

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث 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 D'ECOLOGIE ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



Mémoire du Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biologie

Spécialité/Option : Santé, Eau et Environnement/ Hydro-écologie.

Thème :

**Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique
et bactériologique de quelques eaux de sources dans le bassin de
Guelma**

Présenté par : Chena Basma
Grara Nadhira

Devant le jury composé de :

Président : Mr. Kachi S M.C.A Université de Guelma

Examineur : Mr. Brahmia A M.C.B Université de Guelma

Encadreur: Mr. Guettaf M M.A.A Université de Guelma

Juin 2015

Remerciements

On tient à exprimer mon sentiment de reconnaissance à toutes les personnes qui par leur aide et leur encouragement m'ont permis de réaliser ce travail dans les meilleures conditions.

*A Monsieur **Mr Guetaf Mohamed** : vous m'avez fait l'honneur de m'avoir encadré durant cette thèse. Vous m'avez toujours accueilli avec votre amabilité et simplicité habituelle. Vous avez guidé et éclairé, par vos précieux conciles, la réalisation de ce travail. Veuillez trouver, ici, l'expression de ma reconnaissance, de profond respect et de ma vive gratitude.*

*Nous adressons nos remerciements à **Mr Garwi Yassine**, qui a eu la gentillesse de lire et corriger ce travail.*

*Nous sommes très reconnaissants **Mr. Kachi S**, pour avoir accepté de juger ce travail en tant que rapporteur, qu'il veuille bien trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.*

*Nous remercions également **Mr Brahmia A**, pour avoir accepté de juger ce travail en tant qu'examineur.*

*Tout mon travail se déroulé au laboratoire de la station de traitement des eaux de **Hammam Debagh (Guelma)**, je tiens à remercier tous les membres de l'équipe **Mr Amrawi** de par leur accueil, leur sympathie ainsi que leurs idées constructives ; ainsi que **Mr Gerade** de la **DDS**, pour leur accueil et leurs conseils.*



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père

Pours leur patience, leur amour, leur soutien.

Ames frères Nouradine, et Abd'almalak.

A ma belle soeur Mariem

A mon meilleur amie l'atima

A mes tant souad, et houria qui ve remercier à leur

Encouragement et leurs concieills

A mon camarade Nadira

A tout la famille et toutes les personnes que j'aime

Basma

اهداء

قبل كل شيء، اشكر الله تعالى على نعمه العظمى واحمده سبحانه بان من علي لبلوغ هذه المرحلة التي لم اكن لابلغها لولا منة علي.

لقوله تعالى «**اقرباً**» وعملاً بقوله الكريم، **تقينا خطاه خطى الانام، قامع الجهل و الظلام، تخطينا الحواجز و حققنا الاحلام وبلغنا بانن الله** ما لم تبلغه الاقدام ولم تعبر عنه الافلام.

اليوم، نتنا مرادنا وسعدت افادتنا واتلجت صدور احبتنا، **نحمد الله** على سعادتهم و سعادتنا، اهدي ثمره هذا **الجهد البسيط** الي:

ابي، يامن زرعت الامل بقلبي و علمتني معنى الحياة و الاتقان.

امى، شجرة الدر التي امنت ثم اثمرت صالحاً نكحنا، المثال و تكون البرهان على جدارتها، **اهل الله** في عمرها و امطرتنا بدعواتها المباركات.

عبيق الحيات، شقائق النعمان و منبع الحنان اخواتي هناء، اميرة رندة.

وتعرف المرأة برجالها امير خير الدين، محمد علاء الدين ايها الفرسان.

استاذي وموطري عيد النسيم **لطاف فلك الفضل** ولك **جزيل الامتنان**.

رفيقة دربي **جيهان يامن** المحبة يازاهرة البستان **ادام الله** عليك بالصحة و العافية.

صديقتي، جليساتي، زميلاتي، بالمختصر **خبيباتي** كوثر، نادية، سميرة، مايا، بشرى، مروة، ابتسام،

هاجر جوجو، فضيلة، نجاة و رفيلة هذا **التمل بسمة** واول فرحة لي **سميرة** يا **خبيباتي**، يامن اخذتن

بخاطري و شاطرتني **الافراح و الفرحان**.

بكل تقدير الي **مكربي** بدار و مراد **الذوق** علمني الاحترام وروح الفريق الواحد قبل **كرة اليد**.

و شكراً و العرفان الي **الجميع** من **صاحبي** في **الجزال** هذا العمل و اتمام مشواري الدراسي و اقتداء **خطى**

و **الانبياء** من **الهدى** او من **الهدى**.

Liste des Tableaux

N° de tableau	Titre de tableau	Page
Tableau n° 01	Comparaison entre les eaux de surface et souterraines.	06
Tableau n° 02	Classification des eaux selon la conductivité.	17
Tableau n° 03	Détermination de la minéralisation à partir de conductivité.	18
Tableau n° 04	la potabilité en fonction des résidus secs.	18
Tableau n° 05	Classification de l'eau selon la dureté totale.	19
Tableau n° 06	Répartition des capacités souterraines par type.	37
Tableau n° 07	Caractéristiques géographiques et topographies de la station de Guelma.	42
Tableau n° 08	Précipitation moyenn mensuelle dans la station de Guelma (1999 -2008).	42
Tableau n° 09	Précipitation moyenne annuelle dans la station de Guelma (1999-2008).	43
Tableau n° 10	Températures moyennes mensuelles.(1999-2008).	44
Tableau n° 11	Températures moyennes annuelle. (1999-2008).	44
Tableau n° 12	Positions géographiques des sources échantillonnées.	47
Tableau n° 13	Période de prélèvement.	51
Tableau n° 14	Nombre des germes totaux.	79
Tableau n° 15	Dénombrement des Anaérobies Sulfito-Réducteurs.	83

Liste des figures

N° de Figure	Titre de Figure	Page
Figure n° 01	Le cycle de l'eau.	02
Figure n° 02	La répartition de l'eau sur la terre.	03
Figure n° 03	utilisation de l'eau dans le monde par secteur.	04
Figure n° 04	Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques.	08
Figure n° 05	sens de l'écoulement souterrain.	09
Figure n° 06	principaux types des sources	12
Figure n° 07	Carte de Situation Géographique de la wilaya de Guelma.	28
Figure n° 08	Géomorphologie de la région de Guelma.	29
Figure n° 09	Carte structurale de la région de Guelma, extraite de la carte géologique	31
Figure n° 10	Zones hydrogéologiques dans la zone d'étude	34
Figure n° 11	Réseau hydrographique	35
Figure n° 12	Histogramme de La température moyenne mensuelle de la station de Guelma (1999 _ 2008).	42
Figure n° 13	Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Guelma (1999 - 2008).	43
Figure n° 14	Histogramme de La température moyenne mensuelle de lstation de Guelma (1999 - 2008).	44
Figure ° 15	Histogramme de La température moyenne annuelle de la station de Guelma (1999 - 2008).	45
Figure n° 16	Diagrammes pluviothermique de la station de Guelma (1999 - 2008).	45
Figure n°17	GPS de type Garmin 72.	47
Figure n° 18	Carte à la main levée illustrant les quatre points de prélèvement	48

Figure n°19	Ain Guetiche	49
Figure n°20	Ain Souda	49
Figure n°21	Ain Sellaoua	49
Figure n°22	Ain Baida	49
Figure n°23	multi paramètre (wtw, multi 350i)	51
Figure n°24	Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C	60
Figure n°25	Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries Coliformes.	63
Figure n°26	Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices.	65
Figure n°27	Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.	67
Figure n°28	Évolution spatio-temporelle du pH dans les eaux de sources échantillonnées.	69
Figure n°29	Évolution spatio-temporelle de la température dans les eaux de sources échantillonnées.	70
Figure n°30	Évolution spatio-temporelle de La Conductivité électrique dans les eaux de sources échantillonnée	71
Figure n°31	Évolution spatio-temporelle de l'Oxygène dissous dans les eaux de sources échantillonnées.	72
Figure n°32	Évolution spatio-temporelle de la dureté totale dans les eaux de sources échantillonnées.	72
Figure n°33	Évolution spatio-temporelle de la Calcium dans les eaux de sources échantillonnées.	73
Figure n°34	Évolution spatio-temporelle de Magnésium dans les eaux de sources échantillonnées.	74
Figure n°35	Évolution spatio-temporelle de Chlorure dans les eaux de sources échantillonnées.	75
Figure n°36	Évolution spatio-temporelle de Bicarbonate dans les eaux de sources	75

	échantillonnées.	
Figure n°37	Évolution spatio-temporelle de Phosphate dans les eaux de sources échantillonnées.	76
Figure n°38	Évolution spatio-temporelle de l'ammonium dans les eaux de sources échantillonnées.	77
Figure n°39	Évolution spatio-temporelle des nitrates dans les eaux de sources échantillonnées.	77
Figure n°40	: Évolution spatio-temporelle de Fer dans les eaux de sources échantillonnées.	78
Figure n°41	Évolution spatio-temporelle de Titre alcalimétrique complet dans les eaux de sources échantillonnées.	79
Figure n°42	Évolution spatio-temporelle de Coliformes totaux dans les eaux de sources échantillonnées.	80
Figure n°43	Évolution spatio-temporelle de Coliformes Fécaux dans les eaux de sources échantillonnées.	81
Figure n°43	Évolution spatio-temporelle de Streptocoque Fécaux dans les eaux de sources échantillonnées.	82

Produced with

SOMMAIRE pages

Introduction Générale.....	01
Chapitre I Synthèse bibliographique	
1. Cycle de l'eau.....	02
2. Répartition de l'eau sur la planète.....	02
3. Besoins en eau et leur évolution.....	03
4. Eaux de surface	05
5. Eaux souterraines.....	05
5.1. Origines des eaux souterraines.....	05
5.2. Constituants des eaux souterraines.....	07
6. Infiltration de l'eau dans le sous-sol.....	07
6.1. Mécanisme de l'infiltration.....	07
6.2. Rôle du sol.....	08
6.3. Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques.....	08
6.4. Ecoulement de l'eau souterraine.....	09
7. Hydrogéologie.....	10
7.1. Formation des nappes.....	10
7.2. Piézométrie des nappes.....	11
7.3. Les sources.....	11
7.3.1. Types de sources.....	11
7.3.2. Aménagement d'une source.....	12
7.3.3. Nature et localisation des sources.....	12
7.3.4. Méthode de captage.....	13
7.3.5. Entretien des captages.....	13
8. Géochimie des eaux.....	14
9. Potabilité de l'eau.....	14
9.1. Caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques.....	15
9.1.1. Paramètres organoleptiques.....	15
9.1.2. Paramètres physico-chimiques.....	15

9.1.3. Caractères Microbiologiques.....	23
10. Pourquoi protéger l'eau souterraine ?.....	25
11. La virologie des milieux hydriques.....	26
11.1. Maladies à transmission hydrique (Maladies liées à la consommation de l'eau).....	26

Chapitre II Cader général de la zone d'étude

1. Localisation géographique	28
2. Relief et géologie.....	39
2. 1. Relief	39
2.2. Géologie.....	30
3. Cadre Hydrogéologique.....	32
4. Réseau hydrographique (Principaux oueds) et ressources en eau souterraine	35
5. Les principaux types et origines de pollutions dans la zone d'étude	37
5.1. Pollution domestique.....	38
5.2. Polluants d'origine industrielle.....	38
5.3. Pollution d'origine agricole	38
6. Cadre biotique	39
6.1. La flore	40
6.2. La Faune.....	41
7. Aspects sociaux économiques	40
8. Etude climatique	41
8.1. Paramètres climatiques.....	42
8.1.1. Précipitations.....	42
8.1.2. Température.....	43
8.2. Relation température-précipitation	45

Chapitre III Matériel et méthode

1. Méthode de travail.....	47
2. Choix des sites et prélèvements	47
2.1. Choix des sites de prélèvements	47

2.2. Prélèvements	50
2.2.1. Prélèvements de l'eau pour d'analyses physicochimiques.....	50
2.2.2. Prélèvements de l'eau pour d'analyses bactériologique.....	50
3. Analyses physico-chimiques.....	51
3.1. Paramètre physique.....	52
3.2. Paramètre chimique	52
3.3. Paramètres de pollution.....	57
4. Méthodes d'analyses bactériologiques	59

Chapitre IV Résultats et discussions

1. Paramètres physico- chimiques	69
1.1. Paramètres physiques	69
1.2. Paramètres chimiques	71
2. Les analyses bactériologiques.....	79
conclusion générale.....	84

Produced with ScanTopDF

INTRODUCTION GENERALE

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et dans l'activité humaine. C'est une composante ajouré du monde minéral et organique. Elle participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ; ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution. Elle est aussi considérée comme un transporteur potentiel de nombreuses maladies.

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population.

Vue cette importance majeure, la question qui doit se poser : la réserve en eaux souterraines dans le bassin de Guelma, sur le plan qualitative, est-elle exploitée conformément aux normes internationales ? Pour mieux répondre à cette question, notre étude aura pour objectif de décrire la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau de certaines sources situées dans ce bassin. A cet effet, et selon les moyens mis à notre disposition, quatre sources fortement exploitées pour la consommation en eau potable ont été choisies dans la partie Est du bassin.

Par cette étude et afin d'arriver à notre objectif, nous avons développé quatre chapitres:

- Le premier chapitre consacre aux généralités sur les aquifères, aux caractéristiques des eaux de consommation et aux normes applicables aux eaux destinées à l'alimentation humaine.
- Le deuxième chapitre nous donne un aperçu du cadre général de la région d'étude suivi par une description des caractéristiques géomorphologiques et du réseau hydrographique.
- Le troisième chapitre est réservé la méthodologie de travail.
- Le quatrième chapitre de ce mémoire réservée à l'interprétation et la discussion des résultats.

Chapitre 1

Produced with Scantopdf

1. Cycle de l'eau

L'eau est partout présente autour de nous et constitue l'un des éléments fondamentaux de notre planète. Toute cette eau se transforme et circule en permanence dans l'atmosphère, la surface et dans le sous-sol de notre terre [1].

L'hydrosphère chauffée par l'énergie solaire, s'évapore et conduit à la présence d'eau dans l'atmosphère. Cette eau, à la suite d'un refroidissement de l'air, se condense en gouttes ou cristaux de glace et se trouve précipitée sous forme de pluie, neige ou grêle sur lithosphère à la surface de laquelle approximativement $\frac{1}{4}$ pénètre, $\frac{1}{4}$ ruisselle, quant au $\frac{1}{4}$ restants, il s'évapore à son tour (Vilaginesr, 2003). Le périphe sans fin de l'eau suit un cours appelé « cycle hydrologique » ou « cycle de l'eau » (Fig. 01).



Figure 01 : Le cycle de l'eau.

2. Répartition de l'eau sur la planète

L'eau est de loin le liquide le plus abondant sur la terre dont elle recouvre les 72 % de la surface, représentant un volume total estimé à $1,4 \cdot 10^3 \text{ km}^3$. Les mers et les océans représentent 97,4 % de la totalité des eaux terrestres.

Les quatre cinquièmes des eaux dites douces sont constitués par les sommets enneigés et les glaciers et la quasi-totalité du cinquième restant est localisé dans des nappes phréatiques.

L'eau indispensable à la survie de l'espèce vivante terrestre, représente donc moins de 1 % de l'eau douce soit environ 0,014 % de l'eau totale.

C'est pourquoi il est impératif que ce bien de l'humanité soit protégé et utilisé avec le plus grand respect dans le sens de développement durable, défini comme le développement qui couvre les besoins de la société actuelle sans détruire pour autant les possibilités des générations futures de découvrir leur propre besoin (Friedli, 2002).

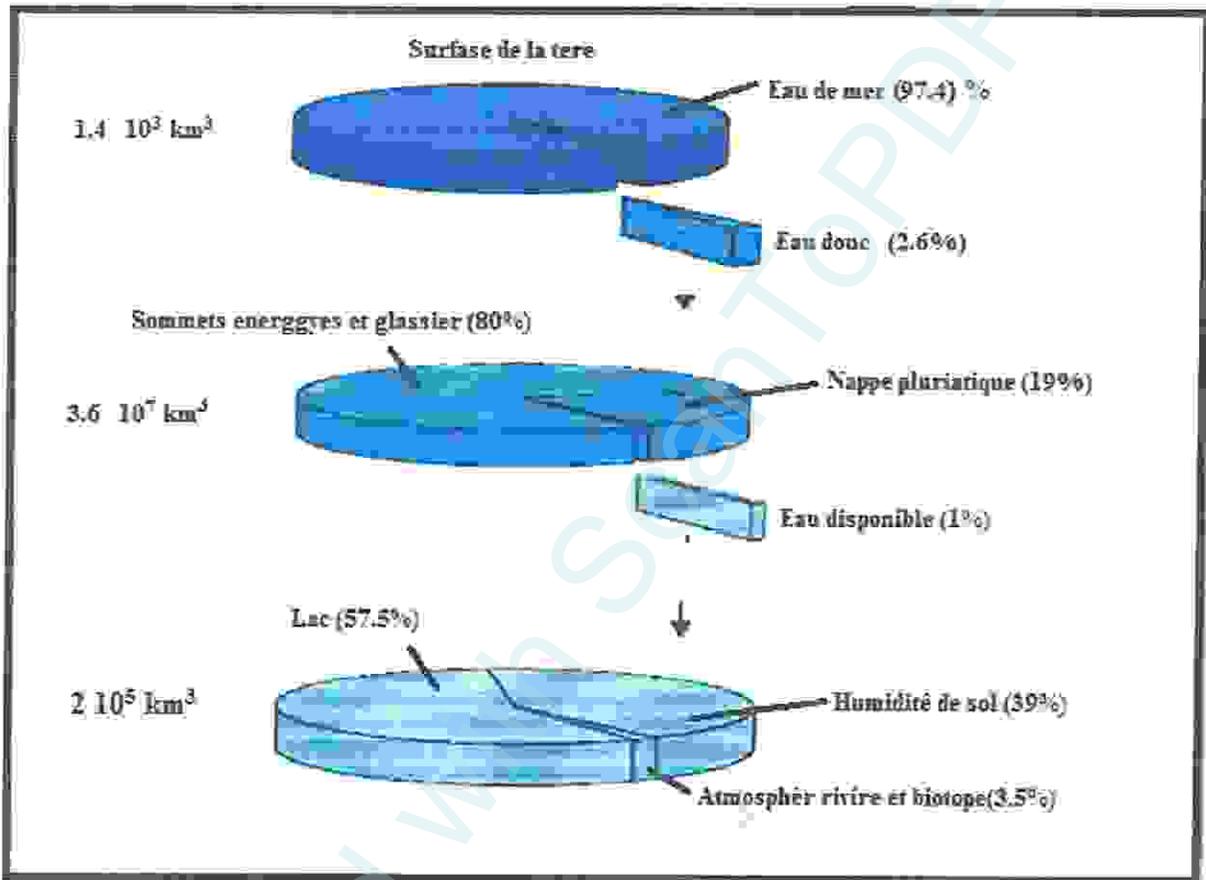


Figure 02 : La répartition de l'eau sur la terre (Taupenac, 2006).

3. Besoins en eau et leur évolution

La consommation d'eau dans le monde double tous les vingt ans. En 2025 la population mondiale devrait être d'environ 8 milliards d'habitants, or aujourd'hui environ 25 % des habitants de la planète n'ont pas accès à l'eau potable. Les perspectives à moyen terme sont donc très inquiétantes. Les utilisations principales de l'eau, et pour partie de l'eau souterraine, sont les suivantes :

3.1. Usages domestique

- Besoins alimentaires : boisson, lavage et cuisson des aliments ;
- Besoins ménagers : sanitaires, chasses d'eau, chauffage, lavage du linge et de la vaisselle ;

- Besoins d'agrément : arrosage des jardins, lavage des voitures, remplissage des piscines.

3.2. Usages collectifs et publics

- Protection incendie, lavage des rues, remplissage des piscines et des bassins d'agrément ;
- Arrosage des parcs publics, des terrains de sport et des golfs.

3.3. Usages agricoles

- Irrigation des cultures ;
- Elevage et abreuvement des animaux.

3.4. Usages industriel

- Production hydroélectrique ;
- Utilisation dans la fabrication, la conservation et le fonctionnement de nombreux produits manufacturés ;
- Refroidissement des unités de production (centrales thermoélectriques, groupes frigorifiques, usines diverses) ;
- Utilisation énergétique à des fins de chauffage et de climatisation (pompes à chaleur, tours de refroidissement) ;
- Lavage de matériaux (carrières, gravières), de véhicules (Gilli et al., 2002).

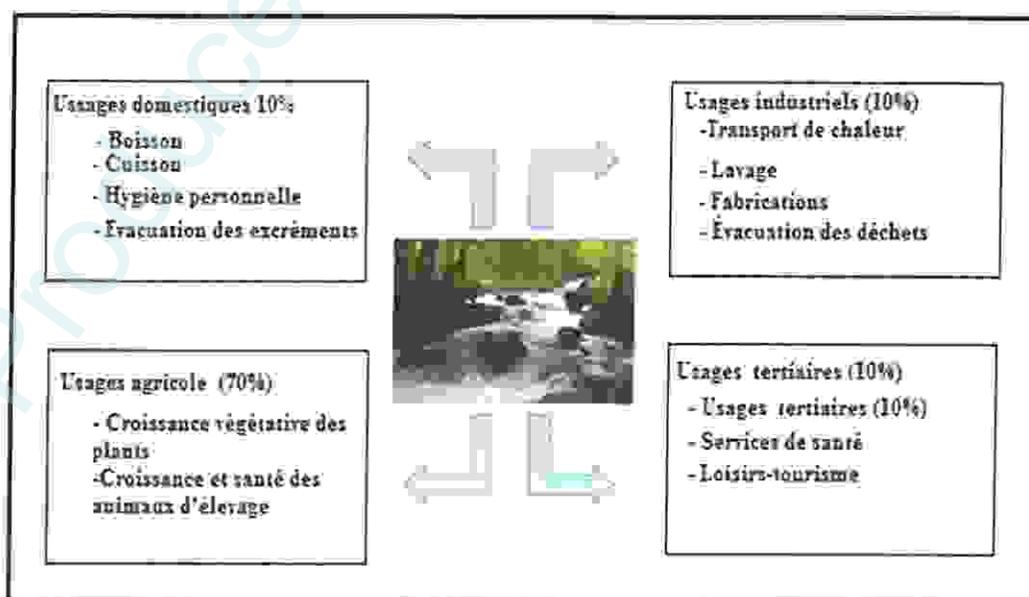


Figure 03 : utilisation de l'eau dans le monde par secteur.

4. Eaux de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des Continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement (Degremont., 2005).

Les eaux de surface sont moins stables, et contiennent des matières minérales et Organiques en suspension qui peuvent engendrer désagréments olfactifs et gustatifs. Elles nécessitent un traitement physico-chimique parfois complexe dans des infrastructures importantes [2]. On distingue deux types des eaux de surface :

- Eaux courantes.
- Eaux stagnantes. (Hamada et Salah, 2012).

5. Eaux souterraines

On trouve les eaux souterraines sous la plupart des terres émergées du globe. Leur Origine est due à l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varie en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique (Cardot, 1999). Elles restent jusqu'à présent les meilleurs ressources en eau potable (Margat, 1992).

5.1. Origines des eaux souterraines

La plupart des eaux souterraines ont une origine météorique, c'est-à-dire proviennent des précipitations (pluies, neige) et de leur infiltration dans le sous-sol. Dans les aquifères de grande taille, l'eau peut provenir de périodes où le climat était différent et peut donc servir d'indicateur de paléoclimats (Luzolo, 2012).

5.1.1. Eaux connées

Les eaux que l'on trouve en profondeur dans la croûte terrestre (à partir de 1 à 2 km) sont dérivées des réservoirs d'eaux météoriques qui ont réagi avec les roches environnantes. Souvent ces eaux sont relativement salées. Les eaux connées peuvent contribuer à l'hydrologie de formations géologiques qui se sont enfouies très récemment (Gulf Coast aux USA) ou bien rester piégées dans des roches dont la perméabilité est très faible et dont toute l'eau n'a pas été expulsée. Souvent cette eau est présente depuis la formation de la roche.

Tableau 01 : Comparaison entre les eaux de surface et souterraines [2].

Caractéristiques	Eau de surface	Eau souterraines
Température	Varie en fonction des saisons	Relativement constante
Turbidité	Niveau variable parfois élevé	Faible ou nulle
Couleur	Principalement dû aux sols en suspension (argile, algue,..) .excepté pour les eaux acides et très douces.	Principalement dû aux solides dissous
Contenu minéral	Varie avec le sol, les effluents, les pluies,...	Généralement plus important que pour l'eau de surface pour un même endroit.
Fer et Mn en Solution	Généralement pas sauf pour au fond des lacs et des dans le processus d'eutrophisation	Présent
CO ₂ agressif	Pas présent	Souvent présent en grande quantité
O ₂ dissout	Souvent proche du niveau de saturation. Absent dans les eaux très polluées.	Généralement peu présent
H ₂ S	Pas présent	Souvent présent
NH ₄ ⁺	Seulement dans des eaux polluées	Souvent présent sans forcément une pollution bactériologique.
Nitrates	Niveau généralement faible	Niveau parfois important
Silice	Généralement en proportion modérée.	Niveau souvent important
Micropolluants d'origine organique et minérale	Présent dans l'eau des pays développés mais est susceptible de disparaître rapidement une fois la source éliminée	Normalement pas mais une pollution accidentelle a des effets à très long terme
Organismes Vivants	Bactéries, virus, plancton (animal et végétal)	Des bactéries du fer sont fréquemment trouvées
Solvants chlorés	Rarement présent	Souvent présent

5.1.2. Eaux juvéniles

Ces eaux sont libérées directement par des processus magmatiques en profondeur. Elles sont difficilement distinguables des eaux situées en profondeur, par exemple l'eau remplissant le forage profond (11 km) dans la péninsule de Kola en Russie. Les processus magmatiques peuvent relâcher en plus de l'eau, des composés gazeux (CO₂ par exemple).

