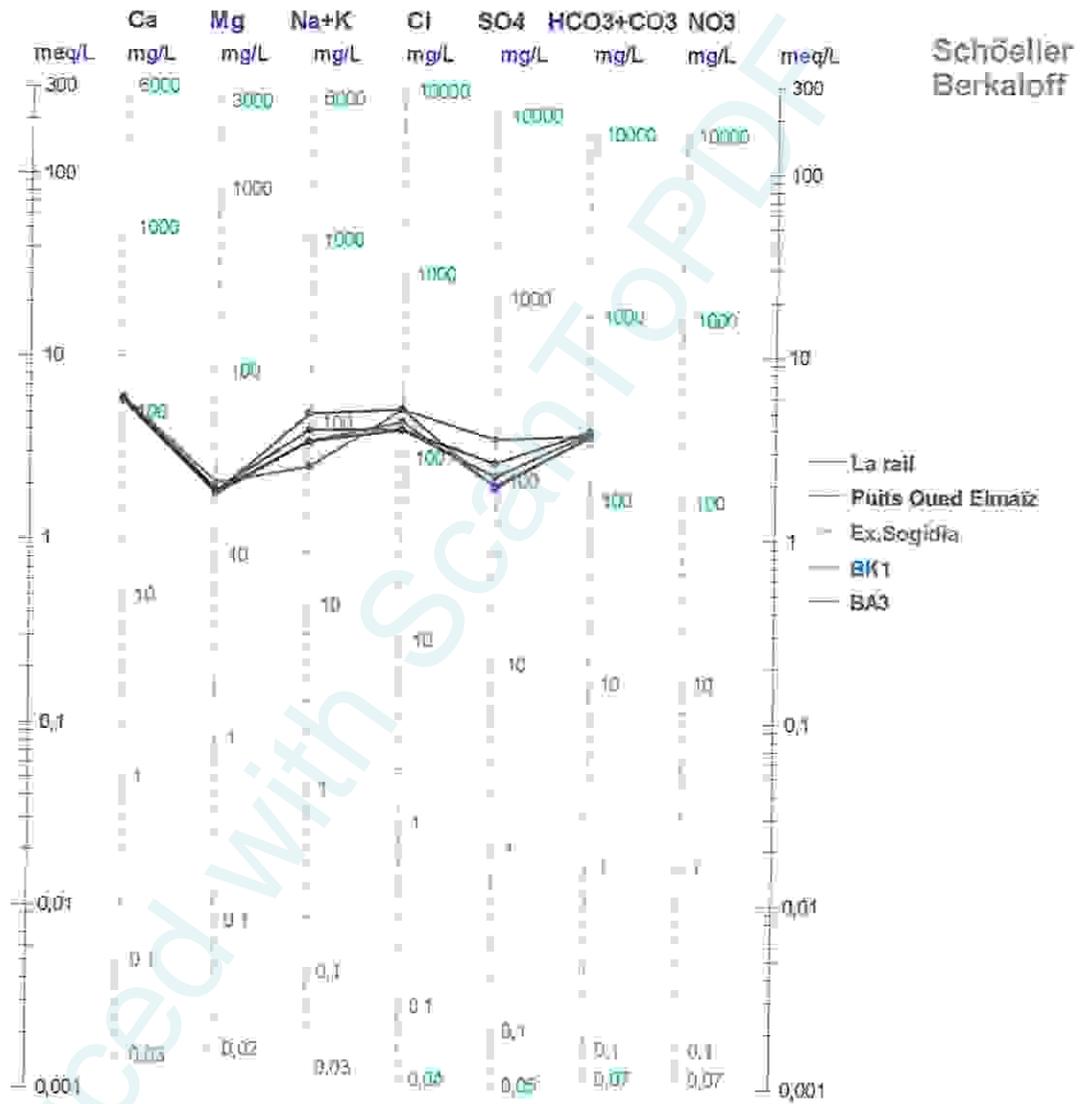


Figure 4.9 : Diagramme de Scheoller période Avril 2012

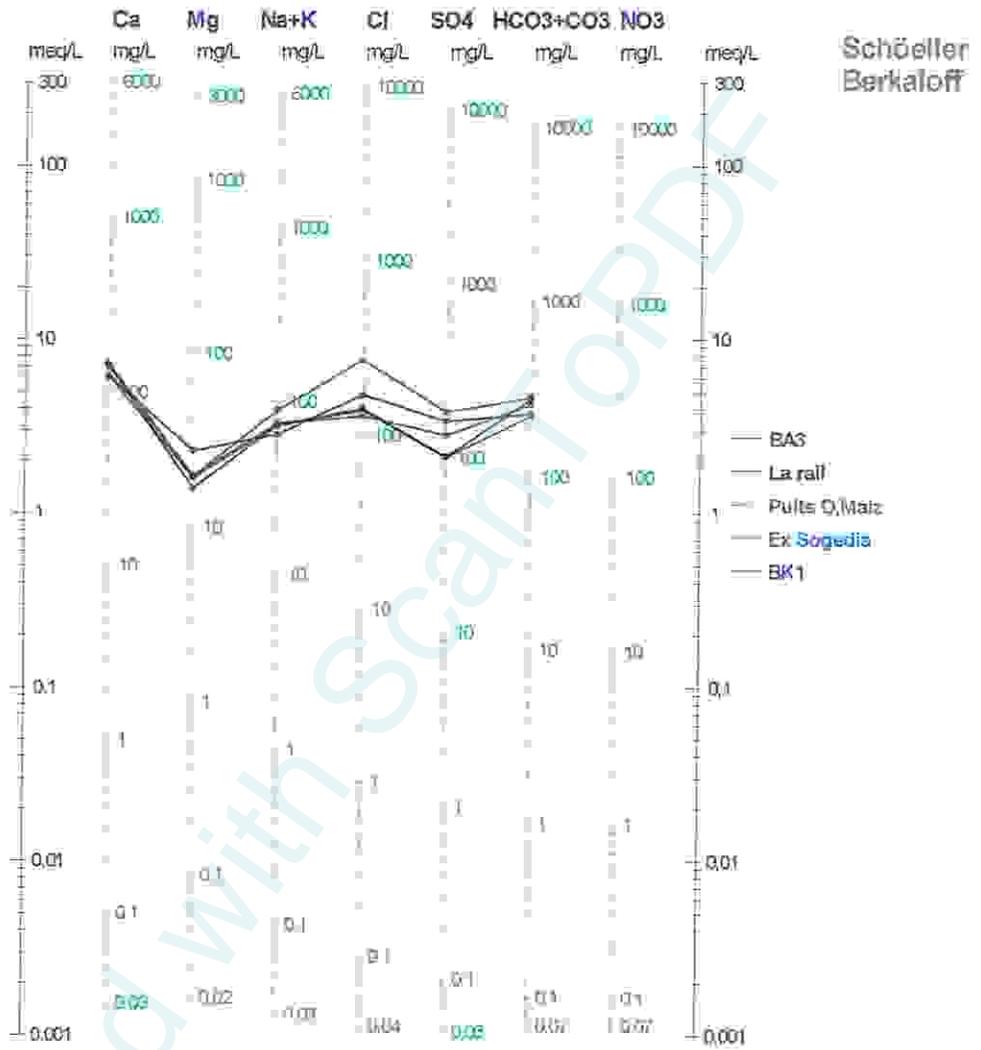


Figure 4.10 : Diagramme de Schöeller période Avril 2012

D'une manière générale, les méthodes graphiques illustrent parfaitement les différents faciès d'eaux et les différents groupes d'eaux mais ne permettent pas une identification parfaite des relations qui peuvent exister soit entre les différents groupes d'eaux ou faciès chimiques et les différents paramètres les caractérisant.

### 2.2.3. Impact des activités agricoles

Dans cette partie nous avons essayé de voir l'impact des activités agricoles sur la nappe souterraine captée par des forages dans le périmètre irrigué du secteur Boumahra – Guelma et ceci par le dosage des éléments : nitrates, nitrites et ammonium.

#### 2.2.3.1. Nitrate

La présence de Cet élément polluant dans l'eau peut avoir plusieurs origines : industrielle, agricole, urbaine mais c'est principalement les engrais et autres produits chimiques utilisés pour l'agriculture qui sont visés aujourd'hui.

L'interprétation de la figure4.11 montre que les teneurs enregistrées en nitrates pendant les deux périodes évoluent de la même manière, cependant, on peut dire que lors des campagnes Avril 2012 les concentrations sont plus faibles que lors de celle d'Avril 2010. Ces teneurs restent dans l'ensemble largement au-dessous de la norme de potabilité.