5.2. Constituants des eaux souterraines

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour desquelles sont dissous des ions (majeurs, mineurs, et traces), des gaz dissous (oxygène, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoute. Les origines de ces composants sont diverses et proviennent de sources naturelles ou anthropiques (déchets, activités industrielles, agriculture, mines...). Si certains de ces composants présentent un danger pour la santé humaine et pour l'environnement, ils sont considérés comme des polluants. On classe les eaux selon le degré de pureté et les polluants qu'elles contiennent.

6. Infiltration de l'eau dans le sous-sol

6.1. Mécanisme de l'infiltration

Le terme «infiltration» est imprécis, car il désigne à la fois le phénomène d'imbibition des sols superficiels (zone d'infiltration ou zone non saturée) et celui d'atteinte de la surface de la zone saturée. On appelle nappe d'eau souterraine cette zone saturée en permanence.

L'infiltration de l'eau sur les affleurements de roches perméables peut s'opérer diversement en fonction des caractéristiques du milieu. Elle varie très sensiblement dans l'espace, peut s'effectuer de façon diffuse ou concentrée et être rapide ou plus ou moins différée.

L'observation détaillée du chevelu hydrographique sur une carte topographique permet souvent de caractériser de façon globale les variations d'infiltration dans le sous-sol et d'établir un pré zonage de l'aptitude des terrains :

- Secteurs très infiltrations, dépourvus ou presque d'hydrographie de surface.
- Secteurs imperméables ou peu infiltration, parcourus par un réseau serré de ravines et de ruisseaux.
- Secteurs intermédiaires entre les extrêmes précédents, caractérisant fréquemment des dépôts composites ou des topographies variables (Gilli et al., 2002).

6.2. Rôle du sol

Interface entre l'atmosphère et l'aquifère, le sol étale le signal d'entrée dans le temps son rôle dépend de son argilosité, de la pente et de la nature de la surface. Dans le sol, l'infiltration de l'eau dépend des relations entre microporosité (écoulement lent) et macroporosité (écoulement rapide).

A son arrivée sur un substratum argileux, l'eau s'infiltré à faible profondeur à travers les sols altérés et circule à la limite des argilites sains (ruissellement hypodermique) Dans les terrains poreux, l'eau de pluie s'infiltré, en donnant un front d'infiltration plus ou moins plan. Dans les zones fracturées très ouvertes (accidents tectoniques) le drainage est rapide vers la profondeur. (Gilli et al.,2002).

6.3. Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques

La vitesse à laquelle l'eau se déplace à l'intérieur d'une formation dépend de la porosité de cette formation et, surtout, de la façon dont les pores communiquent entre eux. Ainsi, l'eau se déplace rapidement dans des formations constituées de matériaux dont les pores sont gros, nombreux et inter reliés, comme le gravier ou les roches très fracturées. Par contre, l'eau se déplace lentement dans l'argile et d'autres formations constituées de matériaux possédant des pores petits qui ne communiquent pas entre eux [6].

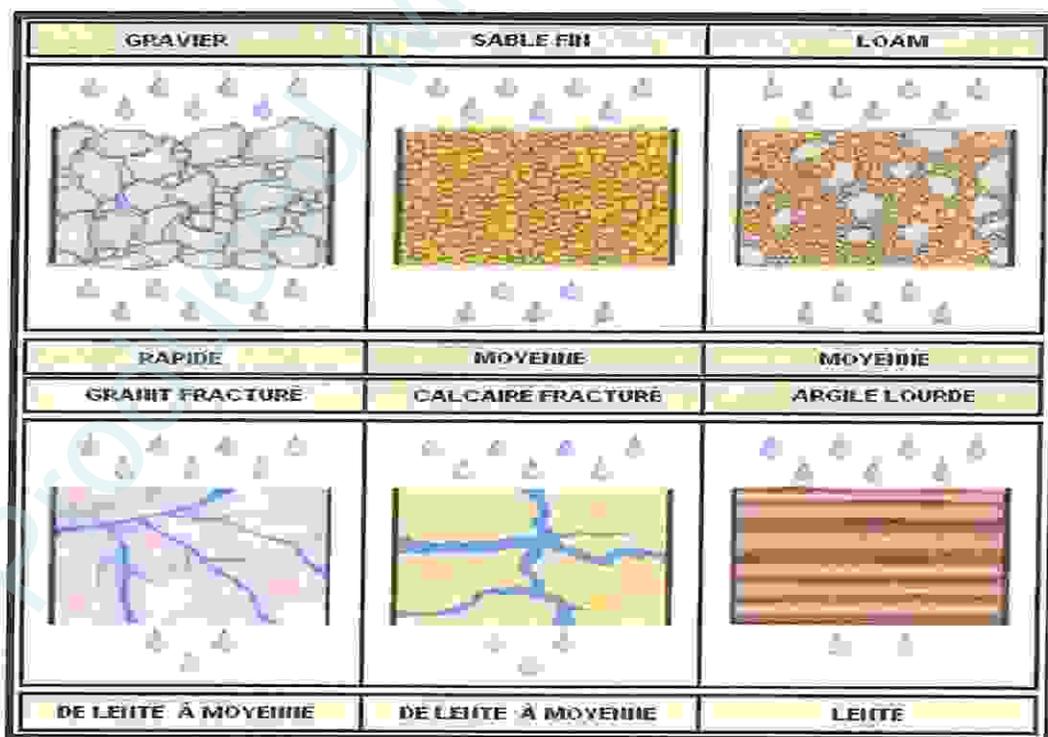


Figure 04 : Vitesse de déplacement de l'eau dans divers matériaux géologiques [6].

6.4. Écoulement de l'eau souterraine

L'eau souterraine peut progresser de quelques centimètres à quelques mètres par jour dans les aquifères de sable ou de gravier, et de dizaines de mètres par jour et même davantage dans des aquifères constitués de roches très fracturées. Dans certains aquifères, il arrive que l'eau ne progresse même pas de quelques millimètres par jour.

En général, l'eau souterraine se déplace depuis des zones de recharge vers des zones d'évacuation, ces dernières étant les sources, cours d'eau, lacs, terres humides, etc. L'eau qui s'infiltré dans des terres hautes ou en amont d'une rivière pénètre dans le sol jusqu'à l'aquifère superficiel, puis se déplace horizontalement à travers les différentes formations jusqu'au lit de la rivière, d'où elle est évacuée.

Le parcours exact de l'eau peut être complexe. En général, toutefois, l'eau emprunte la trajectoire qui lui offre le moins de résistance et circule à travers les formations les plus perméables. Une partie de l'eau de recharge peut aussi descendre dans le sol, traverser des aquifères non confinés et aller alimenter des aquifères confinés plus profonds. Tôt ou tard, parfois des kilomètres plus loin, l'eau atteint des zones d'évacuation où elle rejoint les eaux de surface [6].

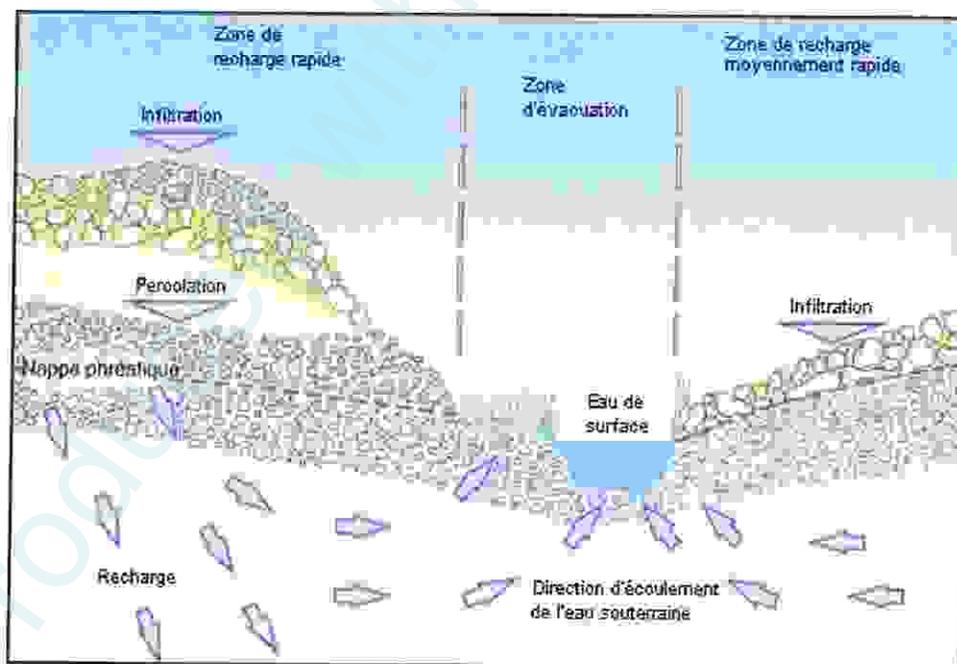


Figure 05 : sens de l'écoulement souterrain [6].

7. Hydrogéologie

L'hydrogéologie (du grec Hydra : l'eau, géo la terre et logos : la science) peut être définie comme la science qui traite de l'eau souterraine. Cependant, l'eau est une entité : eau des précipitations, eaux de surface, glaces, eaux souterraines participent à un cycle perpétuel. L'hydrogéologie est donc indissociable de l'hydrologie de surface, de la climatologie, de la géologie, de la géographie. De plus, comme toutes les sciences modernes, elle fait appel aux innombrables domaines de physique, de la chimie et de la biologie (Gilli et al. 2002).

7.1. Formation des nappes

Une nappe est une étendue d'eau en sous-sol. Il y a formation d'une nappe lorsque l'eau, en s'infiltrant rencontre une couche de sol imperméable. La nappe est mobile. Lorsque la surface du terrain (au sol) affleure le « toit » de la nappe, celle-ci s'écoule sous forme de source. Contrairement à une opinion courante ce ne sont pas les rivières qui alimentent les nappes, c'est en général le contraire.

La formation des nappes est liée aux caractéristiques des roches constituant le sous-sol. Le globe terrestre est formé d'un empilement de roches issues du magma (dites roches plutoniques) transformées par la chaleur, le gel et la pression (dites roches métamorphiques), et de sédiments arrachés aux continents, accumulés au fond des mers comme celles qui recouvraient l'Europe il y a 150 millions d'années. Ces masses rocheuses sont plus ou moins larges, profondes, ou irrégulières, dispersées en couches ou non, accompagnées parfois de fissures et de galeries, qui s'élargissent au fur et à mesure de la dissolution des roches par la pluie.

L'eau suit des lignes d'écoulement, déterminées par la surface au sol. Les limites de ces surfaces drainantes forment ce qu'on appelle le bassin hydrologique dit aussi « bassin versant ». Cette eau, lorsqu'elle rencontre une surface imperméable de la nappe, forme alors en sous-sol des nappes, c'est-à-dire des réservoirs d'eau.

7.1.1. Différents types de nappes

« L'aquifère », ou encore la nappe d'eau souterraine est un gisement d'eau souterraine utilisable comme source d'eau (Kettab, 1992).

a. Nappe libre

C'est une nappe qui peut se développer librement vers le haut puisque le terrain perméable, siège d'une nappe aquifère, n'est pas couvert par une couche imperméable (Bonnin, 1982).

b. Nappe captive

Lorsque la couche perméable est emprisonnée entre deux couches imperméables, la nappe ne peut se développer vers le haut et est alors appelée nappe captive (Bonnin, 1982).

Les nappes peuvent être classées en nappes phréatiques et nappes profondes. Les nappes phréatiques sont celles qui reposent sur la première couche imperméable proche du niveau du sol, sont toujours libres et souvent contaminées. Les nappes profondes dites subordonnées reposent sur une couche perméable plus profonde et peuvent être libres ou captives (Dupont, 1974).

7.2. Piézométrie des nappes

Au sein des réservoirs aquifère, la position des nappes souterraines peut-être caractérisée par sa surface piézométrique, qui représente la distribution des charges hydrauliques de la nappe. Cette surface coïncide avec la surface de la nappe dans le cas des aquifères libres. Lorsque l'aquifère est captif, elle est en revanche située au-dessus de la surface de la nappe qui se confond avec son toit imperméable. L'étude piézométrique d'une nappe fournit des renseignements de première importance sur les caractéristiques de l'aquifère. Elle permet, en particulier, d'apprécier de façon globale les conditions d'écoulement des eaux souterraines, ainsi que leurs conditions d'alimentation et de drainage, et la variation de leurs réservoirs (Gilli et al., 2002).

7.3. Les sources

Une source peut être définie comme l'apparition à la surface du sol de l'eau d'une nappe aquifère souterraine. Toute source est alimentée par une portion de la nappe aquifère qui lui a donnée naissance (Gomella et al, 1974).

7.3.1. Types de sources

a. Sources d'affleurement

Lorsque la couche imperméable inférieure d'une nappe aquifère affleure le sol d'une vallée, l'eau de cette nappe apparaît à la surface sous forme d'un chapelet de sources. Elles apparaissent surtout dans des terrains calcaires ou cristallins, les sources thermo minérales appartiennent à cette catégorie (Vilagines, 2000).

b. Sources de déversement

Ce type de sources se rencontre dans les terrains fissurés en surface, calcaires et surtout granites (le réseau de fissures vient rencontrer la surface du sol, avec une pente qui permet d'y conduire l'eau). Généralement leur débit est faible, pratiquement constant et peuvent

facilement tarir. Aussi n'envisagera-t-on leur captage qu'en l'absence d'autres possibilités (Bonnin, 1982).

c. Sources d'émergence

Bien que la couche perméable soit fissurée en direction de sol, on peut avoir un débit alimentant un trou d'eau, souvent envahi de végétation par une ou plusieurs fractures ou l'on peut voir l'eau bouillonner. Le débit localisé de ces sources est souvent important, leur risque de tarissement est inégal (Gomella et Guerree, 1980).

7.3.2. Aménagement d'une source

Trois grands types d'aménagements de sources peuvent être envisagés dans un contexte nécessitant le recours à des techniques à faible coût :

- Un aménagement très simple ;
- Un aménagement avec un réservoir ;
- Un aménagement avec un réservoir et filtre (Luzolo, 2012).

7.3.3. Nature et localisation des sources

La position des exutoires d'une nappe est conditionnée par la géométrie relative entre le réservoir aquifère, les imperméables bordiers et la surface topographique.

- a) Dans la plupart des cas, les émergences se localisent aux contacts altimétriquement les plus bas entre la formation aquifère et les imperméables qui la limitent à sa base et sur ses bordures. Il s'agit de sources de déversement drainant une nappe libre. Elles peuvent être situées en pied de coteaux ou à mi-versant, en fonction du contexte géologique local.
- b) Lorsque l'imperméable basal demeure plus bas que la surface topographique et n'est pas recoupé par le terrain naturel, l'aquifère est drainé aux points géographiquement les plus bas, généralement le long du réseau hydrographique qui forme les entailles les plus profondes. Il s'agit alors de sources de dépression de la nappe libre qui se développe dans les massifs bordiers.
- c) Parfois, c'est au toit du réservoir aquifère, à son contact le plus bas avec l'imperméable qui le masque, que l'émergence se localise. C'est alors une source de débordement de nappe libre qui devient à l'aval immédiat captive sous la couverture imperméable de la formation aquifère.

- d) Dans de rares cas, des sources artésiennes peuvent assurer le drainage de nappes captives profondes, à la faveur d'hétérogénéités lithologiques de l'imperméable de toit ou de failles drainantes favorisant une fuite ascendante du réservoir aquifère.

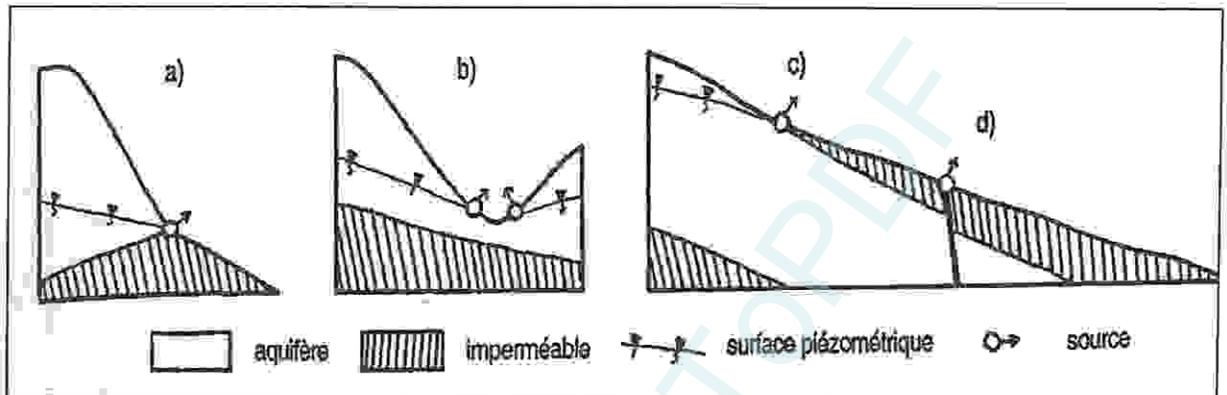


Figure 06 : principaux types des sources. (Gilli et al., 2002).

7.3.4. Méthode de captage

Les modes d'exploitation de l'eau ont sensiblement évolué au cours du temps. Initialement, l'adduction gravitaire était privilégiée, et reposait sur le captage direct de sources situées à une altitude supérieure aux secteurs à desservir, ou sur des systèmes de tranchées ou de galeries drainants des nappes superficielles (éboulis, alluvions). Les puits assuraient surtout une production locale, par prélèvement manuel ou à l'aide de pompes aspirantes de surface dans le cas de nappes peu profondes. Le développement des méthodes de forage et des dispositifs de pompage a ensuite permis de solliciter des nappes de plus en plus profondes et d'accéder aux structures hydrogéologiques de plus en plus complexes.

Chaque captage constitue un cas particulier, en fonction des caractéristiques topographique et hydrogéologique de son environnement, leur présentation reste donc schématique et relativement globale (Gilli et al., 2002).

7.3.5. Entretien des captages

Il est fréquent que la production des ouvrages de captage présente une dégradation au cours du temps. Cette évolution est provoquée par un colmatage obstruant les voies d'eau et/ou par une corrosion des organes drainants d'un forage. Elle dépend des conditions d'exécution du captage, de la composition chimique de l'eau souterraine et du mode d'exploitation de l'ouvrage.

Dans le cas des captages de sources et des tranchées et galeries drainantes, la perte de débit résulte généralement d'un colmatage, dont les origines peuvent être diverses :

- Physico-mécanique, lorsque c'est l'entraînement des particules fines du terrain qui diminue l'ouverture des barbacanes ou l'indice des vides du matériau drainant.
- Physico-chimique, lorsque l'obstruction est réalisée par un dépôt qui résulte de la précipitation de carbonates ou de sulfates de calcium ou de magnésium, ou encore d'hydroxydes de fer.
- Biochimique, lorsque le colmatage provient de boues gélatineuses résultant du cycle biologique de certains microorganismes, en particulier lorsque les eaux contiennent des sels de fer (bactéries ferriques) (Gilli et al., 2002).

8. Géochimie des eaux

La géochimie des eaux traite de l'abondance absolue et relative des éléments et des isotopes dans l'eau, ainsi que de l'évolution de leur concentration en fonction des conditions physico-chimiques rencontrées par l'eau pendant son cycle ou son emmagasinement. Les eaux souterraines tirent leur composition des pluies et des réactions avec les minéraux du sol et des roches plus ou moins résistantes à l'altération. Ces réactions peuvent être abordées avec les lois classiques de la chimie des solutions diluées ou bien au moyen de modèles plus affinés de transfert d'éléments et de cinétique chimique. L'évolution de la composition chimique des eaux naturelles est contrôlée essentiellement par trois phénomènes : la dissolution des minéraux, la précipitation d'autres minéraux et la concentration par évaporation. Il convient de distinguer les processus irréversibles, comme la dissolution et l'évaporation, des processus réversibles, comme les équilibres entre espèces aqueuses et les précipitations des minéraux. Depuis la fin des années soixante, sous l'impulsion d'Hegelson, de grands progrès ont été accomplis dans cette étude théorique des interactions eaux-roches, et des modèles des réactions naturelles sont simulés sur ordinateur.

L'étude géochimique des eaux souterraines est un auxiliaire précieux de la prospection hydrogéologique. Les sels dissous et aussi la composition isotopique des constituants mêmes de l'eau sont des marqueurs naturels qui permettent de caractériser un aquifère ou d'en préciser les facteurs d'écoulement. Les caractéristiques physico-chimiques des eaux peuvent également en limiter les possibilités d'utilisation et réduire ainsi les ressources exploitables.

9. Potabilité de l'eau

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes: les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate,

fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,...)

Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine (Hubert et Marin, 2001).

9.1. Caractéristiques organoleptiques et physico-chimiques

9.1.1. Paramètres organoleptiques

Les facteurs organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur) constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé (Genoudet, 2001).

a. Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 2005). Elle représentera un indicateur de pollution si elle dépasse l'équivalent de 15 mg/l de platine cobalt (Lefèvre, 1991).

b. Odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. L'odeur peut être définie comme :

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.
- La qualité de cette sensation particulière provoquée par chacune de ces substances (Rodier, 2005).

c. Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche.

La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier, 2005).

9.1.2. Paramètres physico-chimiques

a. Potentiel d'hydrogène « pH »

L'eau naturelle pure est neutre. Le pH d'une eau représente son acidité ou alcalinité. C'est le paramètre le plus important de la qualité de l'eau, il doit être surveillé au cours de toute opération de traitement. Un pH inférieur à 7 peut conduire à la corrosion du ciment ou des métaux des canalisations, avec entraînement des éléments indésirables comme le plomb et le cuivre (Rodier, 2005).

Un pH élevé conduit à des dépôts de tartre dans les circuits de distributions. Au-dessus de pH 8, il y a une diminution progressive de l'efficacité de la décontamination bactérienne par le chlore. Par ailleurs la chloration diminue le pH (Rodier, 1996).

b. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels est impliquée dans la conductivité électrique ainsi la détermination du pHEtc. (Rodier, 2005).

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes, peut accentuer le goût, l'odeur et la couleur (OMS., 1994). Par contre une température inférieure à 10 °C ralentit les réactions chimiques dans les différents traitements des eaux (Rodier, 2005).

c. Turbidité

C'est la réduction de la transparence de l'eau due à la présence de matière non dissoute. C'est le premier paramètre perçu par le consommateur.

La turbidité élevée de l'eau révèle la précipitation de fer, aluminium ou manganèse due à une oxydation dans le réseau. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes. La turbidité se mesure en unité néphelométrique. (NTU)

d. Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 2005).

Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (Derouane, 2000). La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre (µS/cm) (Mens et Gaujous, 1995).

Tableau 02 : Classification des eaux selon la conductivité (Rodier, 2005).

Type d'eaux	Conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$)	Résistivité
Eau pure	< 23	> 30000
Eau douce peu minéralisée	100 à 200	5000 à 10000
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500	2000 à 40000
Eau très minéralisée	1000 à 2500	400 à 1000

e. Minéralisation globale

La minéralisation globale correspond à la concentration en sels minéraux dissous (Degremont G, 1990). La minéralisation de l'eau est en 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 sels dissous, semblent bien contribuer à l'homeostasie de l'homme et surtout de l'enfant ; cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes. Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (Rodier, 2005 ; Rodier, 2009).

Tableau 03 : Détermination de la minéralisation à partir de conductivité (Rodier, 2009).

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
Conductivité < 50	1,365079 * Conductivité à 20°C
50 < Conductivité < 166	0,947658 * Conductivité à 20°C
166 < Conductivité < 333	0,769574 * Conductivité à 20°C
333 < Conductivité < 833	0,71592 * Conductivité à 20°C
833 < Conductivité < 1000	0,458544 * Conductivité à 20°C
Conductivité > 1000	0,850432 * Conductivité à 20°C

f. Résidu sec

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau (Rodier, 2005). Une eau dont la teneur en résidu sec est extrêmement faible peut être inacceptable à la consommation en raison de son goût plat et insipide (WHO, 1994).

Tableau 04 : la potabilité en fonction des résidus secs. (Rodier J, 2005).

Résidu sec (mg/L)	Potabilité
RS < 500	Bonne
500 < RS < 1000	Passable
3000 < RS < 4000	Mauvaise

g. Résistivité électrique

En raison des sels qu'elle renferme, l'eau constitue un électrolyte très étendu. La résistivité électrique d'une eau peut donc mesurer sa minéralisation globale (Duponta, 1974). L'unité de la résistivité est Ωcm . La conductivité est l'inverse de la résistivité. On obtient la résistivité à partir de la conductivité par la formule suivante :

$$\text{Résistivité} = 1000\ 000 / \text{Conductivité}$$

h. Matières en suspension

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les matières en suspension, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution de l'eau (Satin et Selmi, 1999).

La présence des matières en suspension augmente la turbidité de l'eau et diminue sa transparence (Rodier, 2005). Une eau potable ne doit pas contenir de matières en suspension décantables, pour une eau qui contient des suspensions à des teneurs de quelques milligrammes par litre, ne pose pas de problèmes majeurs (Degremont, 2005).

i. Matières organiques dissoutes

Dans les eaux naturelles, elles représentent plusieurs familles de composés parmi lesquelles on peut citer les acides humiques, les acides carboxyliques et les acides hydrates de carbone. Elles sont caractérisables globalement par l'oxydabilité au permanganate ou le carbone organique total.

On distingue deux origines de ces matières : les matières organiques acides d'origines animales et les matières organiques basiques d'origines végétales. Elles constituent une source nutritive essentielle pour la prolifération bactérienne. Ces matières réagissent avec le chlore et affectent le goût et l'odeur (Codex et coin, 1981).

j. Dioxyde de carbone libre (CO₂ libre)

Le gaz carbonique CO₂ joue un rôle important dans la chimie des eaux. Le CO₂ combiné à l'eau, possède effectivement des propriétés acides, ce qui donne naissance notamment aux carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium (Dupont, 1974).

k. Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH)

C'est une qualité particulière de l'eau due à la présence des bicarbonates, des chlorures et des sulfates de calcium et de magnésium, détectée principalement par le fait qu'elle empêche plus ou moins l'eau savonneuse de mousser (Marcel, 1986).

Elle est mesurée par la somme des concentrations en degré de calcium et de magnésium et s'exprime par le titre hydrométrique (TH). L'unité du titre hydrométrique est le milliéquivalent par litre (ou le degré français °F) (WHO., 1994). Le TH peut subdiviser en TCa (titre calcique) et TMg (titre magnésien) :

$$\text{TCa} + \text{TMg} = \text{TH} \text{ (Berne et Cordonnier, 1991).}$$

En fonction de leur dureté totale, les eaux peuvent être classées suivant les indicateurs du tableau suivant :

Tableau 05 : Classification de l'eau selon la dureté totale (Berne et Cordonnier, 1991).

TH en degrés français (°F)	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

l. Titre Alcalimétrique (TA et TAC)

Le titre alcalimétrique ou TA mesure la teneur de l'eau en ions hydroxydes « OH⁻ » et une valence de carbonates. Le titre alcalimétrique complète ou TAC correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres, carbonates et hydrogénocarbonates (Berne et Cordonnier, 1991).

m. Sels Minéraux Dissous :**- Cations**

➤ **Ions calcium Ca^{2+}**

Le corps humain comprend une moyenne 1,2 kilogramme de calcium essentiellement dans le squelette. L'eau potable de bonne qualité renferme de 100 à 140 mg/L de calcium. Inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations. Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité (Mercier J., 2000 ; Rodier J., 2005 ; Gaujour D., 1995).

➤ **Ions Magnésium Mg^{2+}**

Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites, basaltes, argiles) ou industrielle (industrie de la potasse, cellulose, brasserie). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau (Kemmer, 1984).

➤ **Ions de Sodium Na^{2+}**

C'est un métal alcalin. Son origine peut être : naturelle (mer, terrain salé...) ; humaine (10 à 15 g Na Cl dans les urines /jour) ; industrielle (potasse, industrie pétrolière). Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Rodier, 2005).

➤ **Ions de Potassium K^+**

Le potassium règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules (Mercier, 2000). Il est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est moins répandue dans la nature (Kemmer F., 1984).

➤ **Ion Fer Fe^{2+}**

Le fer se classe en 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre. Ce métal à l'état ferreux est assez soluble dans l'eau. Les besoins pour l'organisme humain se situent entre 2 et 3 mg/j mais 60 à 70% seulement de la quantité intégrée sont métabolisés (Rodier, 2005).

- Anions

➤ **Ions Carbonates et Bicarbonates**

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du CO_2 à partir des minéraux contenant des carbonates (Rodier, 2005).

➤ **Ions Chlorures Cl^-**

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Rodier, 2005).

➤ **Ions Sulfates SO_4^{-2}**

Le sulfate qui se dissout dans l'eau provient de certains minéraux en particulier du gypse, où apparaît à partir de l'oxydation de minéraux sulfureux. La limite supérieure admise dans l'eau potable est 250 mg/l (Kemmer, 1984).

➤ **Ions Phosphates PO_4^{-3}**

Les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène eutrophisation dans les lacs ou les rivières. S'ils dépassent les normes, ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes, goût et coloration (Rodier, 2005).

➤ **Ions Ammonium NH_4^+**

Dans l'eau, l'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes ; l'ion ammonium (NH_4^+) et la seconde non dissociée communément appelée ammoniacque (NH_3) (Gaujour, 1995). En ce qui concerne la toxicité de l'ammoniacque, il est reconnu que ce n'est pas la forme ammoniacque ionisée qui est toxique, mais celle non ionisée dont la proportion dépend du pH et de la température (Rodier, 1996).

➤ **Ions nitrates NO_3^- et nitrites NO_2^-**

Les nitrites et nitrates sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+) (Gaujour, 1995). Ils sont extrêmement solubles ; ils pénètrent le sol et les eaux souterraines où se déversent dans les cours d'eau par ruissellement. Ils constituent une des causes majeures de la dégradation des eaux à long terme.

Les nitrites sont formés par dégradation de la matière azotée mais ils sont rapidement transformés en nitrates dans les sources d'eau potable (Lepeltie, 2005). Dans les eaux, la quantité des nitrates maximale admissible est fixée de 50 mg/L (Coulais, 2002). Chez les nourrissons, la réduction du nitrate en nitrite peut provoquer une méthémoglobinémie (inaptitude du sang à transporter l'oxygène) (Ganjour, 1995).

n. Eléments Traces Métalliques (Métaux lourds)

➤ **Plomb Pb**

C'est un constituant naturel, largement réparti dans la croûte terrestre. C'est un métal toxique, il est quasiment inexistant dans l'eau à l'état naturel. Sa présence éventuellement ne peut provenir que de la corrosion des canalisations de distribution de l'eau (Rodier, 2005). Il a un effet cumulatif sur l'organisme à l'origine de nombreux troubles de la santé (des lésions du système nerveux, l'hypertension) (Rodier, 2005).

➤ **Cadmium Cd**

Le cadmium est un métal blanc, mou ductile et flexible. Il est naturellement assez rare dans l'environnement où on peut le trouver associé au zinc (Bontoux, 1993).

➤ **Manganèse Mn**

C'est un métal qui peut provoquer une coloration et il est à l'origine de dépôts dans les réseaux. Par ailleurs il affecte les paramètres organoleptiques de l'eau comme d'autres métaux cuivre, aluminium, zinc. Dans les eaux de surface, le manganèse se trouve en général à l'état oxydé et précipité ; il est donc éliminé par traitements classiques de clarification (Degremont, 2005).

Les déchets industriels et les ordures ménagères sont les principales sources de pollution par le cadmium, élément qui circule dans les eaux et les sols avec grande facilité. Sa très nette toxicité se manifeste particulièrement par des atteintes rénales (Bontoux, 1993).

O. Autres Substances Polluantes

➤ **Hydrocarbures**

Susceptibles de polluer l'eau ; ils ont pour source les rejets pétroliers, d'huiles de vidanges d'effluents de différents d'industries. Leur nuisance est l'apparition de goûts et d'odeurs pour des seuils extrêmement variables. La toxicité serait à craindre dans les eaux de

boisson pour des doses supérieures aux seuils d'apparition de goûts et odeurs. On a constaté des affections cutanées dues à des produits d'additions du mazout (Degremont, 2005).

➤ **Pesticides**

D'origine agricole, ils sont destinés à la protection, à l'amélioration de la production végétale et à la préservation des récoltes. Ils sont entraînés par les eaux de pluie ou de ruissellements. Ce sont des produits toxiques et peuvent affecter le goût et l'odeur à une certaine dose (Alpha, 2005).

➤ **Phénols et dérivés**

Ils sont l'indice d'une pollution industrielle. Leur nuisance la plus marquante est le goût du chlorophénol qui apparaît dans l'eau en présence de chlore pour des teneurs extrêmement faibles (Degremont, 2005).

➤ **Eaux météorites**

Le terme «météorites» désigne les eaux de pluie avant qu'elles n'aient ruisselé sur une surface imperméabilisée. La composition de ces eaux est liée à celle de l'atmosphère puisqu'elle se charge de polluants lors de son lessivage. Ainsi, la qualité des eaux météorites peut varier considérablement en fonction de la zone géographique considérée et de ses caractéristiques. Les polluants susceptibles de se retrouver dans les eaux météorites des zones présentant une forte activité industrielle ou un fort trafic sont les composés organiques volatils et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Dans les zones présentant une activité agricole, les pesticides peuvent être significativement présents (Claire, 2011).

9.1.3. Caractères Microbiologiques

L'eau destinée à l'alimentation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables. Ce sont des bactéries, des virus, voire des champignons et des algues (Haslay et Leceler, 1993).

a. Germes totaux

Ce sont des germes qui se développent dans des conditions aérobies. Leur présence est indicatrice de pollution bactérienne. Leur dénombrement donne une information sur la qualité

hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine. Ainsi, ils renseignent sur le degré de protection des nappes souterraines d'où provient l'eau à analyser (Rodier, 2005).

b. Coliformes

Les coliformes appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Le terme « coliforme » correspond à organismes en bâtonnets, non sporogones, Gram-négatifs, oxydase négatif, aéro-anaérobies facultatif, capable de fermenter le lactose (et mannitol) avec production d'acide et gaz en 48 heures à des températures de 35 et 37 °C. Les coliformes comprennent les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia* (Rodier, 2005).

c. Coliformes fécaux ou Coliformes thermo - tolérants

Les coliformes fécaux ou coliformes thermo tolérants correspondent à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques des coliformes) après incubation à la température de 44 °C (Edberg et al., 2000).

Escherichia coli est sans doute le plus spécifique de tous les germes de contamination fécale. Le terme « *Escherichia coli* présumé » correspond à des coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane à 44 °C et ont des caractères biochimiques propres à cette espèce (Bourgeois et Mesle, 1996).

d. Streptocoques fécaux

Sous la dénomination générale de «Streptocoques fécaux», il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant une substance antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield. (Rodier, 2005). Ils sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale. Ils sont des Gram positifs, groupes en chaînettes, anaérobies facultatifs, catalase négatif et immobiles (Bourgeois et Mesle, 1996).

e. Clostridium sulfito-réducteurs

Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale ancienne ou intermittente. Leur permanence marque la défaillance en un point donné du processus de filtration naturelle (Armand, 1996).

Ce sont des bacilles Gram positifs, anaérobies stricts, isolés ou en chaînettes, mobiles, catalase positif, réduisent le sulfite de sodium en sulfure. La forme sporulée des *Clostridium*

sulfito-réducteurs est beaucoup plus résistante que les formes végétatives (Bourgeois et Mesle, 1996).

f. Salmonelles

Les Salmonelles appartiennent à la famille des Entérobacteriaceae, bacille à Gram négatif, anaérobie facultatif, habituellement mobiles grâce à une ciliature péritriche, mais des mutants immobiles peuvent exister (Bourgeois, et Mesle, 1996). Les sérotypes adaptés à l'homme sont: Salmonella. Typhi et sérotypes S. paratyphi A et S. Sendai, responsables de la fièvre typhoïde humaine.

Les Salmonelles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pouvoir pathogène varient énormément (Rodier, 2009).

10. Pourquoi protéger l'eau souterraine ?

L'eau est une ressource indispensable à la vie humaine. Pour beaucoup de Québécois, l'eau souterraine constitue l'unique source d'alimentation en eau potable. Elle constitue également une composante essentielle à la sauvegarde des écosystèmes aquatiques. Toutes les espèces animales en dépendent. En plus de constituer une source d'alimentation en eau potable, elle sert à plusieurs autres types d'activités (domestiques, agricoles, industrielles, etc.). Bon nombre de citoyens prennent encore pour acquis la disponibilité infinie de cette ressource, alors qu'elle est limitée et fragile. Du fait qu'elle est cachée et invisible, l'eau souterraine est trop souvent considérée comme à l'abri des risques de contamination.

Pourtant, elle est fortement exposée à de multiples sources de contamination associées aux activités humaines. Sa fragilité et sa vulnérabilité aux nombreuses sources de contamination ne sont cependant pas bien comprises.

Au cours des dernières années, des événements altérant la qualité des eaux souterraines ont contribué à sensibiliser les citoyens et les autorités gouvernementales à l'importance d'avoir accès à une eau souterraine de bonne qualité et ont permis de souligner les conséquences néfastes d'une eau potable de mauvaise qualité sur la santé humaine. Par ailleurs, le traitement d'une nappe d'eau souterraine contaminée peut s'avérer long et coûteux, voire impossible dans certains cas. Ainsi, minimiser les risques de contamination de l'eau souterraine est de loin la solution la plus efficace. Étant donné que l'eau souterraine n'est pas statique et qu'elle se déplace dans les formations géologiques, il va sans dire que des efforts doivent être entrepris afin de protéger convenablement cette ressource, et ce, même aux endroits où elle n'est pas directement utilisée comme source d'alimentation en eau potable.

11. La virologie des milieux hydriques

Il est possible d'admettre avec folie que les virus isolés des eaux ont des caractéristiques telles qu'ils peuvent être considérés comme une entité propre dénommée hydro virus.

L'importance du milieu hydrique comme voie de transmission de maladies à virus est, en pratique, relativement difficile à cerner du fait, d'une part, de la sous-estimation des résultats des analyses virologiques dues au faible rendement des techniques analytiques d'extraction et de concentration des virus, d'autre part, des limites des méthodes épidémiologiques.

En ce qui concerne la surveillance du milieu hydrique, celle-ci pour être efficace, devrait évoluer et être fondée non plus sur l'isolement des bactéries témoins de contamination fécale mais sur la mise en évidence d'un indicateur véritablement spécifique d'une contamination virale (Schwartzbord, 1991).

11.1. Maladies à transmission hydrique (Maladies liées à la consommation de l'eau)

Dans la nature, l'eau n'est pas toujours source de vie car elle peut véhiculer en particulier un nombre de micro-organismes, bactéries, virus et parasites en tous genres qui y vivent et s'y développent (Rodier, 1999).

Les principaux symptômes de toutes les maladies hydriques sont les suivants :
Diarrhées ou rarement constipations, crampes abdominales, fièvre et vomissements. Cette similitude de symptômes ne facilite pas l'établissement d'un diagnostic sûr, c'est pourquoi, pour aider le médecin dans cette tâche, on doit lui fournir le maximum d'indices (pays récemment visités, personnes rencontrées, aliments consommés, précautions prises et risques professionnels) (François, 2008).

- **Choléra :** Maladie contagieuse d'origine bactérienne qui provoque des infections intestinales aiguës, dont les symptômes sont diarrhées fréquentes, vomissements incontrôlables, soif intense et une déshydratation rapide. Cette maladie peut entraîner la mort dans 80% des cas graves non traités [4].
- **Fièvre typhoïde :** Fièvre d'origine bactérienne qui entraîne de la fièvre, des maux de tête, de l'anorexie, un ralentissement du rythme cardiaque, une augmentation du volume de la rate, la formation de taches roses sur le corps, une toux sèche et de la

constipation. Cette maladie, qui peut être bénigne et asymptomatique, peut entraîner la mort dans 1% des cas.

- **Fièvre paratyphoïde** : Maladie d'origine virale, cliniquement semblable à la fièvre typhoïde. Le taux de mortalité est toutefois plus faible [5].
- **Dysenterie** : Terme générique qui caractérise des maladies entraînant une diarrhée douloureuse et sanglante accompagnée de coliques, de nausées et de vomissements, dysenterie bacillaire ou shigellose (causée par diverses bactéries), dysenterie amibienne ou amibiase (causée par des amibes). Seule la shigellose peut entraîner la mort, les taux de mortalité peuvent atteindre 20%.
- **Diarrhées infectieuses** : Maladies causées par diverses bactéries et dont les symptômes sont des selles liquides, des vomissements et de la fièvre. En général, elles n'entraînent pas la mort (Briere, 2000).

Chapitre II

Produced with ScantOPDF

1. Localisation géographique

La wilaya de Guelma s'étend sur une superficie de 3.686,84. Elle se situe au Nord-est de l'Algérie à 60 Km environ de la méditerranée et à l'est d'Alger. Elle occupe une position médiane entre le Nord du pays, les hauts plateaux et le Sud.

Elle est limitrophes aux wilayas de :

- Annaba, au Nord
- El Taraf, au Nord-est
- Oum el Bouaghi, au sud
- Constantine, à l'Ouest ;
- Skikda au Nord-ouest (Zouaidia, 2006).

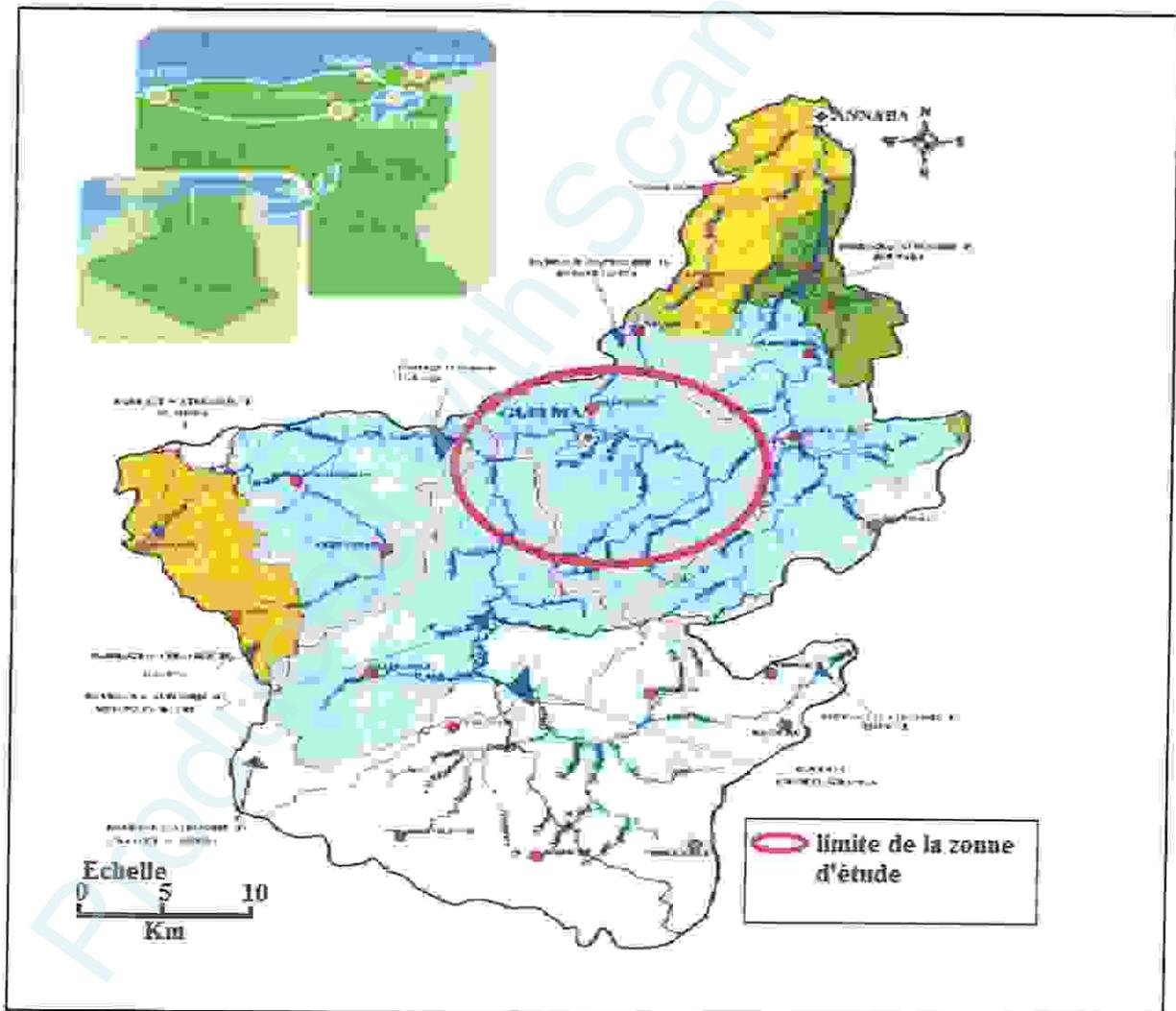


Figure 07 : Carte de Situation Géographique de la wilaya de Guelma.

2. Relief et géologie

2. 1. Relief

La géographie de la wilaya se caractérise par un relief diversifié dont on retient essentiellement une importante couverture forestière et le passage de la Seybouse. Ce relief se décompose comme suit :

- **Montagnes** : elles constituent 37,87% dont les principales sont :
 - Mahouna avec une altitude de 1.411 m.
 - Hourra : 1.292 m d'altitude.
 - Taya : 1.208 m d'altitude.
 - Debagh : 1.060 m d'altitude.
- **Plaines et plateaux** : Ils constituent 27,22% de la superficie de la wilaya.
- **Collines et Piémonts** : qui constituent 26,29% de la superficie totale, plus autres types de relief constituant 8,67%.

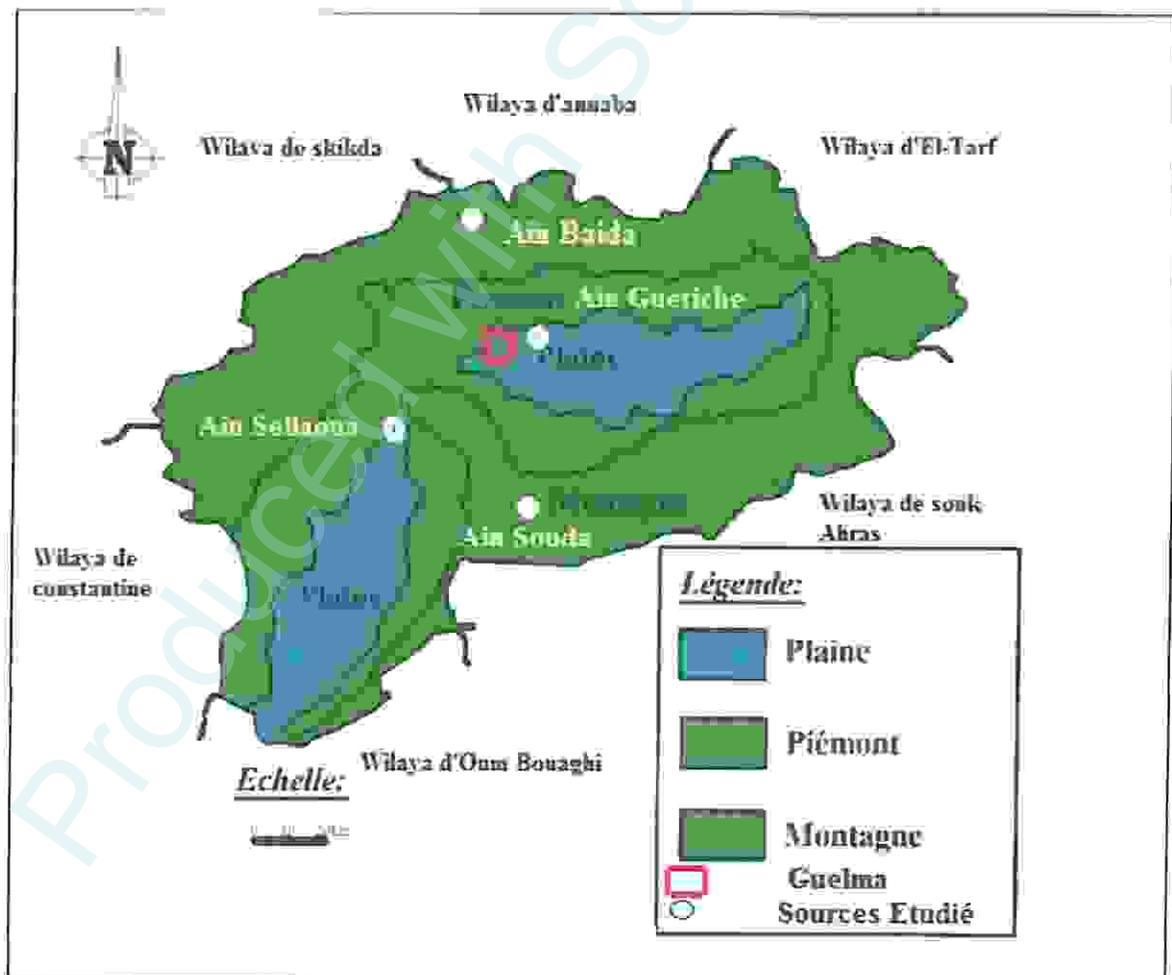


Figure 08 : Géomorphologie de la région de Guelma (Benmarce, 2007).

2.2. Géologie

La wilaya de Guelma située entre le littoral et les abords des haut plateaux elle se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement à toutes les époques avec la plus d'intensité le mouvement orogéniques qui ont infecté cette partie de l'Algérie

L'analyse du territoire de la wilaya fait ressortir quatre ensembles ou régions à savoir : La région de Guelma, La région de Bouchegouf, la région d'Oued Zénati, La région de Tamlouka (Zouaidia, 2006).

2.2.1. Région de Guelma

La région de Guelma englobe toute la partie médiane du Nord vers le Sud du territoire de la wilaya. Elle est organisée en auréole tout autour de la plaine centrale constituée de terrasses alluviales qui s'étalent le long de l'oued (la vallée de la Seybouse).

C'est la région la plus étendue du territoire de la wilaya. Elle se caractérise aussi par une importante couverture forestière au Nord et à l'Est. Par contre, la partie Sud souffre de dégradations répétées d'où une absence de couverture forestière fournie en dépit du caractère montagneux de cette sous-région, et d'où une grande vulnérabilité à l'érosion.

2.2.2. Région de Bouchegouf

Elle se caractérise par un relief fortement montagneux (près de 75%). Cette région est traversée par l'oued Seybouse dont les berges constituent les prolongements de la plaine de Guelma. Ces montagnes sont couvertes de massifs forestiers, notamment les forêts de Béni Salah et de Ain Ben Beida (une partie de Haouara à l'Ouest). Son paysage se caractérise par de longs versants réguliers à pentes moyennes et quelques hautes surfaces à pentes plus faibles, outre quelques plaines moins importantes que celle de Guelma.

2.2.3. Région d'Oued Zénati

La région d'Oued Zénati chevauche un relief montagneux plus ou moins disséqué. Le paysage dominant est de loin celui des hautes surfaces montagnardes et les longs versants dispersés dans un ensemble de montagnes dont la couverture forestière est moins importante que celle de la région de Guelma. Les sols qui s'y localisent sont en grande partie des sols bruns calcaires parfois profonds.

3. Cadre Hydrogéologique

La connaissance de l'hydrogéologie de la région et l'hydrodynamisme est très intéressante car elle permet d'envisager les échanges souterrains qui peuvent se produire dans les aquifère. En se basant sur la description géologique des terrains ainsi que sur les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation (Bechiri, 2011), on distingue :

3.1. Identification des nappes :

La région de Guelma est constituée de terrains sédimentaires d'âge Crétacé Oligocène, Mio-Pliocène et Quaternaire. Le fond du bassin est occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres. Les formations numidiennes se développent largement au Sud de Guelma. Ce sont surtout les calcaires Yprésiens qui dominent, viennent ensuite les grès numidiens du flanc de Mahouna, les séries marno-calcaires et les argiles. L'ensemble est fortement tectonisé.

Il en résulte des facteurs qui favorisent la présence de plusieurs unités aquifères dans les marno-calcaires (Crétacé supérieur). L'oued Seybouse a creusé dans la même série et a mis à jour trois petites sources, c'est un indice de la présence d'une nappe à faible ressource.