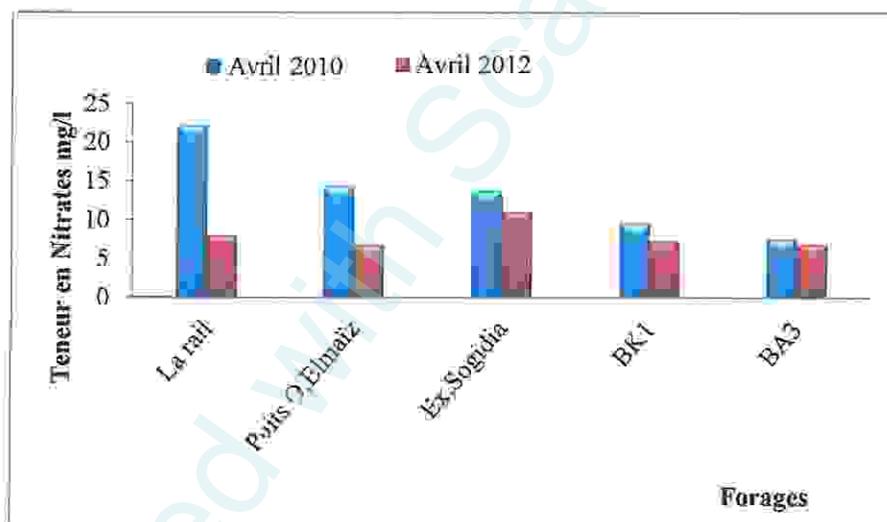


Figure4.11 : Evolution des teneurs en Nitrate périodes Avril (2010-2012)

#### 2.2.3.2. Nitrite

Ces concentrations proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque (la nitrification n'étant pas conduite à son terme), soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiant. Les eaux de ces forage ont des valeurs de nitrites oscillant entre 0mg/ et 0.009mg/l pour l'année 2010 et de 0mg/l à 0.002mg/ pour l'année 2012 c'est à dire ces concentration sont approximativement nulles et ne dépassent pas la norme (0,1mg/l) au niveau de tous les forages (figure4.12).

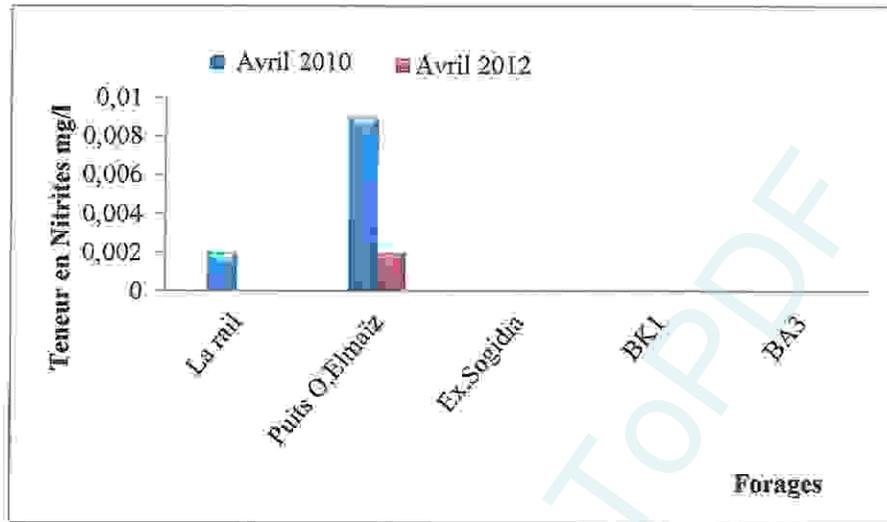


Figure4.12 : Evolution des teneurs en Nitrites périodes Avril (2010-2012)

### 2.2.3.3. Ammonium

Durant la période d'étude, on a constaté que l'ammonium était nul au niveau de tous les forages et durant les deux années. La teneur d'ammonium la plus élevée est enregistrée au niveau du forage puits Oued El Maïz avec une valeur de 0,014mg/l durant l'année 2010, cette valeur n'influence pas la qualité de l'eau parce qu'elle ne dépasse pas la norme ( $< 0,2 \text{ mg/l}$ ) (figure4.13).

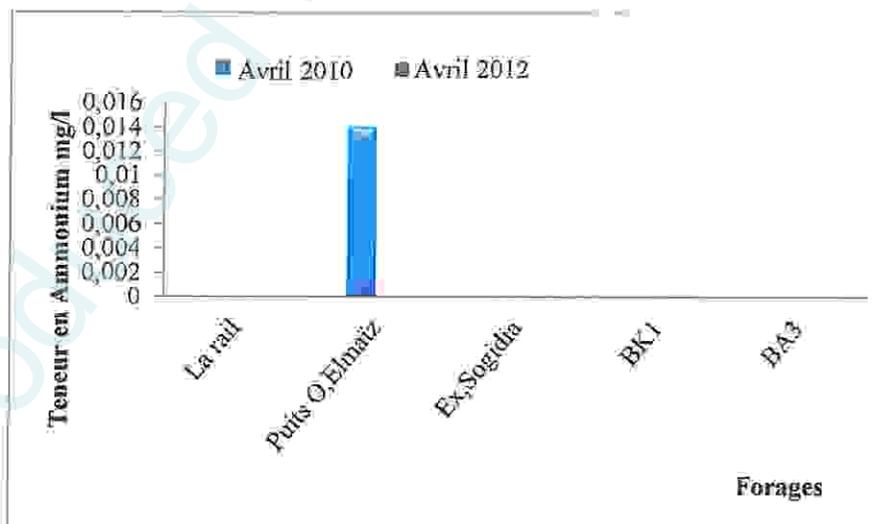


Figure4.13 : Evolution des teneurs en Ammonium périodes Avril (2010-2012)

## 2.2.4. Pollution métallique

### 2.2.4.1. Le fer

C'est le quatrième élément abondant dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. On le trouve surtout sous forme  $Fe^{++}$  ou  $Fe^{+++}$ . Le fer dissous dans les eaux souterraines est sous forme réduite ( $Fe^{++}$ ), qui est soluble. Ce dernier est oxydé en  $Fe^{+++}$  par le contact avec l'oxygène de l'air, c'est pourquoi la concentration de fer dans les eaux bien aérées est rarement élevée. Le  $Fe^{+++}$  précipite sous forme d'hydroxydes insolubles dans l'eau et sont précipités ou adsorbés par les sédiments.

Lors des deux campagnes (Avril 2010 et 2012) les concentrations de fer varient de 0.01 à 0.21 mg/l. Ces concentrations sont au-dessous de la norme de la qualité des eaux de boisson, selon la directive de l'OMS 2002 (0,3mg/l) (figure4. 14).

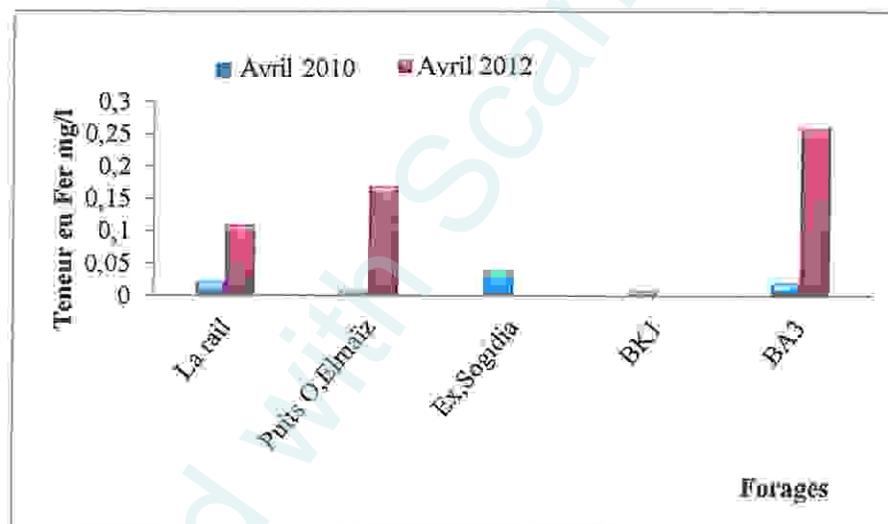


Figure4.14 : Evolution des teneurs en Ammonium périodes Avril (2010-2012)

## 2.3. Analyse statistique (application de L'ACP)

La représentation graphique des éléments chimiques a montré qu'un grand nombre de paramètres chimiques et physico-chimiques étaient significatifs, pris individuellement.

Pour expliquer l'évolution du chimisme, la plupart du temps une (ou plusieurs) liaison plus ou moins forte existe entre ces paramètres. Il est donc apparu intéressant d'essayer de traiter les données statistiquement, en utilisant une méthode d'analyse multidimensionnelle comme l'Analyse en Composantes Principales (ACP).

### ➤ Principe

Chaque échantillon d'eau d'une campagne de prélèvement constitue une unité statistique.

Les différents paramètres soumis à l'analyse constituent les variables qui caractérisent ces unités statistiques. Les deux campagnes analysées (2010-2012) ont donc été traitées statistiquement grâce à l'utilisation du logiciel SPAD V55.

Notre présente étude porte sur les éléments majeurs, qui influent sur l'évolution de la minéralisation. On a inclus la conductivité électrique, dont l'évolution dépend de cette dernière.

Une analyse en composantes principales (ACP), a été réalisée sur un tableau de données de sept (07) variables.