Les bancs de calcaires Yprésien de la région Sud de Guelma, affleurent largement jusqu'à la région de Sédrata. Ces calcaires sont fortement fissurés. Ce qui permet la constitution de ressources aquifères importantes, mais rapidement restituées. Les formations numidiennes dans la région de Guelma sont constituées d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses. Au Nord de Héliopolis, d'El Fedjoudj et de Guelât Bou Saba, affleurent des formations marneuses et schisteuses pauvres en eaux souterraines, alors qu'à l'Ouest de cette zone s'élèvent les calcaires Sénoniens du Djebel Debagh et Taya où l'infiltration est probablement importante, donc présence d'eau. Le centre du bassin est occupé par des dépôts quaternaires dont lesquels on peut distinguer plusieurs terrasses.

Quant à la dépression de Boucheghouf, elle est encadrée à l'Ouest et au Nord par des grès, au Sud par des formations triasiques marneuses et gypseuses et au centre elle est comblées par les alluvions déposées par la Seybouse qui forment trois niveaux : la haute, la moyenne et la basse terrasse. Les alluvions de cette dernière peuvent receler des eaux souterraines alimentées par l'Oued Seybouse là où elles ne sont pas trop argileuses.

Le bassin de Guelma présente plusieurs ensembles lithologiques qui impliquent des zones hydrogéologiques différentes. Au Sud, des formations fracturées, indice d'une bonne infiltration donc importante accumulation d'eau souterraine. Sur la rive gauche de la Seybouse, on rencontre des formations pour lesquelles l'infiltration se fait très difficilement. Enfin, au centre les alluvions quaternaires (poudingues, graviers, galets, limons ...) à forte perméabilité renferment une nappe très importante. Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la plaine, a permis de distinguer un ensemble du remplissage Moi-Plio-Quaternaire capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions argilo-limoneuses au niveau de la nappe phréatique et par les sables de la nappe du cordon dunaire.
- le réservoir de la nappe des graviers, représenté par des galets et des graviers intercalés avec des lentilles de sable et d'argile.

3.2. Zones hydrogéologiques dans la zone d'étude

Le territoire de la wilaya de Guelma comporte globalement quatre zones (sous bassins versants) hydrogéologiques distincts :

➤ Zone des plaines de Guelma et Bouchegouf (moyenne et basse Seybouse)

Les nappes captives du champ de Guelma s'étendent sur près de 40 Km le long de la vallée de la Seybouse et sont alimentées par les infiltrations et les ruissellements qui déversent dans l'Oued Seybouse. Elles constituent les plus importantes nappes de la wilaya. Au niveau de la nappe de Bouchegouf, les alluvions paraissent moins perméables que ceux de la plaine de Guelma. Elle peut contenir une nappe alluviale moins importante.

➤ Zones des Djebels au Nord et Nord-Ouest

Elle s'étend sur toute la partie Nord de la région du territoire de la wilaya. Elle regroupe toute la partie de l'Oued Zénati et la partie Nord de la région de Guelma. En dehors de la plaine, une grande partie de cette région est constituée d'argiles rouges numidiennes sur lesquelles reposent des grès peu perméables. Cette zone connaît une faible perméabilité en dépit d'une pluviométrie relativement importante. Cependant, sur les calcaires créacés inférieurs des Djebels Debagh et Taya, l'infiltration est probablement importante dans l'ensemble et malgré une importante pluviométrie, notamment dans sa partie Nord, la région a des potentialités en eaux souterraines assez faibles.

➤ **La zone des plaines et des collines de Tamlouka**

Il est à remarquer pour cette région que les structures synclinales du crétacé supérieur peuvent contenir des nappes actives par des infiltrations sur les calcaires qui n'ont pas une bonne perméabilité quand ils sont profonds. Des nappes phréatiques s'établissent dans les formations Quaternaires reposant sur des argiles miocènes. Elles sont drainées par les différents affluents de l'oued Charef, mais une partie de leurs eaux s'évapore dans les régions marécageuses.

➤ **La zone des Djebels surplombant les oueds Sédrata et Hélaï :**

Cette région s'étend sur les parties Nord de la région de Tamlouka et Sud de la région de Guelma et Bouchegouf. Sa partie Sud est certainement la mieux fournie en eau. Elle se caractérise par la présence des hautes dalles calcaires du crétacé supérieur qui sont perchées sur des marnes. Des sources assez importantes jalonnent à leur contact. Sur l'autre partie de la zone (la plus étendue), les dalles calcaires sont plus redressées et fractionnées et des sources par fois relativement importante jaillissent des calcaires en contact des marnes (Zouaidia, 2006).

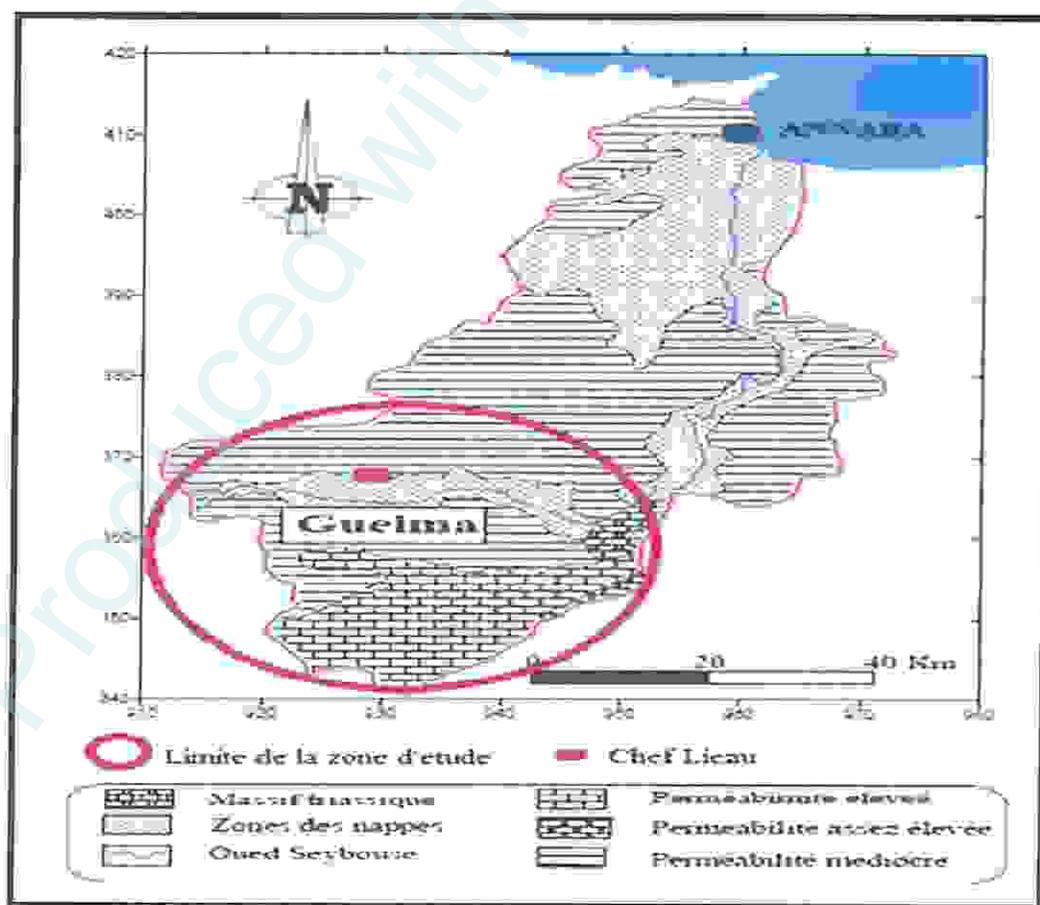


Figure10 : Zones hydrogéologiques dans la zone d'étude (Zouaidia, 2006).

4. Réseau hydrographique (Principaux oueds) et ressources en eau souterraine

4.1. Réseau hydrographique

Les principaux Oueds dans la région de la wilaya sont :

- **Oued Seybouse** : il prend sa source à Medjez Amar (point de rencontre entre oued Charef et oued Bouhamdane). Il traverse la plaine de Guelma-Bouchegouf sur plus de 45 Km du Sud au Nord. Son apport total est estimé à 408 millions m^3 /an.
- **Oued Bouhamdane** : il prend sa source dans la commune de Bouhamdane à l'Ouest de la wilaya. Son apport est de 96 millions m^3 /an.
- **Oued Mellah** : provenant du Sud-est, ce court d'eau enregistre un apport total de 151 millions m^3 /an.
- **Oued Charef** : prend sa source au Sud de la wilaya et son apport est estimé à 107 million m^3 /an (Zouaidia, 2006).

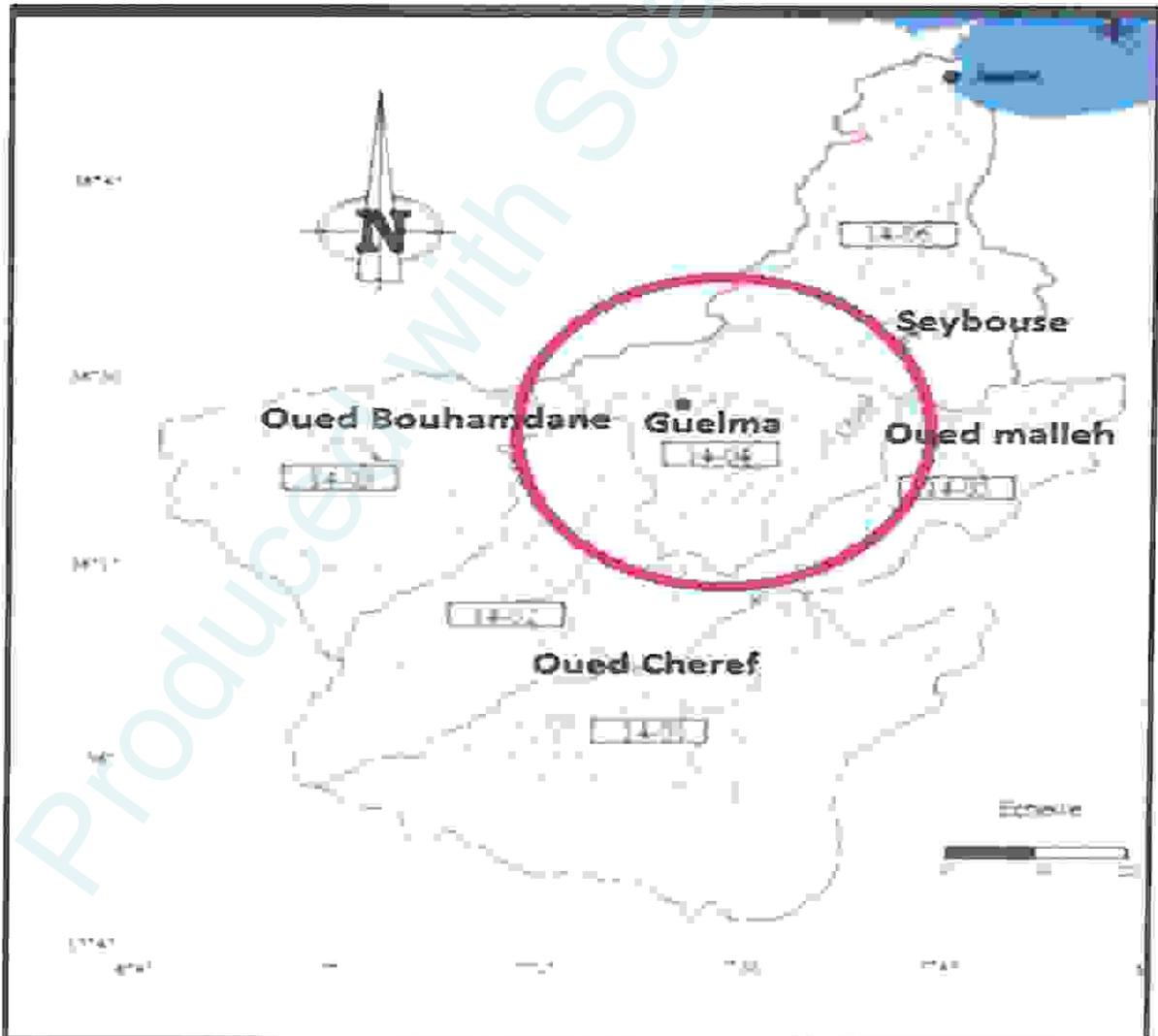


Figure11 : Réseau hydrographique (Bechiri, 2011).

4.2. Ressources en eau souterraine

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique de la région de Guelma D'après l'étude géophysique (Enageo, 1971 ; Algéo, 1997 ; Graag, 2004). Le système hydrogéologique de la région renferme les six aquifères suivant :

- Nappe alluvionnaire de Guelma ;
- Nappe alluvionnaire de Bouchegouf ;
- Nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis ;
- Nappe des calcaires Eocènes de Ras El Agba-Sellaoua-Announa ;
- Nappe des calcaires de Bouhechena ;
- Nappe des calcaires de Tamlouka ;

4.2.1 Nappes alluvionnaire de Guelma

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. Elle est sillonnée par l'Oued en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador (Djabri, 1996). C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts Miocènes (argiles et marnes à gypses) et quaternaires (alluvions hétérogènes sous forme de terrasse). Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltration des pluies et des nappes latérales du bassin versant de la Seybouse. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute).

• Basse terrasses

C'est la vallée dans la quelle coule l'actuel Oued Seybouse. Elle est formée de graviers, et sable et de galets. Son épaisseur croît vers l'Est, elle de 8 m au Nord de la ville de Guelma et atteint 16m au Nord-est de Boumahra. Le substratum est constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène dans sa partie Ouest. A l'Est, il est constitué d'argiles et de grès numidiens (Mouassa, 2006).

• La moyenne terrasse

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

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

Elle est située au Sud de la moyenne terrasse elle est formée d'alluvions grossières plio-quadernaire (galets, graviers, grès, sables et quelques passées argileuses) perméables. La couche superficielle montre une affinité argileuse nette. Le substratum est aussi constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène jusqu'à l'Oued Bousera. Vers l'Est, il est constitué d'argiles éocènes. L'épaisseur de cette partie de la nappe aquifère est plus importante que celles des deux premières et varie de 50 m à 150 m par endroits (H'Fais) entre Belkheir et Boumahra. Elle est limitée au Sud par les travertins de Guelma qui l'alimentent en partie. (Mouassa, 2006). La plus grande quantité en eau de la nappe est exploitée par le biais de forages de différentes profondeurs, depuis, et de captage de sources.

4.2.2. Eaux souterraines (ensemble Wilaya)

On recense près de 119 points d'eau dont 97 opérationnels totalisant une capacité de près de 64 millions m³/an couvrant 95 % de la demande domestique.

Tableau 06 : Répartition des capacités souterraines par type (Boussis, 2009).

Désignation	Nombre	Volume en million m ³ /An
Puits	22	0.80
Sources captées et/ou aménagées	19	1.30
Forages (AEP + Irrig. Industrielle)	78	20
Ensemble	119	22.10

Nombre de sources non aménagées : 300 Volume produit : 9 millions m³/an

5. Les principaux types et origines de pollutions dans la zone d'étude

La pollution des eaux superficielles et souterraines peut avoir diverses Origines. Selon les activités des différents secteurs, elle peut être d'origine domestique, industrielle ou agricole (Guilleminc et al, 1992). Dans la zone d'étude le diagnostic établi après enquête et inspection des lieux a permis d'identifier et de localiser les pollutions suivantes.

5.1. Pollution domestique

Dans le cas d'assainissement collectif ou individuel défectueux ou en contact hydraulique avec les nappes, les substances indésirables contenues dans les eaux vannes et les eaux ménagères (matières organiques, solvants, détergents micro-organismes, antibiotiques...), peuvent être transférées dans la nappe. Dans la zone d'étude, les eaux usées des agglomérations déversent dans les affluents des principaux cours d'eau. En effet, l'Oued Sekhoune et l'Oued Maiz, drainant les eaux usées de la ville de Guelma traversent du sud au nord la nappe alluvionnaire avant d'atteindre l'Oued Seybouse (Monassa, 2006).

Les trois décharges publiques existant sur les deux rives de l'Oued Seybouse, contribuent aussi à cette pollution par leur lessivât. La première au Nord de Gueulât Bousbaa, la deuxième à l'Est d'Héliopolis et qui revêt le caractère d'un C.E.T classe II compte tenu de la quantité et de la diversité des polluants reçus quotidiennement, et la troisième à Djebel Hallouf au Sud de la ville de Guelma et à l'amont de l'ancienne terrasse de la nappe alluvionnaire.

5.2. Polluants d'origine industrielle

Les polluants d'origine industrielle sont très variés selon le type d'activité. Ils peuvent être : des substances organiques, sels minéraux, des métaux lourds, des produits organiques de synthèse. Dans notre zone d'étude, ces types de pollutions existent éventuellement.

Les zones industrielles au nombre de trois sont situées respectivement à l'amont de Oued Zimba (zone d'alimentation de la nappe alluvionnaire), sur la rive gauche de Oued Maiz (cité Rahabi) et au Sud d'El Fedjoudj sur la rive gauche de l'Oued Seybouse. Les stations de lavage et de carburants au nombre de quinze (15) concentrées surtout sur l'axe Guelma-Belkebir-Boumahra et les unités industrielles (Sogedia et Céramique, briqueterie et carrelage), déversent dans les affluents de l'Oued Seybouse (O.Skhoun, O.Maiz ,O.Zimba et O.Boussora).

5.3. Pollution d'origine agricole

Les pratiques actuelles des cultures et d'élevage influencent fortement le régime et la qualité des eaux. L'utilisation massive des engrais et des produits chimiques de traitement des plantes détruit la vie dans les rivières et rend impropre à la consommation humaine et parfois animale les eaux superficielles et souterraines (Débiche, 2002). Le transfert des engrais et pesticides vers la nappe se fait soit par infiltration sur l'ensemble de la surface cultivée, soit par rejet dans les puits perdus et gouffres.

Une enquête auprès des fermes pilotes, a permis d'identifier et quantifier les types d'engrais à base d'azote utilisés à raison de 1,5q/Ha. Les élevages intensifs des bovins (étables, fermes pilotes) et volailles (poulaillers), produisent une grande quantité de déjections azotées qui peuvent être aussi à l'origine de la pollution des eaux de surfaces et souterraines.

6. Cadre biotique

6.1. La flore

La Wilaya de Guelma comprend une superficie de couverture forestière de 105.395 ha, soit un taux de 28,59% de la superficie totale de la wilaya à un paysage discontinu et hétérogène, confiné discontinuellement dans les massifs répartis d'Ouest en Est. Les grands espaces de terrains sont à vocation forestière dans la partie Sud-est. Selon la densité, les forêts se répartissent comme suit :

- Forêts denses : 19.459 ha
- Forêts claires : 10.491 ha
- Maquis et broussailles : parcours : 57.402 ha
- Reboisements : 3.589 ha
- Vides : 14.457 ha

Le taux de reboisement est de 10 % dénotant un effort considérable de reforestation du territoire. Les principales forêts sont :

- Forêts de Béni Salah : réserve nationale en liège (12.745 ha)
- Forêt de la Mahouma : d'une vocation récréative s'étalant sur 1.035 ha
- Forêt de Haouara : avec une superficie de 2.374 ha
- Forêt dense Béni Medjalel à Bouhamdane : 3.506 ha

Les principales essences sont le chêne liège (localisé dans Béni Salah, Haouara, Djellaba, Mahouma), l'eucalyptus, le pin d'Alep, le pin maritime, le chêne zen et le cyprès. Ces dernières se répartissent selon la superficie comme suit :

- Chêne liège : 21.884 ha
- Eucalyptus : 2.657 ha
- Pin d'Alep : 2.915 ha
- Chêne zen : 2.753 ha
- Cyprès : 1.517 ha
- Pin maritime : 1.410 ha

Les principales productions sont le chêne liège et le chêne zeen, avec un volume de production de 1.500 stères. Pour le bois, l'eucalyptus et le pin d'Alep avec 29.358 m³ environ. (Zouaidia, 2006).

6.2. La Faune

- **Les mammifères** : loup, sanglier, chacal, renard, lièvre, lapin, gerboise, serf de barber représentent une espèce protégée.
- **les oiseaux** : perdrix gambara, caille des blés, tourterelle, chardonneret (espèce hyperprotégée) ; moineaux, hibou, palombe, cigogne blanche, héron garde -boues, héron cendré.
- **les reptiles** : tortue, lézard, couleuvre.

7. Aspects sociaux économiques

Après l'indépendance, l'ORGM a effectué plusieurs campagnes de prospection et plus précisément en 1973, 1984 et 1994 sur le gîte de soufre de Héliopolis. A ces travaux s'ajoutent d'autres études dans le cadre de la mise en valeur de d'agrégats. La SONAREM (1979) a effectué des travaux de révision prévision des substances utiles nom métalliques dans la région de Guelma.

Sur le plan minier, la région de Guelma recèle un potentiel en substances utiles non négligeable dont les plus importantes sont :

- **Argiles** pour la fabrication des briques et des tuiles : le gisement le plus important set celui de Bouchegouf dans les formations argileuses du Numidien ;
- **Gypse**, dans les formations du trias et du Miocène : indice de Djebel Nador, indice de Héliopolis et l'indice de Medjez Sfa ;
- **Roches** pour agrégats ; les gisements de Douar Bou Zitoune et Djebel Debagh, l'indice de hammam N'baïl et Galaa Bou Dia ;
- **Barytine**: indice de boudaït Bou Kesrouba et Bou Zitoune ;
- **Dolomie**: gisement de djebel Faïa, et Djebel Debbagh et Mechrakha ;
- **Calcaires**: indice de Djebel Debagh et Ras El Ma ;
- **Kaolins et halloysites**: gisement de Djebel Debbagh et l'indice de Hammam N'baïl ;
- **Phosphorites et halloysites**: indices d'Ain Arbi, Ain souda Djebel Bardo, Djebel Nador, Djebel El Kouz et Kef El Aksi ;

- **Soufre** : indice de Héliopolis. Les montagnes et bassins versants de Houar, Mahouna, débar et la forêt de Béni Salah offrent d'importantes opportunités de développement rural. Sur une superficie forestière de 105.250 ha (28,45%), les forêts (clairs et denses) occupent une superficie de 29,950 ha dont 24.437 ha en chêne-liège d'où des opportunités de traitement, d'exploitation et de transformation de liège.

Les terres à grand potentiel agricole se situent dans le Sud-ouest (plaines d'ouest Zénati et Tamlouka réputées par la céréaliculture et l'élevage.

Quant à la vallée de l'ouest Seybouse que s'étend sur près de 45 Km, elle toutes les conditions nécessaires à la production des cultures intensifiées en irrigué et de l'élevage bovin. Le sol du territoire de Guelma recèle d'importantes richesses minières qui sont principalement le marbre, le kaolin, l'argile, les agrégats ...et que ont permis l'existence d'une industrie des matériaux de construction, susceptible d'être davantage développée. Quant aux richesses touristiques, elles sont importantes et diversifiées (thermes Hammam Debagh, de Hammam Ouled Ali, de Hammam Gurefa et Belhachani), offrant de grandes de développement du thermalisme. Le rythme de développement socio-économique dépend de la densité de population, de l'activité industrielle et agricole (Benmarce, 2007).

8. Etude climatique

Guelma, ville du Nord-est algérien se situe entre 36°et 28°de latitude Nord et 7° et 25°de longitude Est. Elle occupe une position médiane entre le Nord, les hauts plateaux et le Sud du pays. le climat de Guelma est celui de l'arrière littorale montagne, déterminé par des hivers plus froids et plus longs et des été chauds et mois humides que ceux des littorale.

L'interprétation des donne météorologique de Guelma sur une période de dix ans, et l'établissement de son diagramme solaire s'avère être indispensable pour mieux caractériser son climat. Ainsi, que pour définir les climats on devra s'appuyer constamment sur les données moyenne et extrêmes; d'où peuvent se mesurer les amplitudes moyennes des températures annuelles entre le mois le plus chaud et le mois le plus froid, et amplitude des extrêmes absolues de températures quotidiennes (entre le maximum diurne et minimum nocturne) (Medjelekh, 2006).

Pour la région d'étude, nous disposons des données climatiques de la station de Guelma située à Belkhier, distante de 5 km de la ville de Guelma. Le tableau qui suit, donne les caractéristiques géographiques et topographiques de cette station.

Tableau 07 : Caractéristiques géographiques et topographies de la station de Guelma.

Station de Guelma	Altitude	Longitude	Latitude	Période d'observation
	227	7° 28 E	36° 28 N	1999 à 2008

8.1. Paramètres climatiques :

8.1.1. Précipitations

Les précipitations sont l'élément le plus important parce qu'elles reflètent la circulation des eaux de surface et souterraines. De plus, toute étude climatologique nécessite une analyse bien détaillée des précipitations, car la pluie est un facteur qui conditionne l'écoulement saisonnier et par conséquent, le régime des cours d'eaux ainsi que celui des nappes. On dispose des données de précipitation moyennes mensuelles de précipitation moyennes et annuelle de la station de Guelma durant la période (1999-2008).

a. Précipitations moyennes mensuelles

Tableau 08 : Précipitation moyenne mensuelle dans la station de Guelma (1999 - 2008).