### ➤ Matrice de corrélation

L'examen du tableau 4.4 relatif à la matrice de corrélation permet de voir qu'il existe une corrélation entre la conductivité électrique les sulfates et les chlorures d'une part et entre le calcium et les bicarbonates d'autre part.

Tableau 4.4 : Matrice de corrélation entre les variables

	Calcium m Ca <sup>2+</sup>	Magnésium Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Chlorures Cl <sup>-</sup>	Sulfates SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CE
Calcium Ca <sup>2+</sup> mg/l	1,00						
Magnésium Mg <sup>2+</sup> mg/l	-0,37	1,00					
Na <sup>+</sup> mg/l	-0,21	-0,29	1,00				
Chlorures Cl <sup>-</sup> mg/l	0,12	0,06	0,23	1,00			
sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	0,24	0,18	-0,34	0,67	1,00		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	0,64	-0,63	0,09	0,34	0,40	1,00	
CE μ siemens /cm	-0,21	-0,07	0,10	0,74	0,71	0,29	1,00

#### 2.3.1. Analyse de l'espace des variables

Dans l'espace des variables (Figure 4.15), l'axe d'inertie principal F1 exprime 38.92% de la variance. Il est défini positivement par la conductivité électrique et par les variables Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et représente donc un axe de minéralisation.

L'axe d'inertie F2 exprime 27.35% de la variance. Il est défini positivement par le Mg<sup>2+</sup>. Cet axe F2 permet la ségrégation de la minéralisation définissant l'axe F1 en une minéralisation de type Cl<sup>-</sup>- SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dans la partie positive des deux axes F1-F2 et une

minéralisation de type  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  dans la partie négative de l'axe F2. Les deux axes F1-F2 expriment 66.27% de la variance et montre donc l'essentiel des éléments qui interviennent dans la minéralisation totale dissoute.

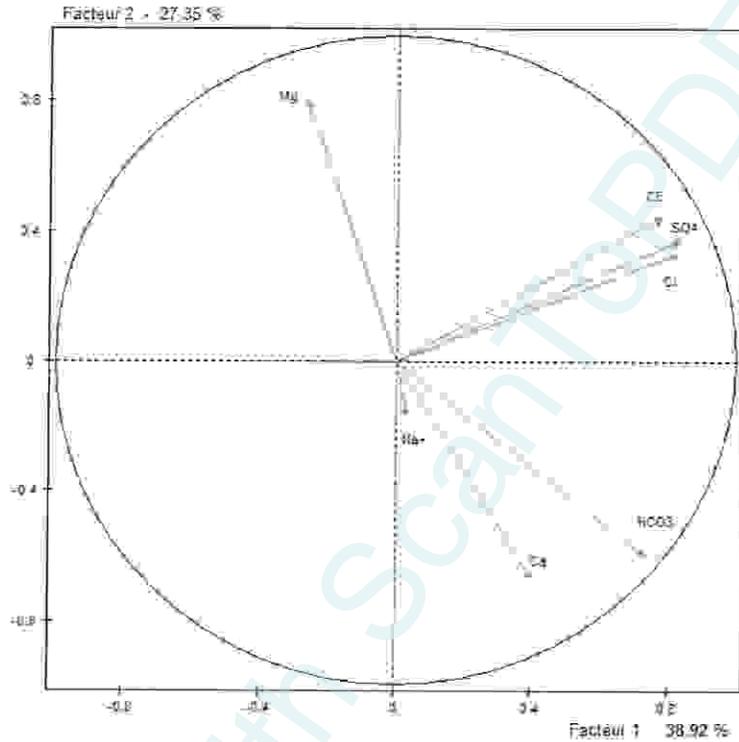


Figure 4.15 : Espace des variables de l'ACP globale

### 2.3.2. Analyse de l'espace des individus

Dans l'espace des unités statistiques (figure 4.16), ces deux axes F1-F2 définissent un nuage de points dans l'extrémité positive de l'axe F1 et celle négative de l'axe F2. A partir de ce nuage de points se dessine un pôle franchement chloruré sodique. L'existence de ce pôle, n'est pas en contradiction avec les résultats donnés par le diagramme de Piper.

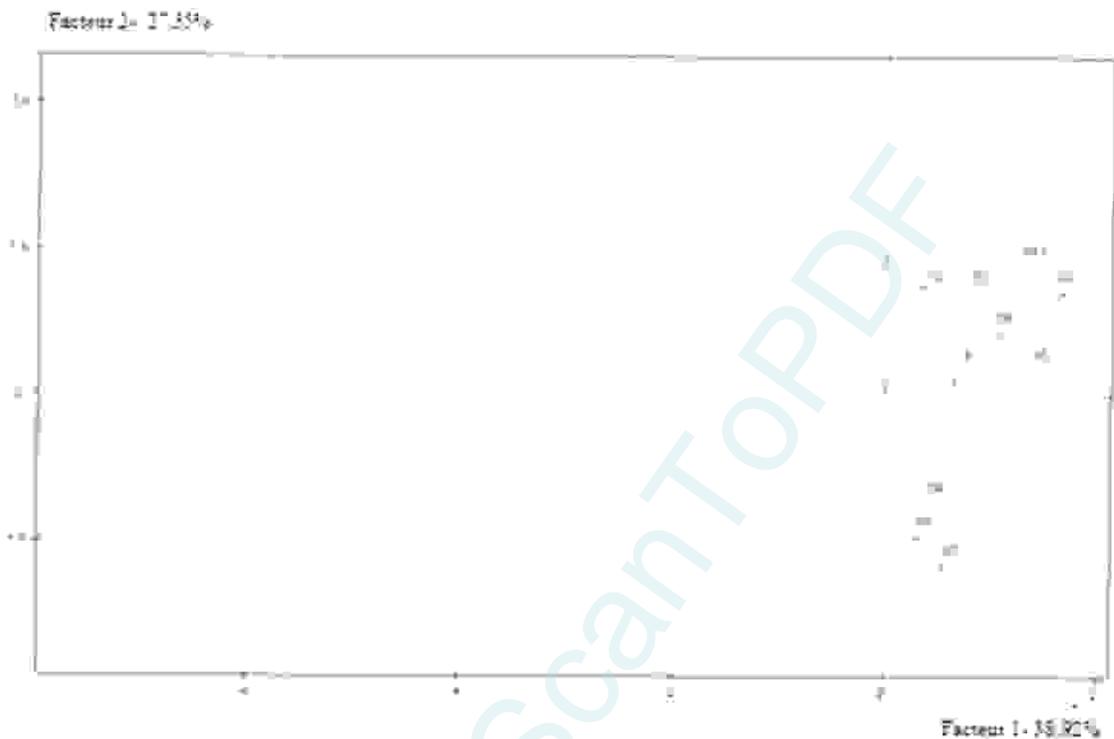


Figure 4.16 : Espace des individus

#### 2.4. Indice de saturation

D'après la loi d'action de masse, pour une solution aqueuse en équilibre avec un minéral, le produit d'activité ionique du minéral est égal à la constante d'équilibre thermodynamique. Le degré de saturation d'une eau peut être représenté par un indice de saturation (SI) qui est le logarithme du quotient du produit d'activité ionique IAP divisé par la constante d'équilibre (K):

$$IS = \log (IAP/K_{sp})$$

L'indice de saturation atteint une valeur de zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide. Un indice de saturation positif indique une sursaturation, et un indice négatif une sous-saturation vis-à-vis des minéraux.

##### 2.4.1. Application aux eaux de la région étudiée

Les résultats obtenus sont issus des traitements réalisés en utilisant le logiciel FREEQ contenu dans le programme diagramme de l'université d'Avignon (France). Les températures de calculs ont été ramenées à 25 °c dans le but d'harmoniser les calculs des indices de saturation.

Dans le but de comparer les résultats et de voir l'évolution de cet indice dans la zone d'étude, nous avons pris des valeurs établies en 2010 par l'algérienne des eaux de la wilaya de Guelma. (Tableau4.5) et celles établies en 2012 dans le cadre de notre projet de fin d'étude.

Les résultats indiquent la présence de plusieurs minéraux particulièrement : l'anhydrite, le gypse, la calcite et la dolomite dont les indices de saturation varient dans un faible intervalle.

#### 2.4.2. Evolution des valeurs des indices de saturation dans les eaux de la région

Les minéraux carbonatés présentent des degrés de saturation différents (figure4.17). En effet, celui de la dolomite varie de -1,07 à -0,38 en 2010 et de -1,42 à -1,08 en 2012. Toutes les analyses présentent une sous-saturation vis-à-vis de la dolomite, Ceci entraîne une dissolution qui enrichit les eaux avec les bicarbonates de magnésium. Sauf pour le cas du forage Ex Sogedia qui a une valeur positive de 0,38 en 2010. La calcite varie de 0,20 à 0,79 pour la période 2010 ce qui traduit une précipitation de cette dernière, d'où une sursaturation en cet élément avec enrichissement possible des eaux en bicarbonate de calcium, sauf pour le forage BA3 qui présente une valeur négative de -0,02. En 2012 les valeurs varient de -0,23 à -0,06 ce qui représente une sous-saturation en calcite avec dissolution de cette dernière.

Les minéraux évaporitiques montrent des degrés de saturation plus faibles que les minéraux carbonatés (figure4.18). Le gypse enregistre des indices qui varient de -1,46 à -0,12 en 2010 et de -1,40 à -1,13 en 2012. L'indice de saturation est négatif pour toutes les analyses, ce qui traduit une sous saturation s'expliquant par une dissolution qui enrichit les eaux en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ .

L'anhydrite dont l'indice varie de -1,70 à -1,28 en 2010 et de -1,64 à -1,36 en 2012, présente des valeurs négatives pour toutes les analyses, ce qui indique une sous saturation augmentant ainsi la minéralisation des eaux.

L'étude comparative de l'indice de saturation des différents minéraux dans l'eau pour les périodes 2010 et 2012 indique que seuls les minéraux carbonatés ont tendance à atteindre l'équilibre, en particulier pendant la période 2010. Par contre, les minéraux évaporitiques sont toujours à l'état de sous-saturation, malgré les fortes concentrations qu'ils acquièrent.

Tableau4.5 : Valeurs de l'indice de saturation.

Nom de Forage	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	Anhydrite	calcite	dolomite	gypse	Anhydrite	calcite	dolomite	gypse
La rail	-1,50	0,30	-0,63	-1,26	-1,55	-0,22	-1,42	-1,32
Puits O.El Maiz	-1,28	0,20	-0,73	-1,04	-1,50	-0,02	-1,08	-1,26
Ex Sogedia	-1,37	0,79	0,38	-0,12	-1,36	-0,23	-1,43	-1,13
BK1	-1,70	0,30	-0,67	-1,46	-1,61	-0,11	-1,23	-1,37
BA3	-1,63	-0,02	-1,07	-1,38	-1,64	-0,06	-1,16	-1,40
Indice de saturation calculé 2010					Indice de saturation calculé 2012			

L'observation du tableau précédent montre des indices de saturation inférieurs à l'unité pour Anhydrite et le gypse, ce qui indique une dilution. (Les figures 4.17 et 4.18) donnent un aperçu sur l'évolution des indices de saturation au cours des deux périodes considérées.