Mois	Juan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
P (mm)	102.1	54.88	57.26	65.29	49.29	18.82	2.82	9.99	37.58	30.43	65.7	95.06

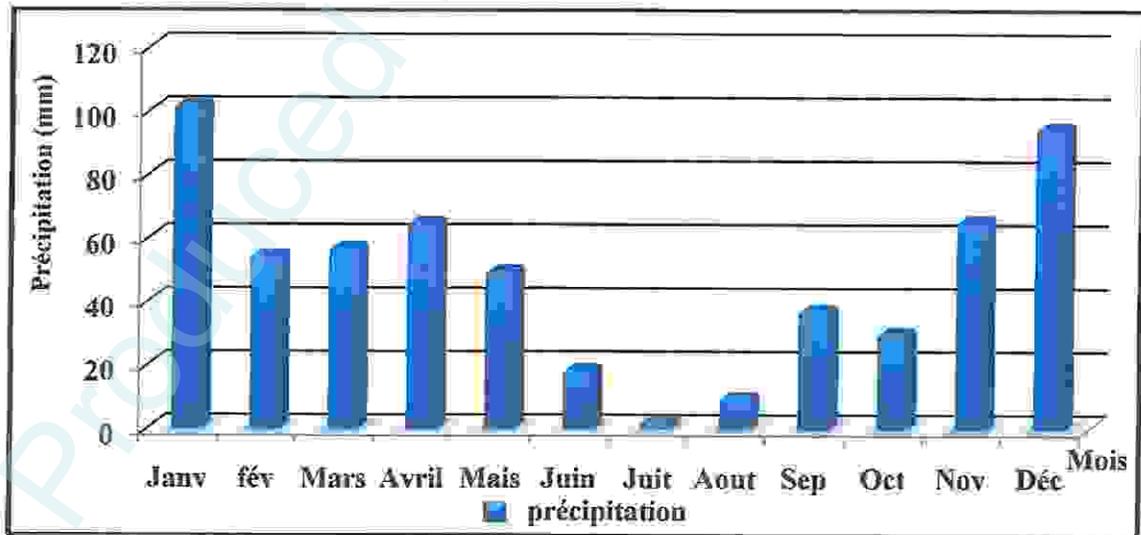


Figure 12: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles de la station de Guelma (1999 - 2008).

La plus forte valeur des précipitations est marquée au mois de Janvier avec 102.1 mm, tandis que la plus faible caractérise le mois de Juillet avec 2.82 mm.

b. Précipitations moyennes annuelles

Tableau 09 : Précipitation moyenne annuelle dans la station de Guelma (1999-2008).

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
P mm	41.34	33.77	40.25	42.01	78.20	67.06	45.08	39.85	60.25	43.8

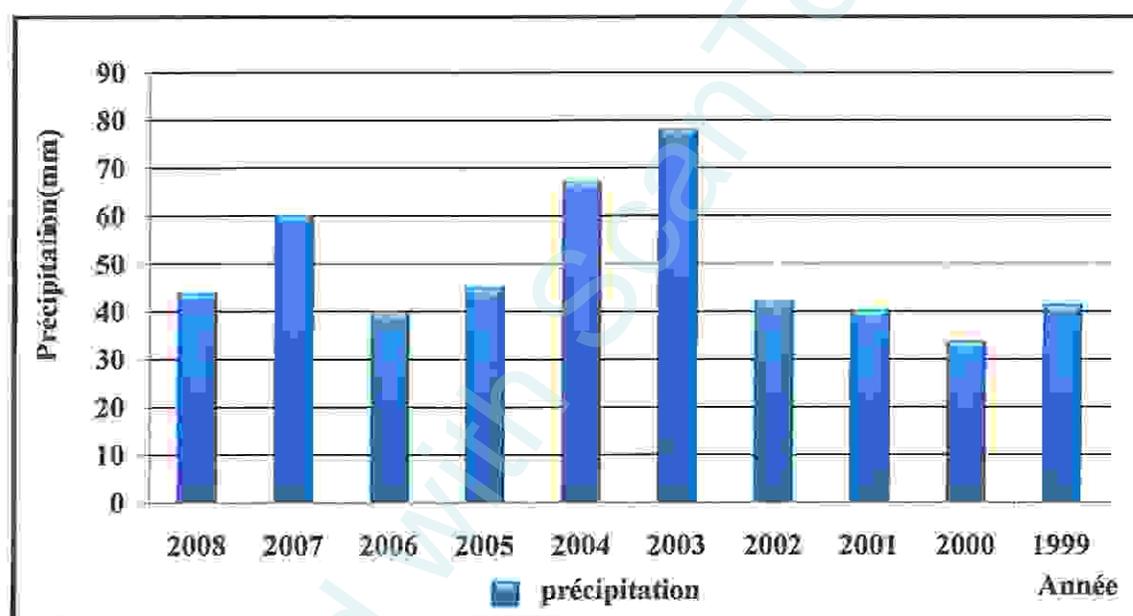


Figure13: Histogramme des précipitations moyennes annuelles de la station de Guelma (1999 - 2008).

On note des quantités élevées de précipitation dans trois années (2003-2004-2007) varie entre (60.25- 78.20 mm), par contre on note des quantités moyennes dans les autres années varie entre (33.77-45.08 mm).

8.1.2. Température

La température est le deuxième facteur dans l'étude climatique, car elle agit directement sur le phénomène d'évapotranspiration et par conséquent le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. On dispose des données de températures moyennes mensuelles, températures moyennes et annuelle de la station de Guelma durant la période (1999-2008).

a. Température moyenne mensuelle

Tableau 10 : Températures moyennes mensuelles.

Mois	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
T°C	9.29	9.98	12.78	15.37	19.8	24.47	27.36	27.56	32.62	20.51	14.27	10.59

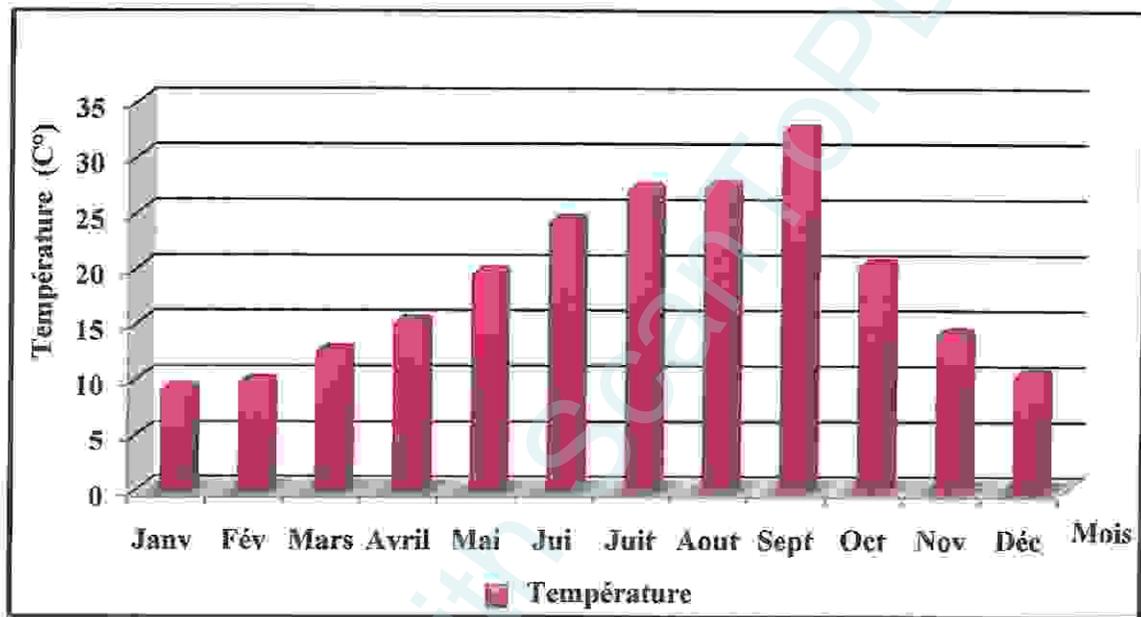


Figure 14 : Histogramme de La température moyenne mensuelle de la station de Guelma (1999 - 2008).

L'histogramme des températures moyennes mensuelles de notre station indique que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 9.29°C, par contre le mois septembre est le plus chaud avec 32.62°C.

b. Température moyenne annuelle

Tableau 11 : Températures moyennes annuelle.

Année	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
T°C	18.42	17.99	18.12	18.14	18.45	17.53	17.41	18.39	17.47	17.72

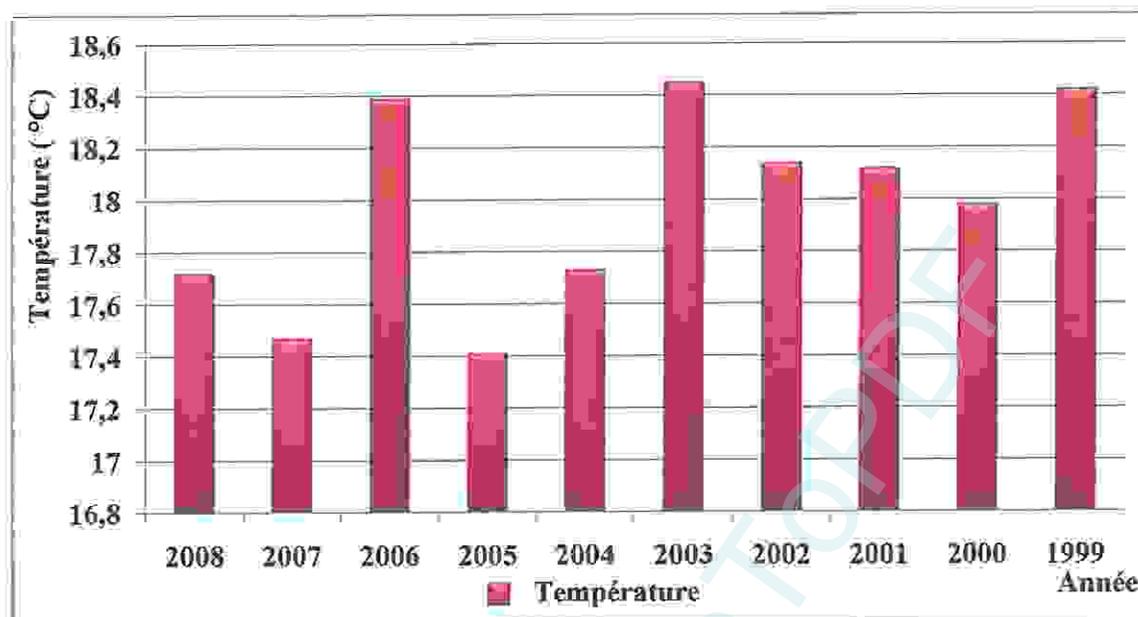


Figure 15 : Histogramme de La température moyenne annuelle de la station de Guelma (1999 - 2008).

On n'observe que les degrés de températures et moyennes durant la période (1999-2008) ne dépasses pas 20°C.

8.2. Relation température-précipitation

a. Diagrammes pluviothermique

Selon Bagnouls et Gaussen, une période sèche est due au croisement des courbes de température et des précipitations. Cette relation permet d'établir un graphe pluviométrique sur lequel les températures sont portées à échelle double des précipitations.

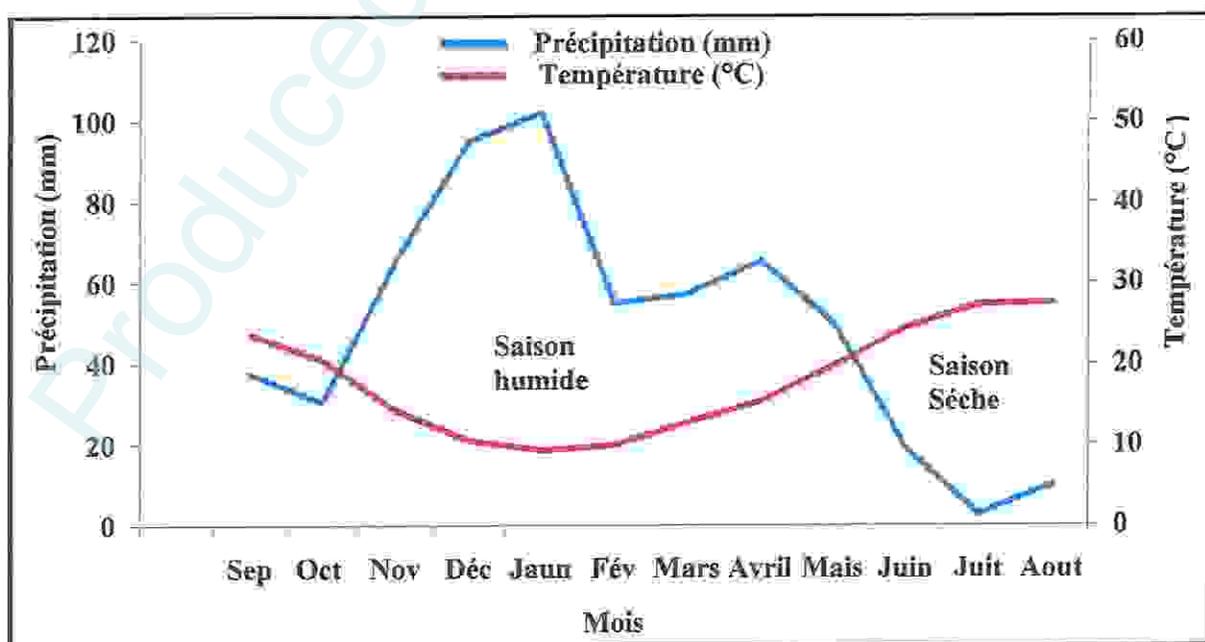


Figure 16 : Diagrammes pluviothermique de la station de Guelma (1999 - 2008).

D'après ce diagramme établi à partir des données de températures et précipitation de la station de Guelma (1999 -2008). On peut distinguer deux périodes :

- La première froide et humide qui s'étale sur 7 mois, de mois d'Novembre jusqu'au ou mois de Juin.
- Le seconde chaude et sèche qui s'étale sur 4 mois, de mois de Juin jusqu' au mois de Aout.

La détermination de cette période est d'une grande importance pour la connaissance de la période déficitaire en eaux (Aouissi, 2010).

Chapter III

Produced with www.scantopdf.eu TOPDF



1. Méthode de travail

L'étude expérimentale consiste à effectuer des analyses physicochimiques et microbiologiques de l'eau de quatre sources relativement éloignées les unes des autres. Les analyses physicochimiques et bactériologiques ont été réalisées au sein du laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh (Guelma).

L'étude de qualité de l'eau des sites échantillonnés comporte trois étapes :

- Prélèvement d'échantillons et collectes des données.
- Analyse au laboratoire.
- Interprétation des résultats.

Les techniques d'analyses adoptées sont celles décrites par Rodier, 2009.

2. Choix des sites et prélèvements

2.1. Choix des sites de prélèvements

Pour satisfaire les objectifs de la présente étude, quatre sources ont été choisies dans les différents coins de la région, dont une se situe dans la périphérie de la ville de Guelma à Belkhir dénommée Ain Guetiche, une au Nord à Bouati Mahmoud dénommée Ain Baida, à l'Est sur la route de Sedrata dénommée Ain Souda et à l'Oust sur l'axe de Guelma- Oued Zenati à proximité de Sellaoua Anouna appelée Ain Sellaoua.

Les quatre sources ont été repérées par un GPS de type Garmin 72 (Fig 17) comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 12: Positions géographiques des sources échantillonnées.

Les sources	altitude	agglomération	Cordonnées GPS
Ain Guetiche	227	Belkhire	N 36°27.028 E 007° 24.049
Ain Souda	658	Ain Souda	N 36°23.096 E 007° 14.180
Ain Baida	340	Bouati mahmoude	N 36°27.131 E007° 24.921
Ain Sellaoua	705	Sellaoua Anouna	N 36°23.094 E 007° 14.178



Figure 17 : GPS de type Garmin 72.

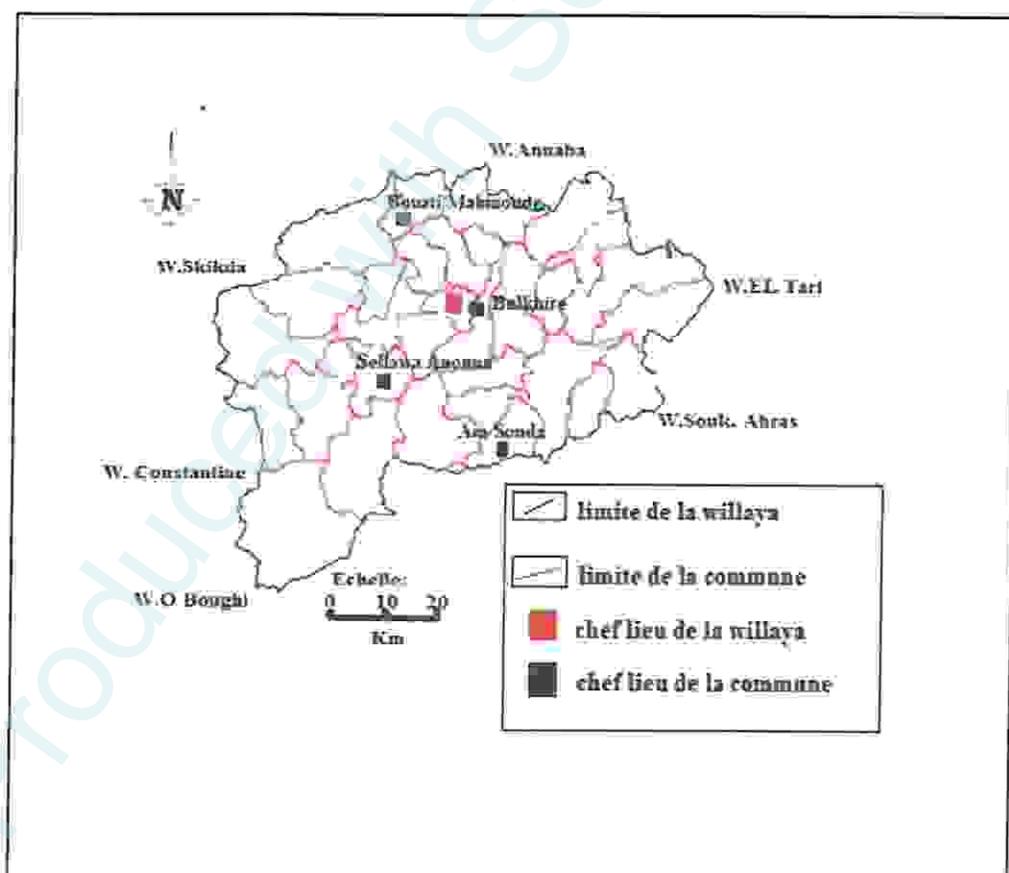


Figure 18 : Carte à la main levée illustrant les quatre points de prélèvement (Boussis, A 2009).



Figure 19 : Ain Guetiche

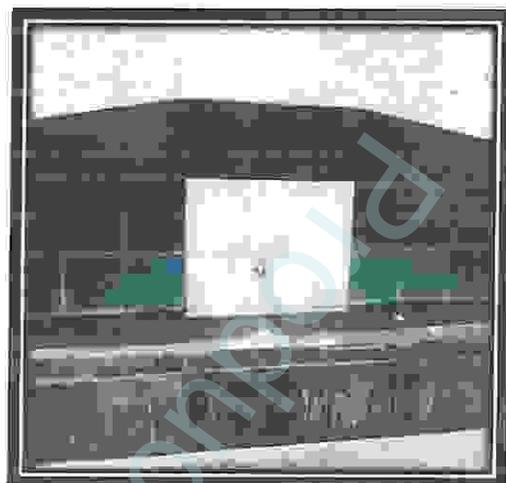


Figure 20 : Ain Souda



Figure 21 : Ain Sellaoua

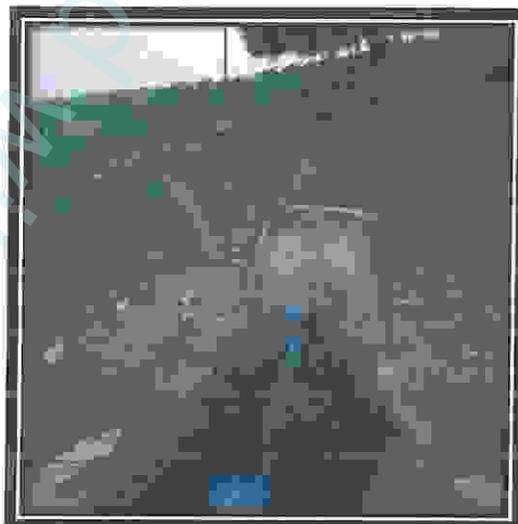


Figure 22 : Ain Baida

2.2. Prélèvements

Notre étude concerne essentiellement l'exposition de ces points d'eaux aux pollutions liées à l'activité humaine, ainsi l'influence de la nature lithologique sur la composition chimique de ces eaux. Ces sources sont tout situées sur les principaux axes routiers et dans des agglomérations. Ils sont donc à usage quotidien d'où la nécessité d'un suivi rigoureux de leur qualité physicochimiques et bactériologique. Et leur degré de potabilité ou de pollution. Pour cette étude on réalise 2 prélèvements (mois Mars - mois Avril) avec 08 échantillons d'eaux de sources distribué dans la région de Guelma.

2.2.1. Prélèvements de l'eau pour d'analyses physicochimiques

L'échantillonnage destiné à la physico-chimie ne pose pas de problèmes particuliers, des flacons plastiques (polyéthylène) sont suffisants et le volume de prélèvement et de 1 litre pour une analyse complète. L'échantillon peut être gardé quelques jours mais elle est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimique le plus tôt possible. Les éléments tels les nitrates peuvent subir des modifications lors de conservation (Coulibaly, 2005).

A chaque échantillon, les flacons sont rincés d'abords avec l'eau à analyse puis ils sont remplis jusqu'au bord, rebouchonnées, étiquetés et conserve immédiatement dans une glacière portative avec une réserve de froid suffisants pour garder une température inférieur à 4°C, jusqu'à l'arrivée au laboratoire.

2.2.2. Prélèvements de l'eau pour d'analyses bactériologique

L'échantillonnage destiné à la bactériologie sont prélevé a l'aide des flacons en verre pyrex munis de bouchons à vise stérile les flacons débouché et immergé complètement à une profondeur de 30 cm en position verticale renversée en en le tenant par le fond : il est alors retourné jusqu'à ce que l'ouverture soit légèrement plus haut que le fond et dirigée dans le sens contraire du courant. Après le prélèvement, les flacons doivent être soigneusement rebouchés. Il est essentiel que les échantillons soient clairement étiquetés immédiatement avant les prélèvements et que les étiquètes soient lisibles et in détachables.

Les échantillons sont transportés dans une glacière portative avec une réserve de froid suffisants pour garder une température inférieure à 4°C, jusqu'à l'arrivée au laboratoire. La teneur des échantillons en coliforme se modifient entre le moment du prélèvement et celui d'examen. Il est important donc de procéder l'analyse le plus rapidement possible, de préférence dans leur suivant et en aucun cas après 24 heure. Et le tableau suivant résume l'organisation des échantillonnages.

Tableau 13 : période de prélèvement

Type de prélèvement	Période de prélèvement	
Eau de source	Mars /Avril	
Source 1 (S1)	15/03/2015	08h 15 min
	19/04/2015	10h 40 min
Source 2 (S2)	15/03/2015	09h 30 min
	19/04/2015	10h 08 min
Source 3 (S3)	15/03/2015	09h 45 min
	19/04/2015	09h 30 min
Source 4 (S4)	15/03/2015	07h 35 min
	19/04/2015	08h 05 min

3. Analyses physicochimiques

On a pu réaliser l'analyse physique de l'eau sur terrain à l'aide d'un multi paramètre de type WTW 350 i qui mesure à la fois la température, le pH et la conductivité et qui nous a permis aussi de mesurer les deux paramètres chimiques l'oxygène dissous et la salinité sur terrain ils permettent une première estimation de la qualité du plan d'eau. La lecture est faite après la stabilisation de la valeur. On a aussi réalisé l'analyse physique de l'eau aux niveaux de laboratoire.



Figure 23 : multi paramètre (wtw, multi 350i)

3.1. Paramètre physique

3.1.1. Mesure du pH

La mesure du pH est effectuée par un pH mètre électronique relié à une électrode en verre. L'électrode est introduite dans l'eau à analyser et la lecture se fait directement sur l'enregistreur électronique quand l'affichage est stabilisé. L'électrode a été d'abord étalonnée dans une solution tampon de pH égale à 7 et à 4 puis introduit dans l'eau à analyser.

3.1.2. Mesure de la température

La température de l'eau est mesurée sur site avec un thermomètre précis, gradué au 1/10 de degré, la lecture est faite après une immersion de 10 minutes.

3.1.3. Mesure de la conductivité

Elle est mesurée à l'aide d'un conductivimètre à l'électrode constitué de deux lames carrées de 1cm de coté en platine, on émerge complètement l'électrode dans l'eau à analyser.

On utilise une verrerie rigoureusement propre et rincée avant usage avec de l'eau distillée.

- On ajuste l'appareil à zéro.
- On ajuste la température de l'eau sur l'appareil.
- On rince plusieurs fois l'électrode de platine d'abord avec l'eau distillée puis on le plonge dans le récipient contenant de l'eau à analyser en prenant soin que l'électrode soit complètement immergée.
- On rince abondamment l'électrode avec de l'eau distillée après chaque mesure.

3.2. Paramètre chimique

3.2.1. Dosage de la dureté totale (titre hydrométrique TH)

* Principe

La dureté totale détermine la concentration en calcium et du magnésium dissous. Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel di sodique de l'Acide Éthylène Diamintetracétique (EDTA).

* Réactif et mode opératoire

- Réactifs

- ✓ Indicateur noir l'eriochrome T
- ✓ Solution d'EDTA (0.2N)
- ✓ Solution tampon : ammoniacque 34%

- Mode Opérateur

Prélever 100 ml d'eau à analyser. Ajouter 2 ml de solution tampon (pH=9.5-10) et quelques grains d'indicateur colore. Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage du rouge vieux au bleu.

Soit v le volume de solution d'EDTA versé.

- Expression des résultats : $TH^{0f} = V \text{ titre} * 10$

3.2.2. Dosage des ions calcium*** Principe**

Pour déterminer la dureté calcique on utilise l'EDTA comme complexant, auparavant on précipite le magnésium sous forme de $Mg(OH)_2$ vers un pH = 12, par addition de la soude, indicateur utilisé est sensible aux seuls ions de calcium, c'est le murexide qui répond à cette condition.

*** Réactifs et mode opératoire****- Réactifs**

- ✓ Indicateur colore : Murexide
- ✓ Solution d'EDTA (N/50) ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) : (0,02N ou 0,01M)
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium à 2N

- 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'EDTA jusqu'au virage du rose au violet soit V le volume de solution D'EDTA Verse.

- Expression des résultats

La détermination du mg/l de Calcium est donnée par la Formule suivante:

$$mg/l Ca^{2+} = \frac{V_1 * C_{EDTA} * F * M_{Ca^{2+}}}{P.E} * 1000$$

D'où :

V_1 : Volume d'EDTA nécessaire pour une concentration donnée.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{Ca^{2+}}$: Masse molaire du calcium en g.

$P.E$: Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

$$\text{mg/lCa}^{2+} = \frac{V_1 * 0.01 * F * 40.08}{50} * 1000$$

Donc : $(\text{Ca}^{2+}) \text{ (mg/L)} = V_1 \times F \times 8$

3.2.3. Dosage de l'alcalimétrie (TA)

* Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un volume d'eau par un acide chlorhydrique (HCL), dilué en présence de la phénophtaléine. Le but est de mesurer la teneur en hydroxyde libre et en carbonate CO_3^{2-} .

* Réactifs et mode opératoire

- Réactifs

- ✓ acide chlorhydrique ou sulfurique N/50.
- ✓ solution de phénophtaléine dans l'alcool à 0.5%.
- ✓ solution de méthylorange à 0.5%.
- ✓ eau permutée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition de 15min).

- Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser. Ajouté 02 à 03 gouttes de phénophtaléine, si une coloration rose apparait titre avec l'acide sulfurique n/50 jusqu'à la disparition de couleur.

*si la couleur n'apparait pas TA =0 (PH < 8.3 donc TA =0)

- Expression des résultats : $\text{TA} \text{ (f)} = V \text{ titre}$

3.2.4. Dosage du titre alcalimétrique complet (TAC)

* Principe

Cette détermination est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral (HCl), dilué en présence de méthyle orange. Le but est de déterminer la teneur en hydrogénocarbonates dans l'eau.

* Réactifs et mode opératoire

-Réactifs

- ✓ Acide chlorhydrique HCl 0.02N
- ✓ Solution de méthyle orange

- Mode opératoire

Dans un erlenmayer de 250 ml : on prélève 100 ml à analyser, on ajoute 2 à 3 gouttes méthyle orange à 0.5% ., titrer par l'acide sulfurique N/50 jusqu'au virage rouge orange.

- **Expression des résultats** $TAC \text{ } ^0f = V \text{ titre} - 0.5$

0,5 : le volume nécessaire pour le virage de couleur de l'indicateur.

Détermination de (HCO₃⁻)

$$(HCO_3^-) \text{ mg/l} = V_A \times N_A \times M \text{ HCO}_3^- \times 1000 / PE$$

$$(HCO_3^-) \text{ mg/l} = V_A \times (N/50) \times 61 \times 1000 / 100$$

V_A : Volume d'acide versé dans le titrage de TAC.

N_A : normalité d'acide versé.

$M \text{ HCO}_3^-$: masse des bicarbonates (HCO₃⁻).

P.E : prise d'essai.

- **Expression des résultats** $(HCO_3^-) \text{ mg/l} = V \times 12.2$

3.2.5. Dosage des ions magnésium*** Principe**

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

*** Réactifs et mode opératoire****- Réactifs**

- ✓ Indicateur colore : noir eriochrome T
- ✓ Solution d'EDTA (N/50) (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈·2H₂O) : (0,02N ou 0,01M)
- ✓ Solution de NH₄OH

- Mode opératoire

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmayer au col large. Ajouter 2 ml de solution de NH₄OH, on ajoute une pincée de noir eriochrome T, puis Verser la solution d'EDTA jusqu'au virage de la couleur bleu V₂.

- **Expression des résultats** : La détermination du mg/l de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$(Mg^{+2})(mg/l) = (V_2 - V_1) \times C_{EDTA} \times F \times M (Mg^{+2})/PE$$

D'où :

V_2 : Volume titrée de calcium et de magnésium.

V_1 : Volume titrée de calcium.

C : Concentration molaire d'EDTA (0,01 M/l).

$M_{Mg^{2+}}$: Masse molaire du magnésium en g.

P.E : Prise d'essai (volume de l'échantillon nécessaire pour ce dosage).

F : Facteur

Donc : $(Mg^{+2})(Mg/l) = (V_2 - V_1) \times 0.01 \times F \times 24 \times 1000/50$

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

3.2.6. Dosage d'ion chlorure

* Principe

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

* Réactifs et mode opératoire

- Réactifs

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

- Mode opératoire

Introduire 25 ml d'eau à analyser, dans un erlenmeyer au 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 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.

- Expression des résultats

$$FG : V_{AgNO_3} \times N_{AgNO_3} \times M_{Cl}/PE = V_{AgNO_3} \times 0,1 \times 35,5 \times 1000/25$$

V_{AgNO_3} : volume d' $AgNO_3$

N_{AgNO_3} : la normalité d' $AgNO_3$

M Cl : la masse molaire du chlore

Teneur (mg/l) = V titre *142

3.3. Paramètres de pollution

3.3.1. Dosage de phosphate par spectrophotomètre UV visible

* Principe

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

- Mode opératoire

Prendre 50 ml d'eau à analyser puis on ajoute 1 ml du réactif mixte et on attendre 10 min. L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- . Effectuer la lecture à 543 nm.

- Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l

3.3.2. Dosage de l'ammonium par spectrophotomètre UV visible

* 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).

* Réactifs et mode opératoire

- Réactif

- ✓ Eau exempte d'ammonium
- ✓ Réactif coloré
- ✓ Dichloroisocyanurate de sodium
- ✓ Solutions étalons
- ✓ Chlorures d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ou le sulfate d'ammonium

- Mode opératoire

Prendre 40 ml d'échantillon dans une fiole de 50 ml, ajouter 4 ml (réactif I). Puis ajouter 4 ml de la solution de (réactif II), compléter la fiole jusqu'à la jauge Attendre 1h30 min, l'apparition de la couleur vert indique la présence de l'ammonium. Effectuer la lecture à 655 nm.

- Expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

3.3.3. Dosage des nitrates par méthode au salicylate de sodium*** Principe**

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

*** Réactifs et mode opératoire****- Réactifs**

- ✓ Solution de salicylate de sodium à 0.5 %
- ✓ Solution d'hydroxyde de sodium 30 %
- ✓ H_2SO_4 concentré
- ✓ Tartrate double de sodium et de potassium
- ✓ Nitrate de potassium anhydre

- Mode opératoire

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser, Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %. Et 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. Reprendre le résidu avec 2 ml. H_2SO_4 laisser reposer 10 min, puis Ajouter 15 ml d'eau distillée. Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium.

- Expression des résultats

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

3.4. Détermination du fer (méthode à l'orthophénanthroline)*** Principe**

Le complexe fer (II) – phénanthroline –1,10 est stable dans l'intervalle de PH de 2,5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de fer (II) présent. La relation entre la concentration et l'absorbance est linéaire jusqu'à une concentration de 5 mg de fer par litre. Le maximum d'absorbance se situe à environ 510 nm (coefficient d'absorption $1 \times 10^3 / \text{mol.cm}$).

*** Réactifs et mode opératoire****- Réactifs**

- ✓ Tampon d'acétate

- ✓ Chlorhydrate d'hydroxylamine
- ✓ Solution de phéanthroline 1.10
- ✓ Solution mère : 1.0 g de fer par litre

- Mode opératoire

Prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de Ajouter à la solution transvasées, 1ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement, ajouter 2ml de tampon acétate pour obtenir un PH compris entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5 ; ajouter enfin 2 ml de la solution de phéanthroline 1.10 compléter à 50ml puis conserver les fioles à l'obscurité pendant 15 min. Enfin passer au spectro pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm.

- Expression des résultats

Les résultats sont donnés en mg/l.

4. Méthodes d'analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques qui ont été effectuées au niveau du Laboratoire de station H/Debagh Guelma consistent à rechercher :

- ✓ Les Germes totaux
- ✓ Les Coliformes totaux
- ✓ Les Coliformes fécaux
- ✓ Les Streptocoques fécaux
- ✓ Les Clostridium sulfito-réducteurs

4.1. Dénombrement de la microflore aérobie mésophile totale (germe totaux) :

- Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser (SM = 1), porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique le schéma (Fig. 24) Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$.

* 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.

* Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :

-La première série sera incubée à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures, (Lebres et al, 2006)

-La seconde série sera incubée à $36 \pm 2^\circ\text{C}$, pendant $44 \pm 4^\circ\text{C}$ heure

- 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.

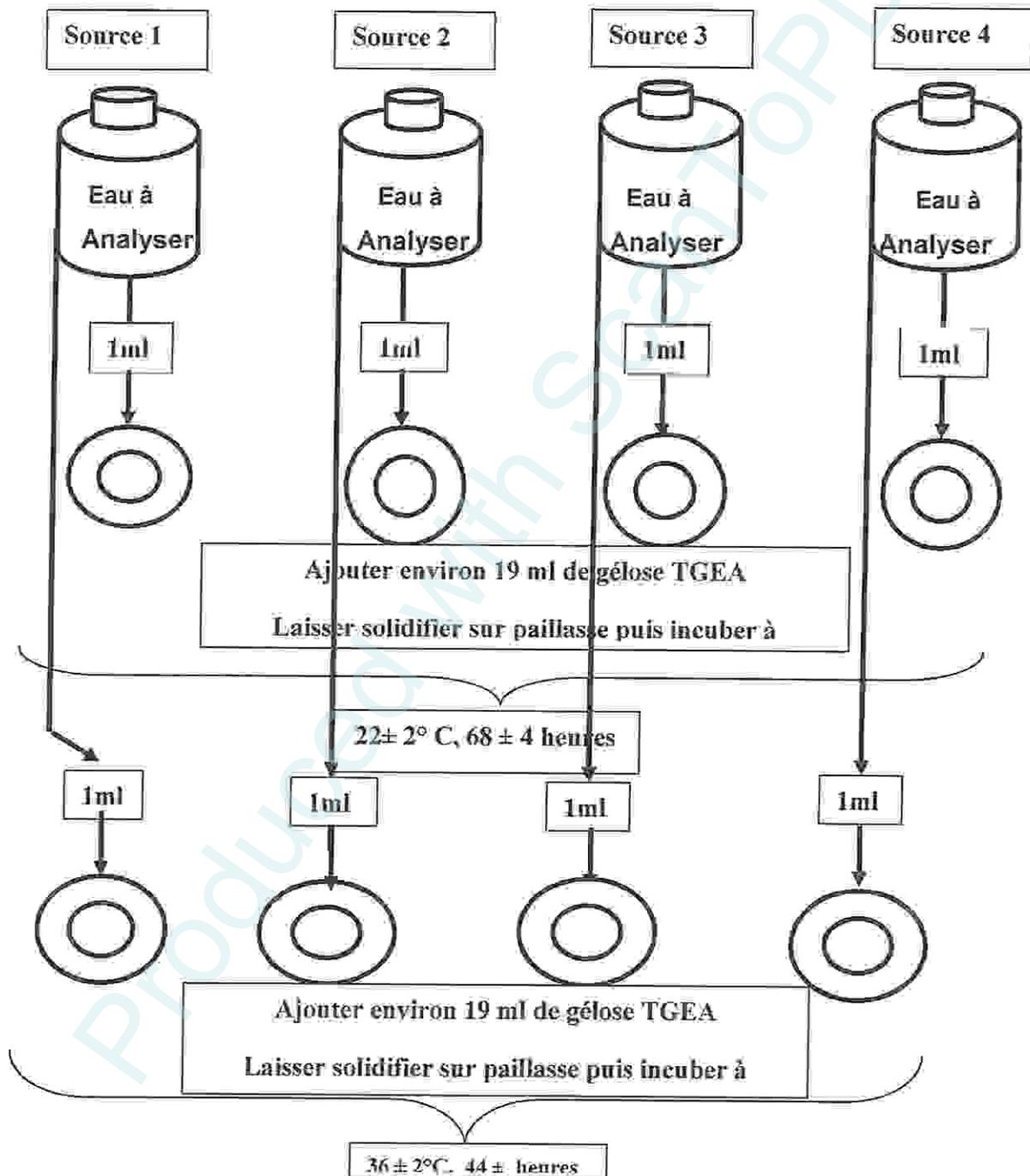


Figure 24: Recherche et dénombrement des Microorganismes revivifiables à 22 et à 37°C
(Labres et al. 2008)

4.2. Recherche et dénombrement des coliformes et d'*Escherichia coli*

- Mode opératoire

La recherche des bactéries coliformes 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 $0,45 \mu$ 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 couverte en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures voire 44 ± 4 heures et servira à la recherche des bactéries coliformes, suivie de l'identification biochimique des *Escherichia coli*.

- 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).
- Repiquer de façon aléatoire 5 à 10 colonies à des fins de confirmation basée sur le test à l'oxydase d'une part et la production d'indole d'autre part.

❖ Test à l'oxydase

Pour les besoins de ce test, effectuer tout d'abord un repiquage sur gélose TSA à la caséine de 5 à 10 colonies, à incuber à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 2 heures, puis effectuer le test de l'une des façons suivantes :

- Imbiber un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile puis déposer une colonie caractéristique.

➤ Verser 2 à 3 gouttes du réactif à l'oxydase préparé extemporanément. (Tétraméthyl-p-phénylènediamine) sur un papier filtre puis étaler dessus une partie de la culture. Dans les deux cas la réaction positive est immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé.

❖ **Test à l'indole.**

Pour cela, transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3 ml de bouillon au tryptophane. Bien triturer la colonie dans le milieu puis incuber ce dernier à $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures puis rechercher la production d'indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs. La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu.

En conclusion,

- Est considérée comme bactérie coliforme, toute colonie caractéristique (jaune), dépourvue de l'enzyme oxydase et non productrice d'indole.
- Est considéré comme bactérie *Escherichia coli*, toute colonie caractéristique (rouge), dépourvue de l'enzyme oxydase, mais productrice d'indole à 44°C .

Dans les deux cas la réaction positive est immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé.

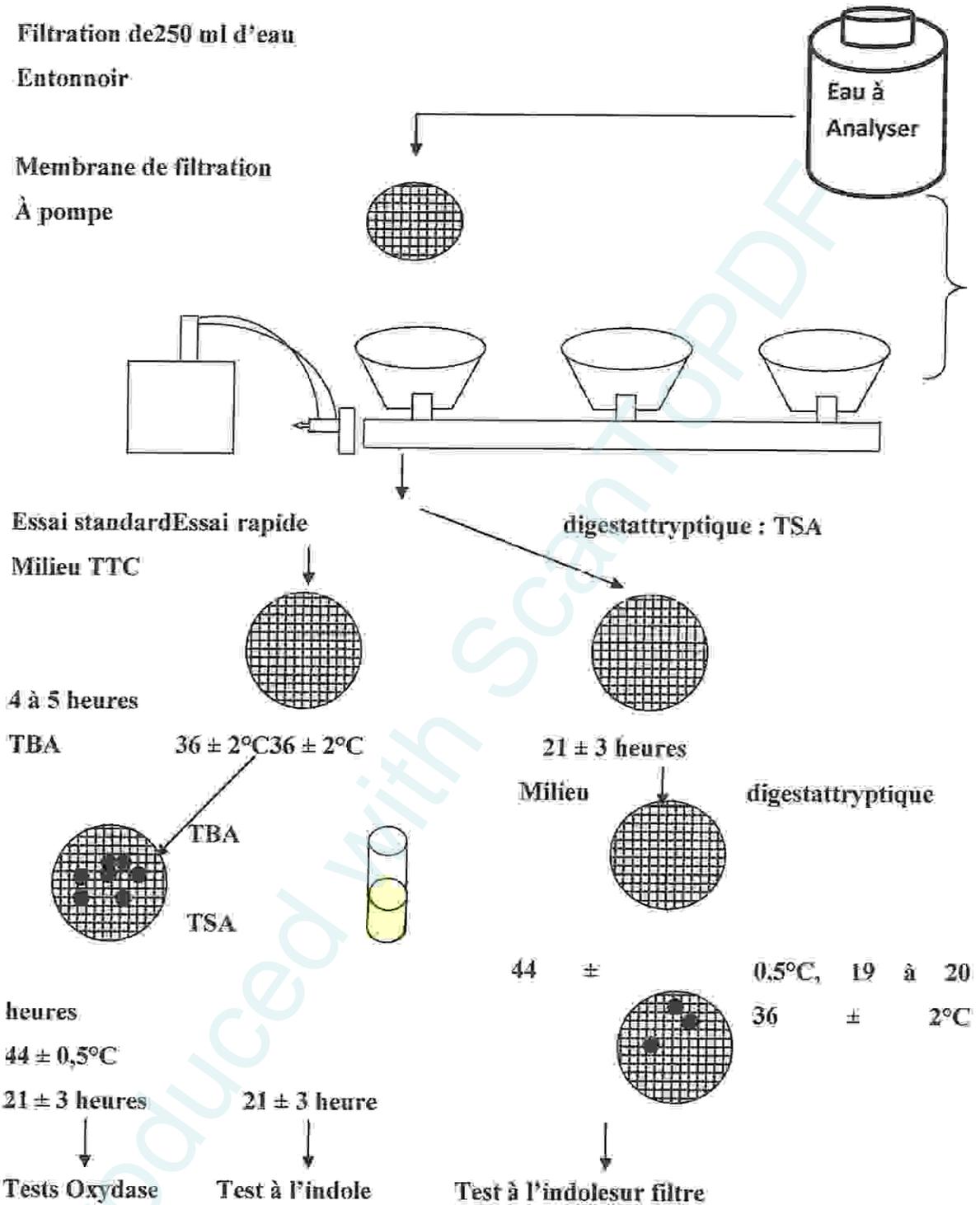


Figure 25 : Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries Coliformes.

4.3. Recherche et dénombrement des Clostridium sulfito-réducteurs

- 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°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 Néomyoine ou encore gélose Viande Foie, fondue puis refroidie à 47 ±1°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 paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 36 ±2°C, pendant 44 ± 4 heures, dans le cas de la gélose Viande Foie.
- **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. 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. 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.

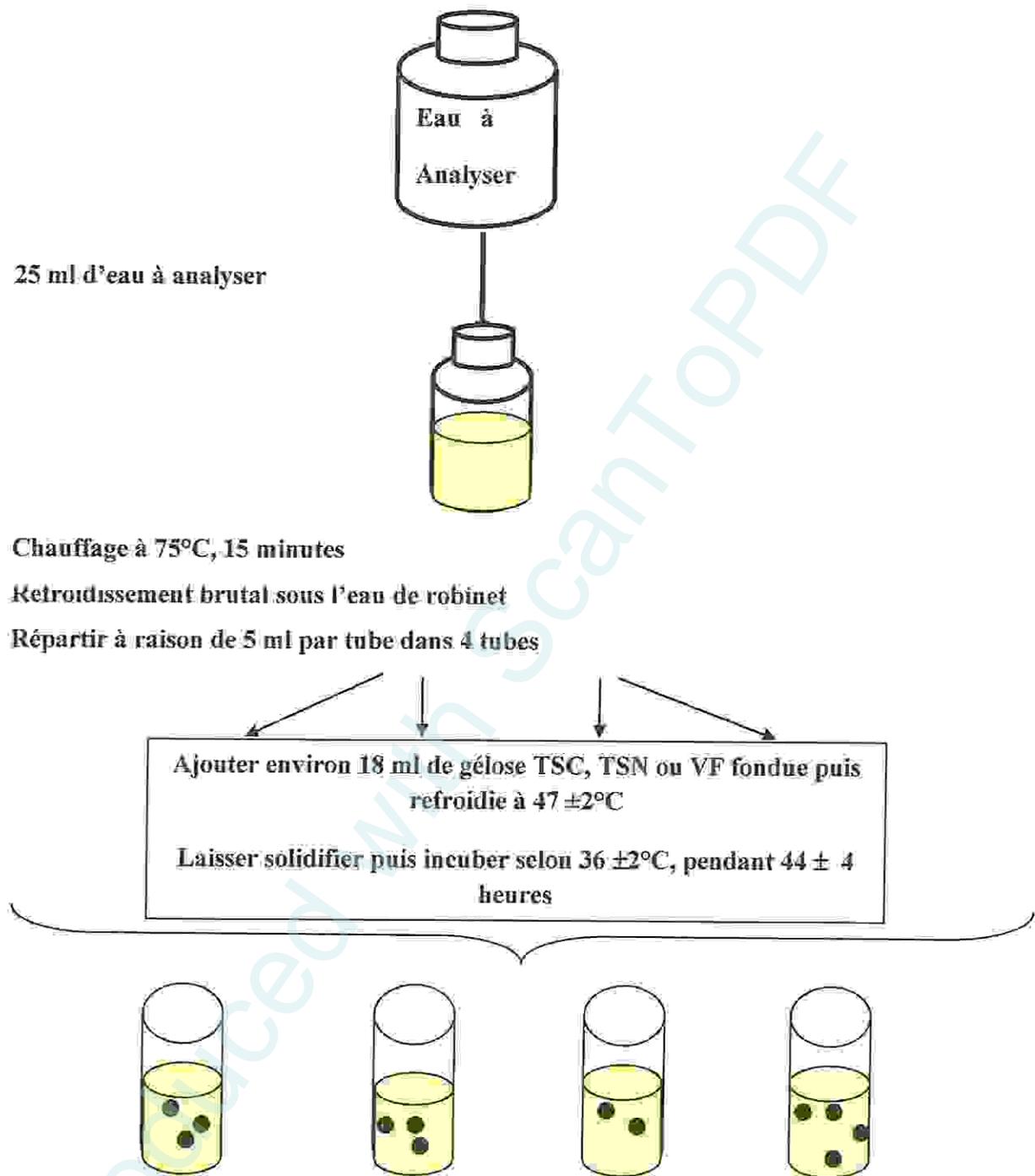


Figure 26 : Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices.

4.4. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

❖ Mode opératoire

La recherche et le dénombrement des Streptocoques du groupe « D » dans les eaux, en milieu liquide par la technique du NPP, se fait en deux étapes consécutives :

- **Le test de présomption:** réservé à la recherche présomptive des Streptocoques.
- **Le test de confirmation:** réservé à la confirmation réelle des Streptocoques du groupe « D ».

❖ Test de présomption

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement

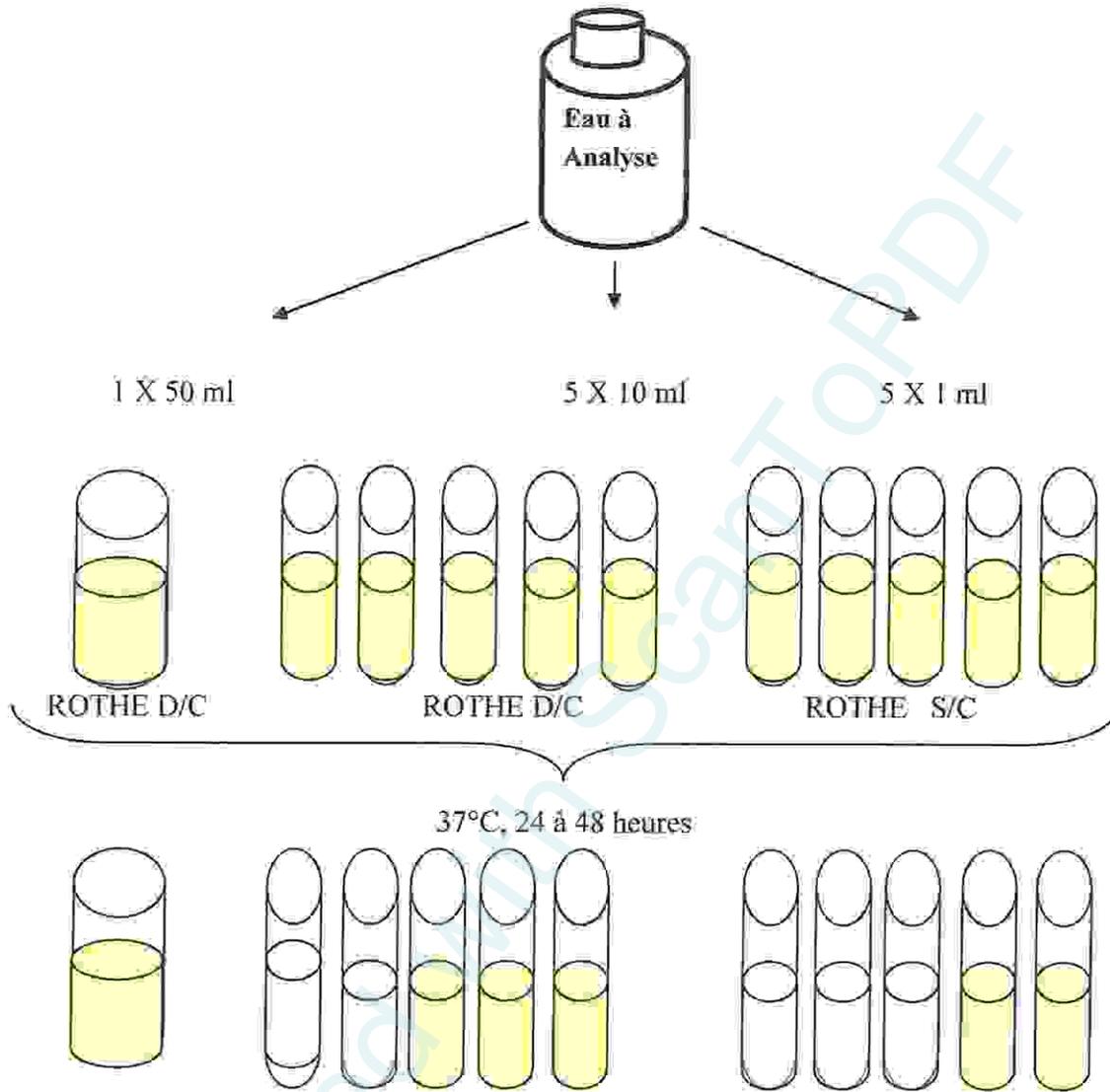
- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu ROTHE D/C
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE D/C
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu ROTHE S/C

Bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures.