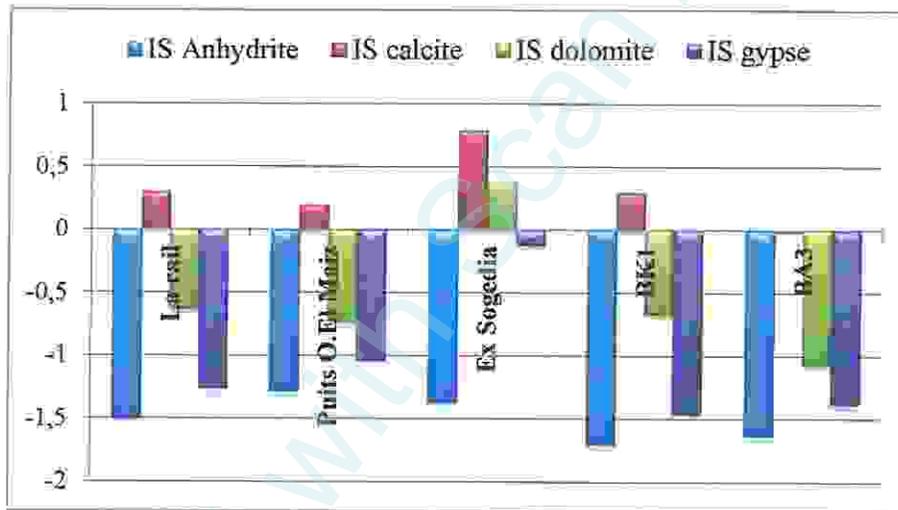


Figure4.17 : Évolution des indices de saturation dans les eaux de la région (année2010).

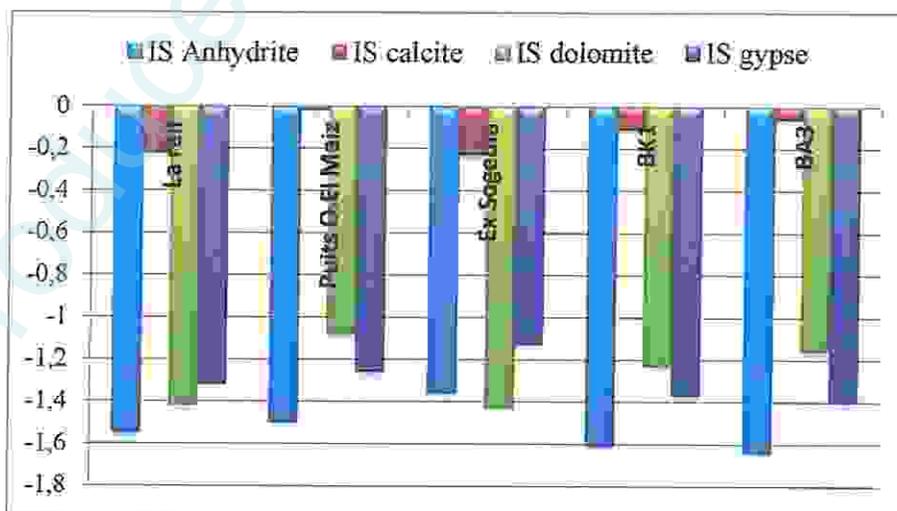


Figure4.18 : Évolution des indices de saturation dans les eaux de la région (année2012).

Les résultats des traitements physico-chimiques (éléments majeurs et paramètres physiques) comparativement pour les périodes Avril 2010 et 2012 montrent que les eaux de forages du secteur Boumahra Guelma sont de faciès prédominant Chloruré calcique, ce qui a été confirmé par la méthode graphique des diagrammes et l'étude statistique (ACP). Ce faciès a pour origine principale le lessivage des formations aquifères traversées.

Le dosage des nutriments a montré que la nappe profonde est bien protégée contre toutes pollutions provenant des activités agricoles.

Les teneurs de l'élément fer dans les eaux de forage s'avèrent au-dessous des normes de potabilité pour les deux périodes.

En effet, la qualité des eaux de la nappe profonde analysées dans ce secteur pour les deux périodes d'étude dépend de l'aquifère où elles circulent, ainsi on peut dire que ces dernières sont de bonne qualité.

Le calcul de l'indice de saturation, nous a permis de traiter l'aspect spéciation, nous remarquons que les valeurs obtenues, indiquent soit une sous saturation vis-à-vis de l'anhydrite, du gypse et de la dolomite soit une sur saturation de la calcite pour la période 2010. Ces variations constituent un accélérateur du processus de chimisme des eaux.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

Produced with  
Scantopdf

## Conclusion Générale

La présente étude, qui a porté sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages du périmètre irrigué secteur Guelma - Boumahra, a abouti aux conclusions suivantes :

La plaine de Guelma est soumise à un climat méditerranéen de type subhumide, avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et humide. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 649,7 mm et la température moyenne interannuelle est de 17,51°C.

L'analyse bactériologique effectuée confirme qu'il n'y a aucun risque ou danger menaçant la santé des populations et les divers domaines qui les utilisent du fait qu'il y a une absence totale de toute sorte de germes totaux, des coliformes fécaux, et surtout l'absence des ASR.

L'étude chimique a été réalisée afin de caractériser la qualité des eaux souterraines, et en conséquent les facteurs naturels qui influent sur cette qualité. Plusieurs modes et outils d'interprétation ont été utilisés (cartographie, diagrammes, statistiques, informatique, etc.), qui ont montré que Les eaux de la région d'étude sont caractérisées par un faciès chloruré-calcique pour les deux périodes de prélèvement (2010-2012), marquant ainsi l'hétérogénéité de la lithologie.

En effet la répartition spatiale des éléments chimiques a confirmé que l'origine de ce faciès est fortement liée à la nature lithologique de la nappe. La dissolution des formations carbonatées et évaporitiques est à l'origine de cette distribution.

Le calcul des indices de saturation montre que, pour l'ensemble, les eaux restent sous saturées vis-à-vis du gypse, de l'anhydrite, de la dolomite et de la calcite sauf que ces eaux sont en sursaturation par rapport à la calcite et cela pour la période 2010.

Ainsi l'analyse physico chimique effectuée confirme aussi que les teneurs des éléments majeurs sont conditionnées et n'ont pas dépassé la norme de potabilité selon l'OMS.

A la lumière de ces résultats nous pouvons conclure que ces eaux sont potables et destinées à la consommation humaine sans risque sur la santé de la population.

# ANNEXES

Produced with ScantOPDF

**I. Composition des milieux de culture et des réactifs****➤ Formule des milieux de cultures****1- Gélose lactosée au TTC et à l'heptadécylsulfate de sodium : Milieu de base**

Lactose	20 g
Peptone	10 g
Extrait de Levure	06 g
Extrait de viande	05 g
Bleu de bromothymol	0,05 g
Agar agar	15 à 25 g / l
Eau distillée	1000 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par flacon.