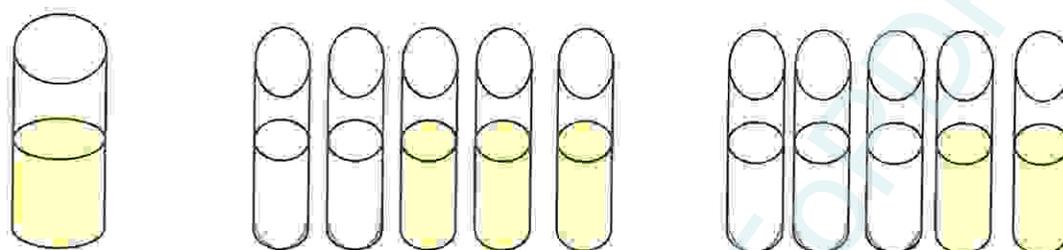
❖ Test de confirmation

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des Streptocoques du groupe « D » éventuellement présents dans le test de présomption. Les tubes de ROTHE trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans tube contenant le milieu Litsky Eva. Bien mélanger le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait cette fois-ci à 37°C, pendant 24 heures.

Test de présomption



Test de confirmation



Repiquage sur milieu Lytski Eva (1 ose)

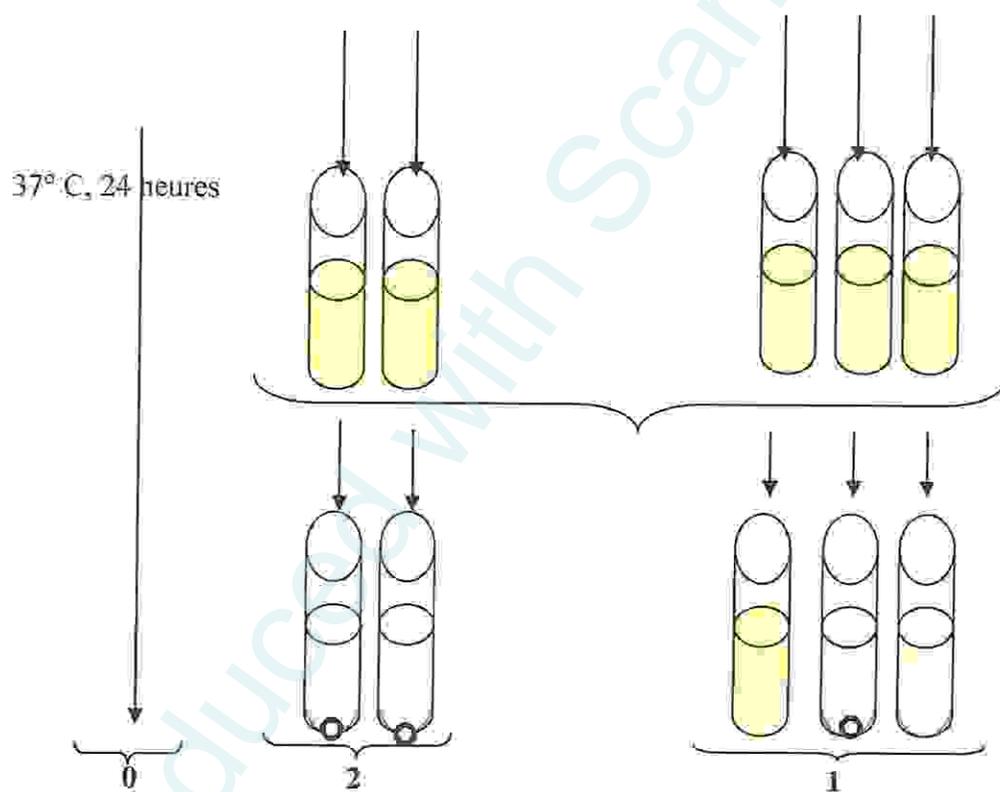


Figure 27: Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux.

Chapitre IV

Produced with ScantOPDF

Les eaux souterraines ont pendant longtemps, été synonymes « eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité. Les eaux souterraines sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles, néanmoins, de nombreuses nappes sont influencées par la qualité des eaux de surface (Armand, 1996).

1. Paramètres physico- chimiques

1.1. Paramètres physiques

1.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

C'est l'un des paramètres parmi les plus importants pour la qualité de l'eau. Il caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

A l'exception des valeurs, relativement faibles, enregistrées au niveau de la source S4, le reste des valeurs de ce paramètre pour les autres sites échantillonnés demeurent voisines de la valeur neutre. Celles-ci sont conformes aux normes OMS qui fixent des valeurs de pH entre 6.5 et 8.5. Ces valeurs des pH des eaux souterraines (nappe alluviale) dépendent de la conductivité : les eaux les plus minéralisées ont un pH élevé dans les eaux naturelles ; il dépend de l'interaction roche-eau et de la nature géologique des terrains traversés.

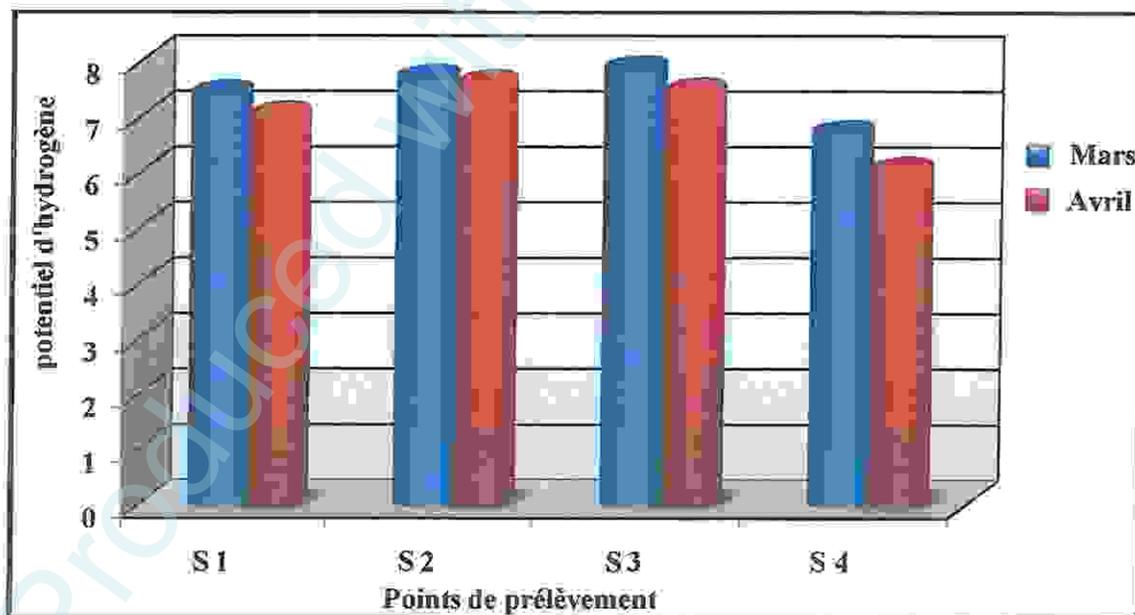


Figure 28 : Évolution spatio-temporelle du pH dans les eaux de sources échantillonnées.

1.1.2. Température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique et bactéries. Plus précisément elle joue un autre rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, donc sur la conductibilité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels,...etc (Rodier., 1978).

D'après les résultats obtenus pour ce paramètre au niveau des points de prélèvement pendant la période d'étude, les valeurs sont sensiblement égales durant le mois de Mars, alors que durant le deuxième prélèvement (Avril) on note des variations notables, une température maximale de 16°C dans la source (S2), et une valeur minimale de 14,5°C dans la source (S1). Ces valeurs sont proches de la température ambiante conforme aux normes de l'OMS qui fixe une valeur maximale de 25°C et indiquent une origine peu profonde de l'eau étudiée. La température de l'eau dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et des rayonnements solaires.

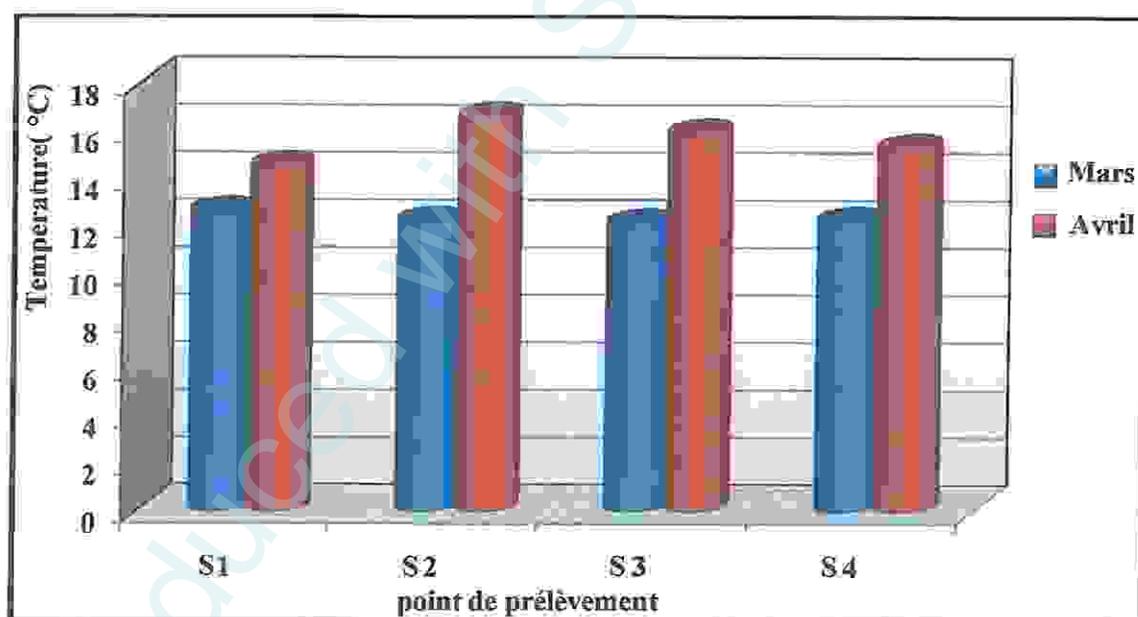


Figure 29 : Évolution spatio-temporelle de la température dans les eaux de sources échantillonnées.

1.1.3. Conductivité électrique

La conductivité des eaux naturelles fournit une information globale sur la quantité des sels dissous qu'elles renferment (Frank J. et Kemmer N., 1992). La conductivité électrique mesurée dans les points de prélèvement varie entre une valeur minimale de 300 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à la

source (S4) au premier prélèvement (Mars), et une valeur maximale de 900 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) enregistré à la source (S1) au deuxième prélèvement (Avril).

La conductivité dépend à la fois de la quantité d'ions présents dans le milieu et à la présence des espèces ioniques en solution. En mesurant la conductivité, nous essayons d'avoir une estimation de la qualité de sels ionisables dissous. Les valeurs de la conductivité traduisent l'état des milieux. A l'exception de la source S1 fortement minéralisée, les valeurs de la conductivité enregistrées au niveau des autres sources demeurent en dessous de la norme OMS 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C indiquent une forte minéralisation non recommandée pour la consommation.

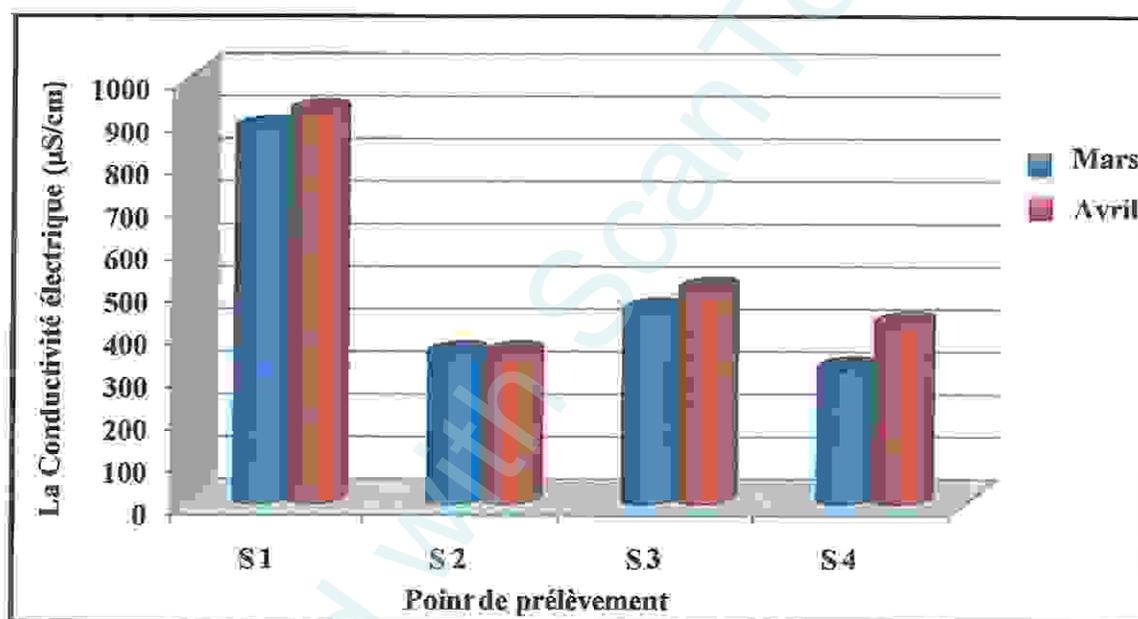


Figure 30 : Évolution spatio-temporelle de La Conductivité électrique dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2. Paramètres chimiques

1.2.1. Oxygène dissous

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier : la température, la pression atmosphérique (donc de l'altitude), et la minéralisation de l'eau : la saturation en O_2 diminue lorsque la température et l'altitude augmente. La valeur maximale de la concentration de L'Oxygène dissout de l'eau analysée atteint 0,61 mg/l durant le premier prélèvement d'Avril pour la source S3, S4.

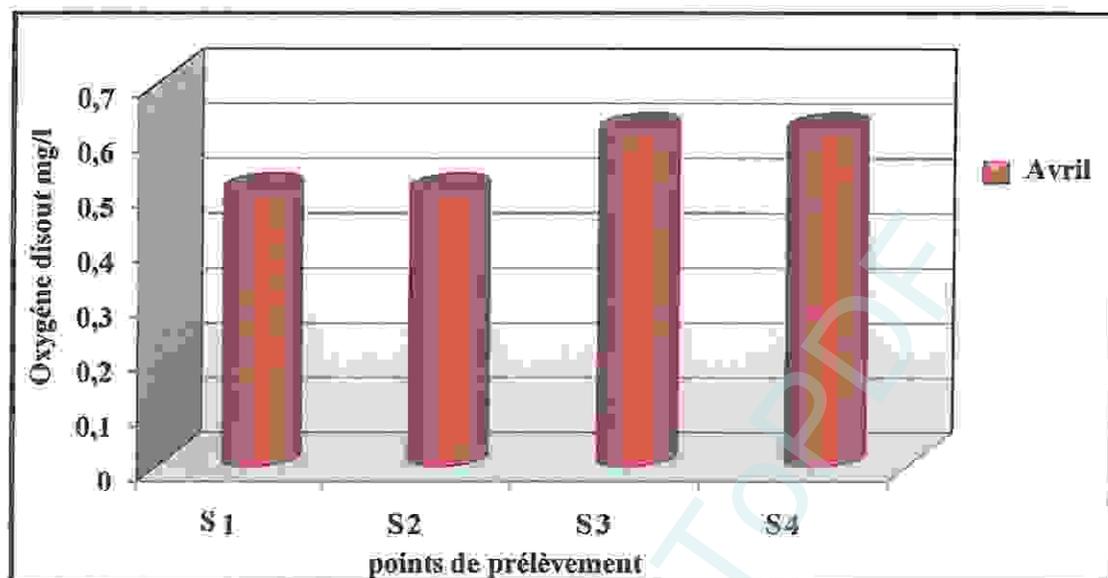


Figure 31 : Évolution spatio-temporelle de l'Oxygène dissout dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.2. La dureté totale

La dureté est un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Rodier, 2009).

Durant la période d'étude on note que La dureté totale à la source S1 comprise entre 42-45°F (420 et 450 mg/l de CaCO_3), la source S2 entre 24- 24,8°F (240-248 mg/l de CaCO_3), alors que La source S3 varie entre 31-34°F (310-340 mg/l de CaCO_3), et la source S4 entre 18-14°F (180 et 140 mg/l de CaCO_3).

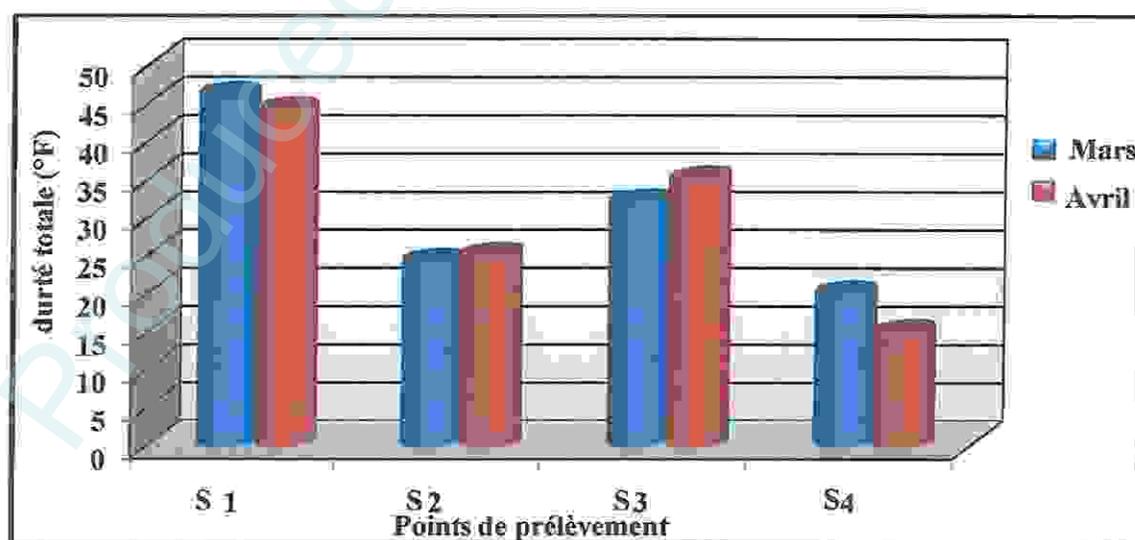


Figure 32 : Évolution spatio-temporelle de la dureté totale dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.3. L'ion calcium

Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Les normes de l'OMS préconisent une concentration de 200 mg/l comme concentration maximale.

Pour l'eau étudiée, on note une valeur maximale de concentration de calcium à la source S1 (125-132 mg/l), et une valeur minimale à la source S4 (22-24 mg/l), et des valeurs moyennes à la source S2 et S3 (69-80,90-95 mg/l). Ce résultat est conforme aux normes de l'OMS.

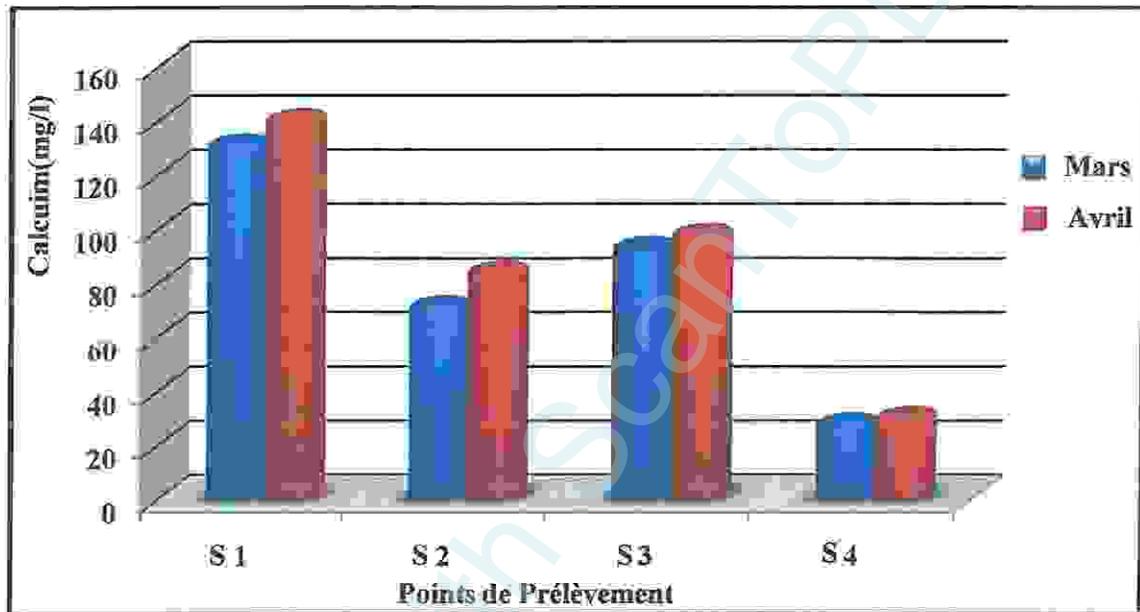


Figure 33 : Évolution spatio-temporelle de la Calcium dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.4. L'ion magnésium

L'ion magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrés (calcaires dolomitiques, dolomies du jurassique ou du trias moyen) (Rodier, 2005).

La teneur magnésium en varie entre une valeur maximale de 25 mg/l à la source S1 et une valeur minimale de 9 mg/l à la source S4 au premier prélèvement (Mars), tendu qu'au deuxième prélèvement (Avril) on note une valeur minimale de 18 mg/l à la source S2,S3 et une valeur maximale de 30 mg/l à la source S4 Elle est bien inférieure à la valeur préconisée par l'OMS qui exige une concentration de 50 mg/L au maximum.

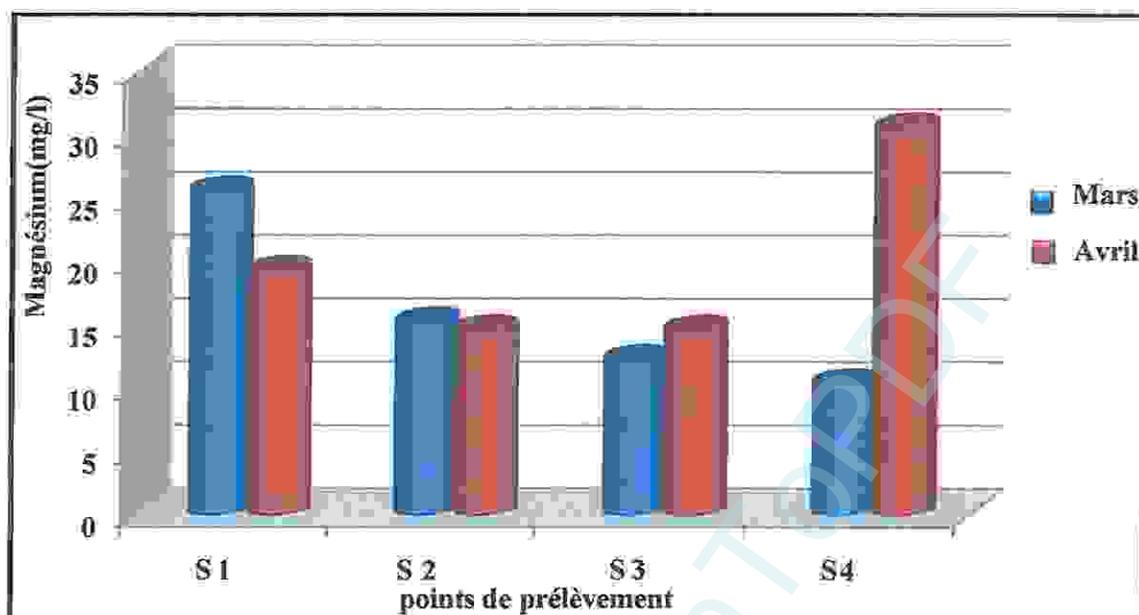


Figure 34 : Évolution spatio-temporelle de Magnésium dans les eaux de sources calcaifluorées

La teneur enregistrée en calcium et en magnésium indique que l'origine de ces deux minéraux est liée directement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4). Le Magnésium ayant des origines comparables à celle du calcium : la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite). Et d'autre part à la nature géologique des terrains traversés par l'eau.

1.2.5. L'ion chlorure

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés.

Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils communiquent à l'eau à partir de 250 mg/l.

La teneur de chlorure obtenue à la source S2, S3 est minimale et identique, la moyenne de cette valeur est enregistrée à la source S4, tandis que les maxima ont été enregistrés au niveau de la source S1 dans les deux mois, ces valeurs sont directement liées à la dissolution des formations évaporitiques (salifères). Mais elles restent admissibles et conformes aux normes de l'OMS qui fixent une concentration maximale de 200 mg/l.

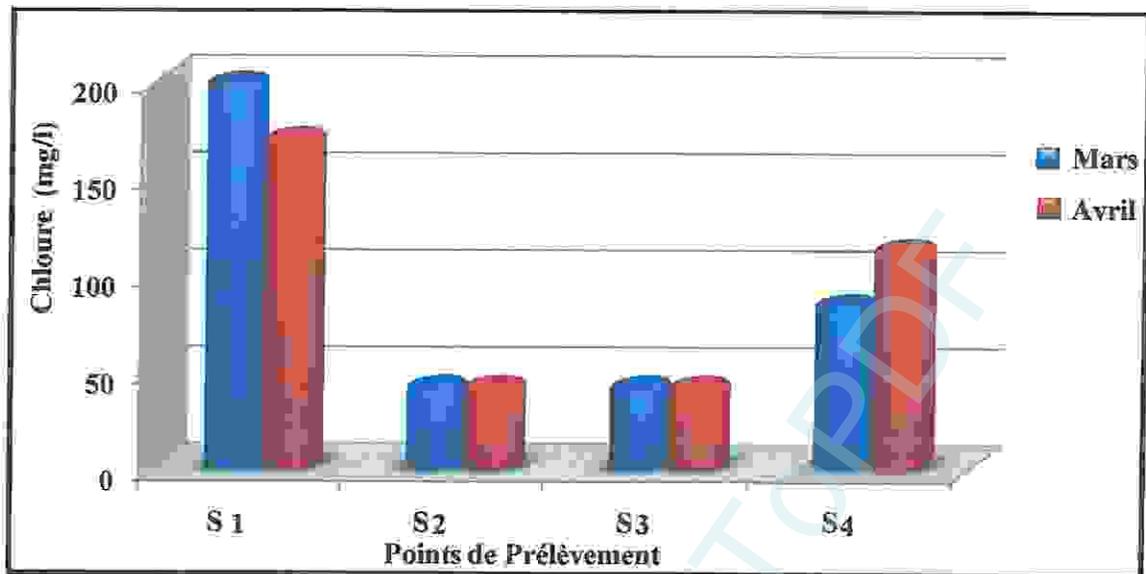


Figure 35 : Évolution spatio-temporelle de Chlorure dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.6. Les Bicarbonates

La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés (Rodier, 2005). Les normes de l'OMS fixe une valeur de 200 mg/l au maximum.