PH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

**2- Solution TTC**

Chlorure de 2,3,5-triphényltétrazolium (TTC)	0,05 g
Eau distillée stérile	100 ml

**3- Solution d'heptadécylsulfate de sodium**

Heptadécylsulfate de sodium (Tergitol 72)	0,2 g
Eau distillée stérile	100 ml

**4- Milieu complet**

Milieu de base	100 ml
Solution TTC	05 ml
Solution d'heptadécylsulfate de sodium	05 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par flacon.

PH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

**5- Milieu de SLANETZ et BARTLEY. Milieu de base**

Tryptose	20,0 g
Extrait de Levure	05,0 g
Glucose	02,0 g
Hydrogénophosphate dipotassique (K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> )	04,0 g
Azoture de Sodium (NaN <sub>3</sub> )	0,4 g
Agar - Agar	08 à 18 g
Eau distillée	1000 ml

Dissoudre les ingrédients dans l'eau bouillante jusqu'à dissolution complète.

#### 6- Solution TTC

Chlorure de 2,3,5-triphényltétrazolium	01 g
Eau	100 ml

Dissoudre l'indicateur dans l'eau par agitation. Stériliser par filtration à 0,2 µ.

#### 7- Milieu Complet

Milieu de base	1000 ml
Solution de TTC	10 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

Après refroidissement à 50 ou 60°C, ajouter la solution TTC.

Ajuster si nécessaire le pH à l'aide d'une solution de carbonate de sodium (100g/l) ou d'hydroxyde de sodium (40g/l) ou d'acide chlorhydrique (36,5g/l).

Les boîtes coulées peuvent être gardées au réfrigérateur pendant 2 semaines.

#### 8- Gélose à la Bile, à l'Esculine et à l'Azoture

Tryptone	17,0 g
Peptone	03,0 g
Extrait de levure	05,0 g
Bile de bœuf déshydratée	10,0 g
Chlorure de sodium (NaCl)	05,0 g
Esculine	01,0 g
Citrate d'ammonium ferrique	0,5 g
Azoture de sodium (NaN <sub>3</sub> )	0,15 g
Agar - Agar	08 à 10 g
Eau	1000 ml

Stérilisation 121°C pendant 15 minutes, répartition du milieu à raison de 225 ml par falcon.

pH final après stérilisation à 25°C : 7,2 ± 0,1

#### ➤ Réactifs

Kovacs : pour la recherche de l'indole

## II. Critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine

### ➤ L'Organisation Mondiale de la Santé

L'Organisation Mondiale de la Santé ou OMS (WHO pour World Organisation Health), à instaurer quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable. Ces lignes directrices sont les références internationales qui garantissent une eau saine et donc potable. Les dernières lignes directrices en date sont celles qui ont été prononcées par l'OMS à Genève en 1993.

### ➤ Normes de l'OMS sur l'eau potable

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

**Tableau1 : Critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine**

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobie)	Pas de contraintes
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
oxygène dissous	O <sub>2</sub>		Pas de valeur guide
Dureté	mg/l CaCO <sub>3</sub>		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H <sub>2</sub> S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Nitrate et nitrite	NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>		50 et 3 mg/l (exposition à court terme)  0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO <sub>4</sub>		500 mg/l
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l

**Tableau2** : Normes OMS de l'eau potable (AR. Du 27. 04 .1984 ; en vigueur le 15 . 07. 1985) [46]

Paramètres	Teneurs limites acceptables
Température (T°C)	25°C
pH	6,5 ~ pH ~ 9,2
Conductivité Electrique (CE)	2100 uS/cm
Chlorures	200 mg/l
Sulfates	250 mg/l
Nitrates	50 mg/l
Sodium	150 mg/l
Potassium	12 mg/l
Magnésium	50 mg/l
Calcium	270 mg/l

**Tableau3** : Paramètres microbiologiques [47]

	Norme de l'OMS	Norme de l'UE
<i>Escherichia coli</i>	Non mentionnée	0 in 250 ml
Enterococci	Non mentionnée	0 in 250 ml
<i>Pseudomonas Aeruginosa</i>	Non mentionnée	0 in 250 ml
<i>Clostridium Perfringens</i>	Non mentionnée	0 in 100 ml
bactérie coliforme	Non mentionnée	0 in 100 ml
Nombre de colonie à 22oC	Non mentionnée	100/ml
Nombre de colonie à 37oC	Non mentionnée	20/ml

➤ **À propos de l'OMS**

L'OMS est l'autorité directrice et coordonnatrice, dans le domaine de la santé, des travaux ayant un caractère international au sein du système des Nations Unies.

Elle est chargée de diriger l'action sanitaire mondiale, de définir les programmes de recherche en santé, de fixer des normes et des critères, de présenter des options politiques fondées sur des données probantes, de fournir un soutien technique aux pays et de suivre et d'apprécier les tendances en matière de santé publique.

Au 21ème siècle, la santé est une responsabilité partagée qui suppose un accès équitable aux soins essentiels et la défense collective contre des menaces transnationales.[48]

Produced with ScanTool

# BIBLIOGRAPHIE

Produced with ScantOPDF

## Bibliographie

- [1] Bouchiheb et all 2002.
- [2] Chaouch Redouane et all, 2008/2009. Suivi de quelques paramètres physico-chimiques et bactériologiques dans les eaux du barrage et de l'Oued de Bouhamdane, mémoire du diplôme d'ingénieur d'état en biologie, option Ecologie et pathologie des écosystèmes, université 08 mai 1945 de Guelma, volume 56p, p22
- [3] Delga et all 1968
- [4] Jean Rodier, Bernard Legube, Nicole Merlet, 2009. L'analyse de l'eau - 9ème édition. Edition Dunod. Volume 1526 pages.
- [5] Horton et al, (1994). Principes de Biochimie. Ed. DeBoeck Universités volume 742p
- [6] La hondère, 1981. Compte rendu de l'excursion du 7 juin 1981 sur la côte nord de l'île de Ré-1982, p.85 à 89- Départ. Région : 17
- [7] Linda Hogan, Mark Niemeyer avant-propos de Nathalie Kosciusko-Morizet Gründ, 2009. L'eau source de vie .Ed. La maison Gründ Volume 191 p, p118, p58
- [8] M. Côte, 1988. L'Algérie ou l'espace retourné. Paris, Flammarion, coll. Géographes. 362p
- [9] Mayct. J, 1994. La pratique de l'eau, 2<sup>ème</sup> édition. Edition : Le MONITEUR, 382p. Manuel de qualité des eaux traitées.
- [10] Michel lamy, (1995). L'eau de la nature et des hommes. Ed. Presses Université de Bordeaux. Volume 230 p, p19
- [11] VILA J.M. (1973) : La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Thèse de doctorat Es Sciences Naturelles. Université Paris VI. 665 pages.

[12] Norme NF EN ISO 6222 : Dénombrement des microorganismes revivifiables : comptage des colonies par ensemencement dans un milieu de culture nutritif gélosé.

- Norme NF V 08-010 : Règles générales pour la préparation des dilutions en vue de l'examen microbiologique.
- Norme NF EN ISO 6887-1 : Suspension mère et dilutions décimales ; 1. règles générales.
- Norme NF V 08-057-2 : Microbiologie alimentaire – Directives générales pour la préparation des dilutions en vue de l'examen microbiologique.
- Norme XP V 08-102 : Règles générales pour le comptage des colonies et l'expression des résultats.
- Norme NF ISO 7218 : Règles générales pour les examens microbiologiques.
- Norme NF ISO 17025 relative aux prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnage et d'essais.

[13] Norme NF EN ISO 9308 – 1 : Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries Coliformes partie 1. Méthode par filtration sur membrane.

- Norme NF T90-413 : Recherche et dénombrement des coliformes et des coliformes thermo tolérants. Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP).
- Norme NF V 08-051 : Dénombrement des Coliformes par comptage des colonies, méthode de routine.

Norme NF V 08-017. Dénombrement des Coliformes fécaux et d'*Escherichia coli* (annexe à NF V 08-015 et NF V 08-016)..

- ISO7150/1-1984 (F)

[14] Norme ISO 7899- 2 et Norme NF T 90-416. Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux. Partie 2 méthode par filtration sur membrane.

- Norme NF T 90-411. Recherche et dénombrement des Streptocoques du groupe D. Méthode générale par ensemencement en milieu liquide (NPP).

[15] Norme NF T 90-415. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices et de *Clostridium sulfito-réducteurs*. Méthode générale par incorporation en gélose en tubes profonds.

- Norme NF T 90-417. Recherche et dénombrement des spores de microorganismes anaérobies sulfito-réducteurs et de *Clostridium*. Partie.2 Méthode par filtration sur membrane.

- Norme ISO 6461 – 2. Recherche et dénombrement des spores de microorganismes anaérobies sulfito-réducteurs Clostridia. Méthode par filtration.
- [16] <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/UVLibre/9900/bin47/vie.htm>
- [17] <http://www2.ac-lille.fr/projenius/Europeanwaternet/whatis/repartition.htm>
- [18] <http://www.bafu.admin.ch/grundwasser/07496/index.html?lang=fr>
- [19] <http://www.eauxdesources.org/tout-savoir-c28.html>
- [20] <http://www.lenntech.fr/francais/eaux-souterraines/proprietes.htm>
- [21] <http://www.irrifore.com/index.php?pg=4>
- [22] <http://www.cieau.com/le-service-de-l-eau/les-usages>
- [23] [http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique12&id\\_article=12](http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique12&id_article=12)
- [24] [http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique12&id\\_article=14](http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique12&id_article=14)
- [25] <http://www.lenntech.fr/faq-pollution-eau.htm>
- [26] <http://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm>
- [27] <http://btsesf-belorme.forumactif.com/t11-expose-pollution-de-l-eau>
- [28] <http://www.lenntech.fr/applications/irrigation/sar/irrigation/sar-risque-pour-em-irrigation.htm#ixzz1or5baDiS>
- [29] <http://www.pasteur-kh.org/spip.php?article55>
- [30] [http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico\\_chimie\\_PresGen.htm](http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm)
- [31] [http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/physique/d/le-milieu-marin-proprietes-physiques\\_416/c3/221/p4/](http://www.futura-sciences.com/fr/doc/t/physique/d/le-milieu-marin-proprietes-physiques_416/c3/221/p4/)
- [32] <http://www.experteau.com/EauTraitement/AnalysePhysicoChimique.html>
- [33] <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/calcium/index-fra.php>
- [34] <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/magnesium/index-fra.php>
- [35] <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/chloride-chlorure/index-fra.php>
- [36] <http://www.doctissimo.fr/html/nutrition/dossiers/eau/articles/13256-chlorures.htm>

- [37]<http://www.lenntech.fr/sulfates.htm>
- [38]<http://bernard.pironin.pagesperso-orange.fr/aquatech/titres.htm>
- [39]<http://users.swing.be/chapp/p-azote.htm>
- [40]<http://www.koiconnect.com/eau-du-bassin/les-parametres-physico-chimique-de-leau/>
- [41]<http://users.swing.be/chapp/parametres.htm>
- [42]<http://users.swing.be/chapp/p-alca.htm>
- [43][http://www.lactualitechimique.org/larevue\\_article.php?cle=1694](http://www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=1694)
- [44]<http://www.astrosurf.com/luxorion/eau-potable.htm>
- [45]<http://labo-eaux.cg94.fr/node/64>
- [46]<http://www.memoireonline.com/07/09/2351/Caracterisation-de-la-nappe-phreatique-de-Mboro-par-rapport-aux-normes-conventionnelles-pour-leau.html>
- [47]<http://www.lenntech.fr/francais/norme-eau-potable-oms-ue.htm#ixzz1vKjcvTv>
- [48]<http://www.who.int/about/fr/>

Produced with Scantopdf