Les données enregistrées dans notre étude démontrent une variation de concentration du bicarbonate entre une valeur minimale de 12 mg/l noté à la source S4 et une valeur maximale de 330 mg/l noté à la source S1. Cette forte concentration de bicarbonate dans cette source est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaze carbonique. Elle est supérieure aux normes prescrites par l'OMS.

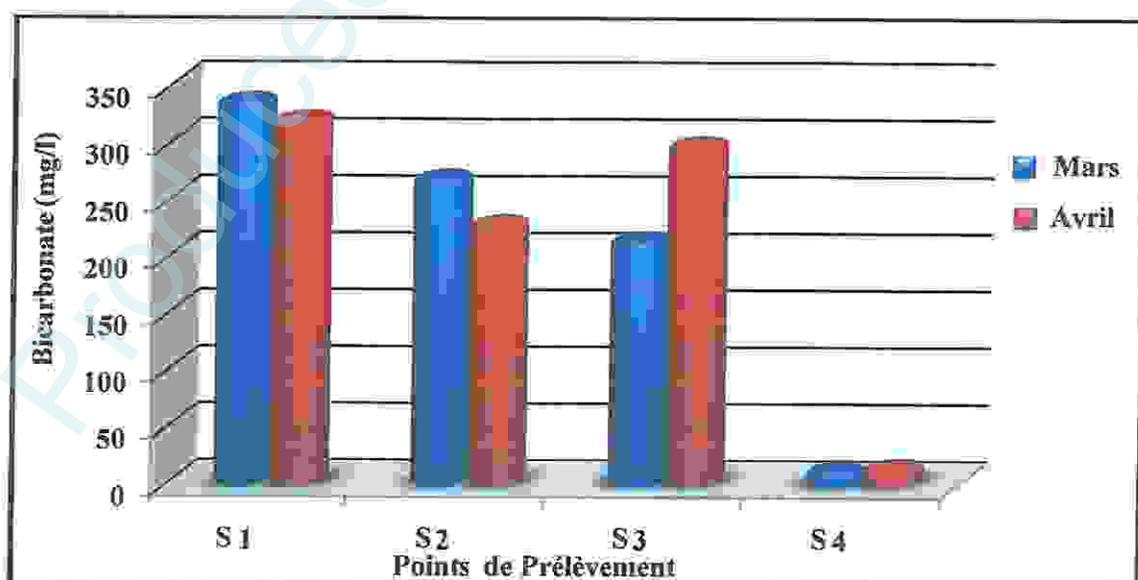


Figure 36 : Évolution spatio-temporelle de Bicarbonate dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.7. L'ion phosphate

Des teneurs supérieures à 0,5 mg/L doivent constituer un indice de pollution. Pour les eaux destinées à la consommation humaine. Nous avons trouvé des teneurs qui varient entre une valeur minimale de 0,05 mg/l à la source S1, et une valeur maximale de 0,19 mg/l à la source S2 au premier prélèvement (Mars). En revanche, les valeurs obtenues pour le mois d'avril, pour toutes les sources échantillonnées, étaient nulles. L'origine des phosphates dans la source S2 est fort probablement liée à l'infiltration des eaux chargées d'engrais phosphatés à l'issus d'une éventuelle pratique agricole excessive. Ces valeurs restent inférieures aux normes prescrites par l'OMS qui fixe une valeur maximale admissible de 5 mg/l.

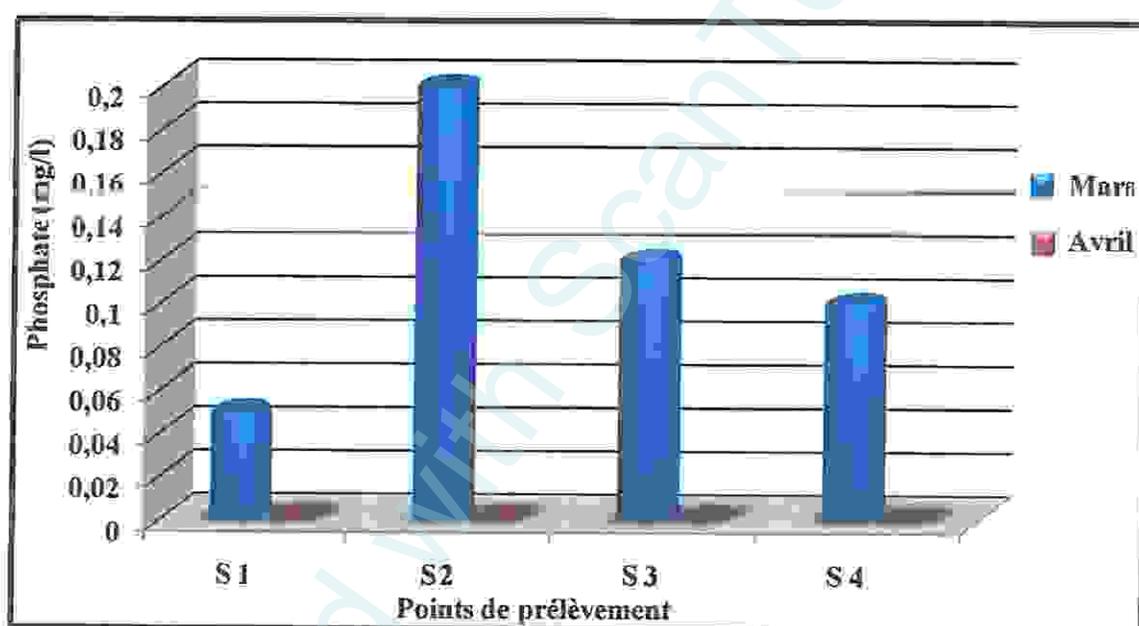


Figure 37: Évolution spatio-temporelle de Phosphate dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.8. L'ion ammonium

Les eaux profondes peuvent se charger en ammonium par réduction des nitrates sous l'action des bactéries. L'OMS fixe 0,5 mg/L comme teneur limite.

Les valeurs trouvées au niveau des sources étudiées S1, S3, S4 étaient inférieures à 0,5 mg/L, et se situent dans la norme prescrite. Seulement, la valeur observée pour la source S2 au premier prélèvement (Mars), se rapproche de 0,5 mg/l qu'on suppose être liée la réduction des formes azotées (nitrate et nitrite) en condition réduite.

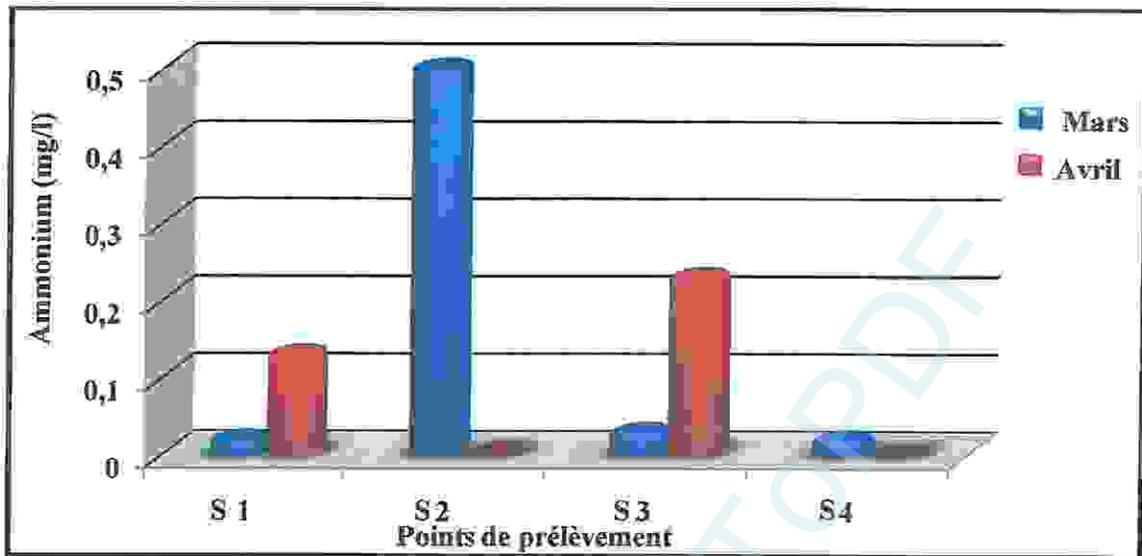


Figure 38 : Évolution spatio-temporelle de l'ammonium dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.9. L'ion nitrate

La concentration en nitrate dans les eaux souterraines est normalement basse, mais peut atteindre des niveaux élevés en raison de l'écoulement agricole, l'écoulement de décharge d'ordures, ou de contamination avec les déchets des animaux ou des humaines.

Les normes OMS préconisent une concentration de 50 mg/l comme concentration maximale. La concentration des nitrates est élevée dans la source S1, et la source S4, elle est due à l'utilisation excessive des engrais, de plus cette région est réputée pour être une région à vocation agricole, par contre elles sont très faibles à la source S2, et S3 respectivement de l'ordre de 3,38 et 1,20 mg/l. Et restent inférieures à la norme prescrite par l'OMS.

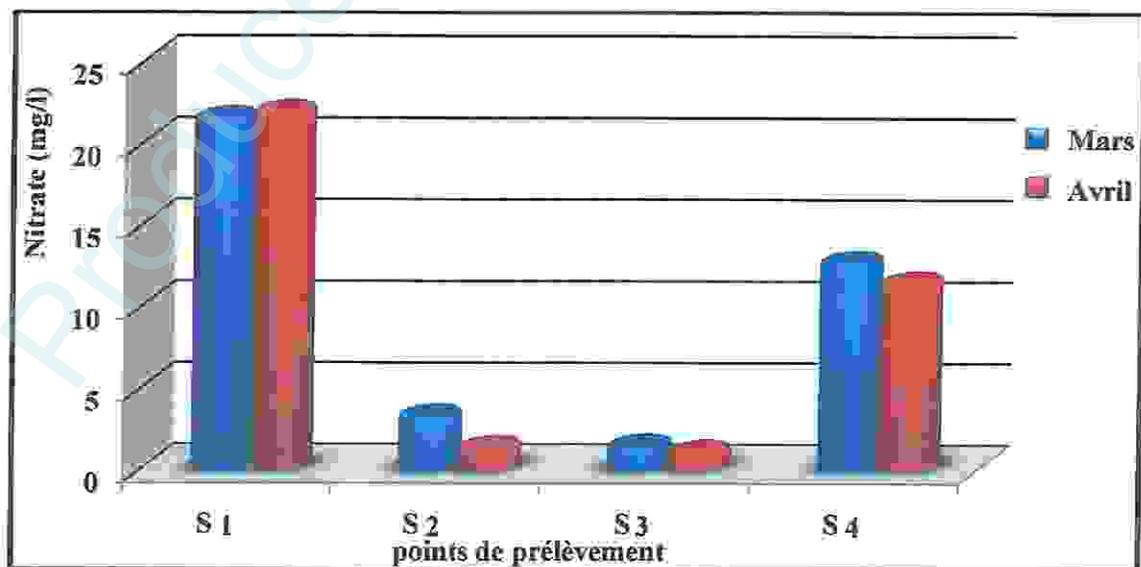


Figure 39 : Évolution spatio-temporelle des nitrates dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.10. Le fer

La valeur limite donnée par l'OMS est de 0.2 mg/L. Les résultats obtenus pour notre eau étudiée sont conformes aux normes prescrites. Ces derniers sont compris entre 0 et 0.04 mg/L. L'origine du fer à la source S2, S4 peut être attribuée à la géologie par lessivage des formations argileuses, donc l'origine naturelle l'emporte sur l'origine anthropique.

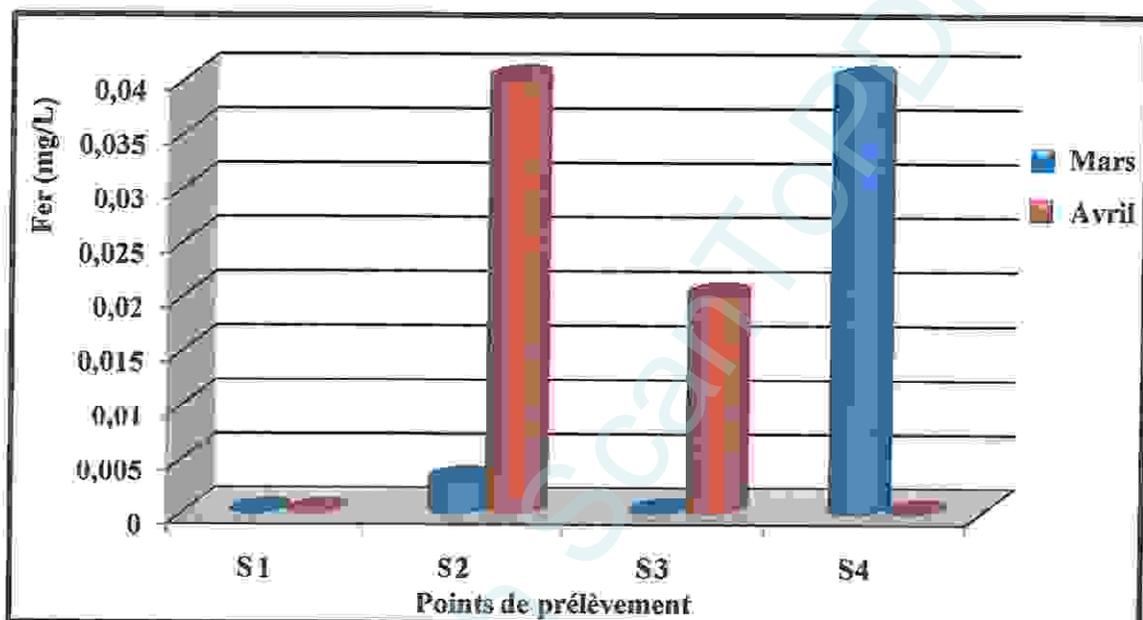


Figure 40 : Évolution spatio-temporelle de Fer dans les eaux de sources échantillonnées.

1.2.11 Taux alcalinité (TA) et taux alcalinité complet (TAC)

Si le pH est compris entre 4.5 et 8.3, ce que le cas des eaux naturelles, en remarque l'absence de TA, dans les eaux des sources échantillonné nous avons obtenue des valeurs nulles de ce dernier.

La concentration du TAC au niveau de quatre points d'eau est inférieure par rapport à la norme OMS (50°F) des eaux destinées à la consommation humaine. Nous observons que les valeurs de TAC durant la période d'étude (Mars-Avril) pour toutes les sources oscillent entre (1-27°F).

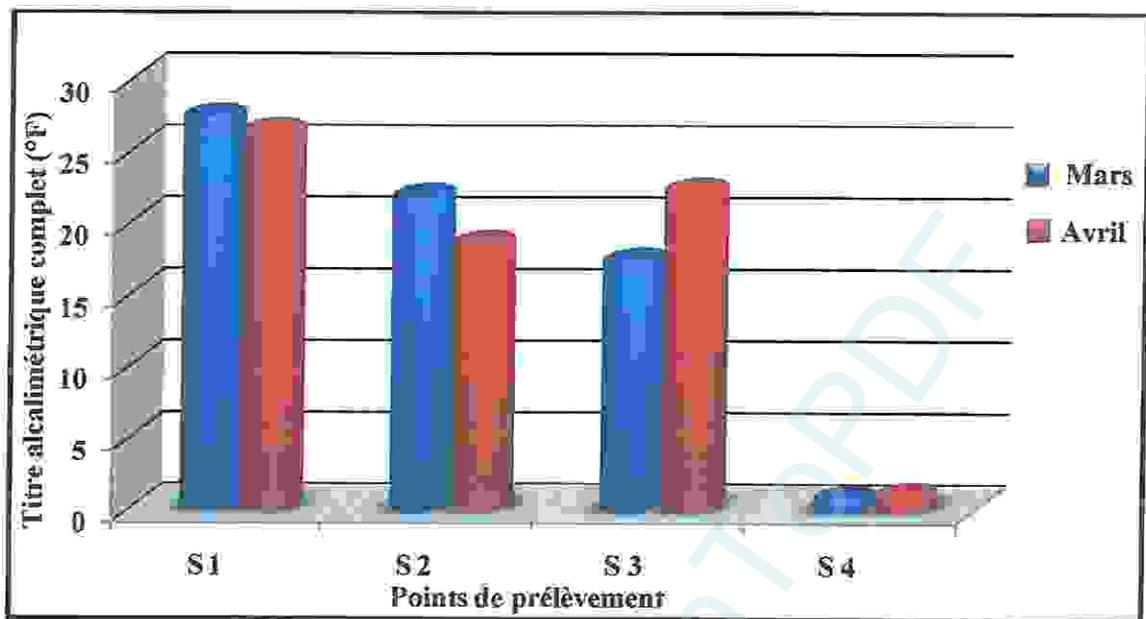


Figure 41: Évolution spatio-temporelle de Titre alcalimétrique complet dans les eaux de sources échantillonnées.

2. Les analyses bactériologiques

2.1. La flore mésophile totale

Le nombre des germes totaux, dénombrée au niveau des quatre sources d'études (S1, S2, S3, S4) est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Nombre des germes totaux.

Sources	Mars	Avril
S1	13	19
S2	25	120
S3	10	6
S4	15	29

UFC : Unité formant colonie.

La flore totale isolée des quatre sources d'eaux est moyen important; elle atteint son maximum au niveau de la source S2 (Avril), avec une valeur supérieur à 100 UFC/20 ml.

2.2. Les Coliformes totaux

Les Coliformes totaux parmi lesquels *E. coli*, représentent approximativement 10% des micro-organismes intestinaux humaines et animaux, sont considérées comme étant un organisme indicateur de pollution.

Durant la première campagne de prélèvement (mois Mars), nous avons notés un nombre de Coliforme Totaux qui atteint une valeur maximale de 23 (UFC/100 ml) dans la source S2 tandis que la valeur minimale enregistré à la source S1 avec 3 (UFC/100 ml). D'autre part-lors de la campagne de prélèvement du mois de Avril, nous avons enregistré une valeur minimale a été enregistré à la source S3 est de 3 (UFC/100 ml) alors que la valeur maximale de Coliformes Totaux égal à 101 (UFC/100 ml) à la source S2, elle est supérieur à 10 UFC/100 ml, ce dernier est la valeur maximale prescrite par l'OMS concernant les Coliformes Totaux dans les eaux potable. Cette forte charge en coliforme totaux et du à leur localisation au bord de la route, l'exposant au trafic routier des personnes et des passages (déchet domestique et la pollution fécale) qui menace cette source d'eau.

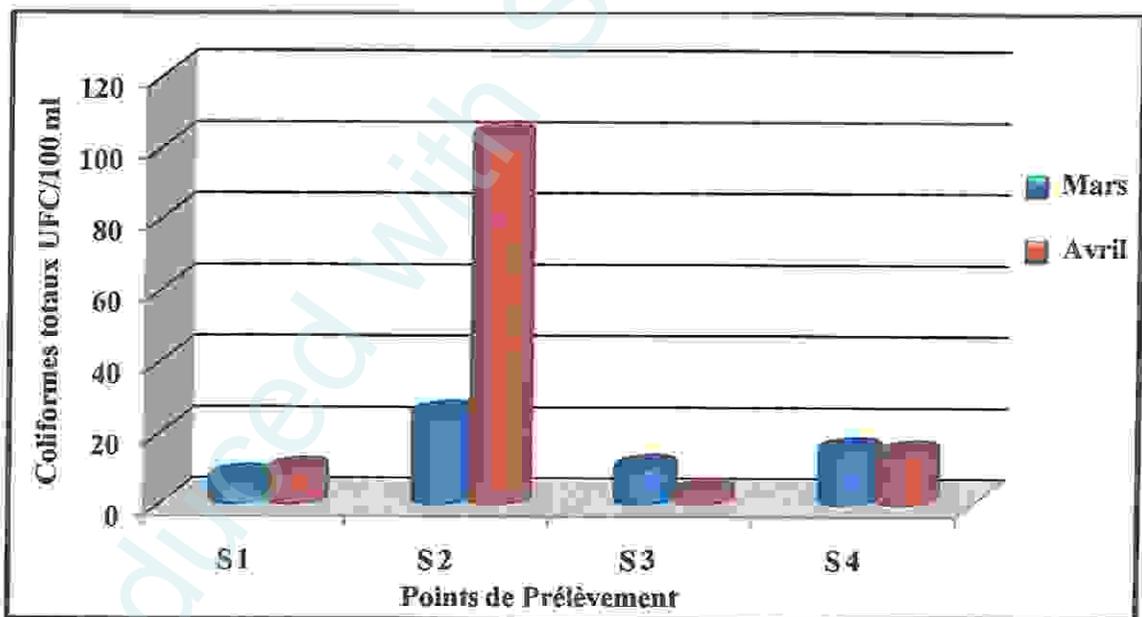


Figure 42 : Évolution spatio-temporelle de Coliformes totaux dans les eaux de sources échantillonnées.

2.3. Les coliformes fécaux

Bien que la présence des coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale ; plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale. C'est pourquoi il serait approprié d'utiliser le terme génétique « coliformes thermo tolérants » plutôt que celui de « coliformes fécaux » (OMS,1994 ; Robertson, 1995).

Ils sont aussi de bons indicateurs de l'efficacité du traitement de l'eau ; mais comme leur nombre est moins élevé que celui des coliformes totaux ; ces derniers leur sont préférables pour cette fonction (Robetson, 1995). L'OMS fixe une valeur de 0 UFC/100 ml de coliforme fécaux dans les eaux de consommations.

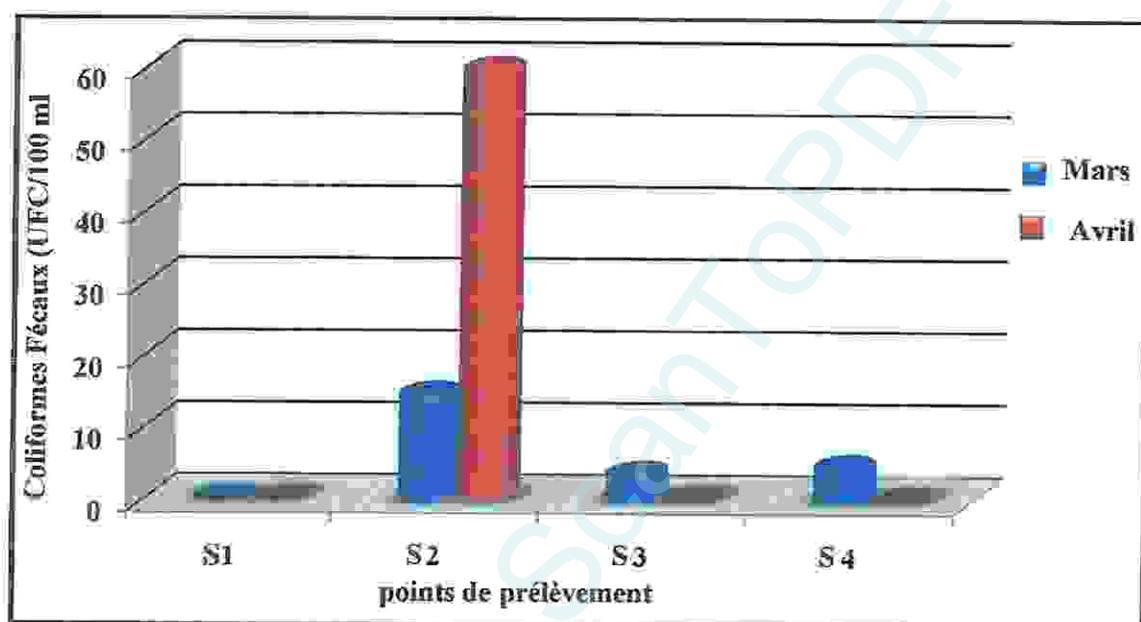


Figure 43 : Évolution spatio-temporelle de Coliformes Fécaux dans les eaux de sources échantillonnées.

Durant le premier prélèvement nous avons noté un nombre de Coliforme fécaux nul à la source (S1), et un nombre de Coliforme fécaux faible (S2-S3-S4), d'autre part de la campagne de prélèvement de mois de Avril nous avons enregistré une valeur maximale de 100 (UFC/100 ml) à la source S2, et le reste des sources enregistré des valeurs nul. Les résultats obtenus dans la source S2 est supérieur à la norme prescrite par OMS.

Selon les deux graphes précédant on remarque que le nombre des coliformes totaux est plus élevé que celui des coliformes fécaux.

2.4. Les Streptocoques fécaux

Les streptocoques ne sont pas forcément associés aux coliformes car les coliformes sont uniquement présents lorsque la contamination est en cour très récente. Ils témoignent d'une contamination fécale d'origine animale.

Durant nos campagnes d'échantillonnage, nous avons enregistré la présence des Streptocoques Fécaux exclusivement dans deux points de prélèvement où on note durant le premier prélèvement (Mars) l'absence totale des Streptocoques Fécaux à la source S1 et S3.

Alors que dans la source S2 et S4 elle est présent mais avec des valeurs faibles, tendu que au deuxième prélèvement (Avril), a l'exception des valeurs, relativement nul, enregistrées au niveau de la source S1, S3, S4 nous avons note une valeur élève de 58 (UFC/25 ml) à la source S2. ce dernier et supérieur à la norme prescrite par l'OMS qui fixe un nombre nulle pour les Streptocoque Fécaux. Cet enrichissement est principalement dû au lessivage des terres agricoles avoisinantes chargées d'énormes quantités de fumier, aux rejets domestiques des agglomérations rurales (fosses septiques qui déchargent à l'air libre), et à l'élevage d'ovin et bovin. Alors que en peut traduit l'absence des Streptocoques Fécaux par l'efficacité du traitement applique.

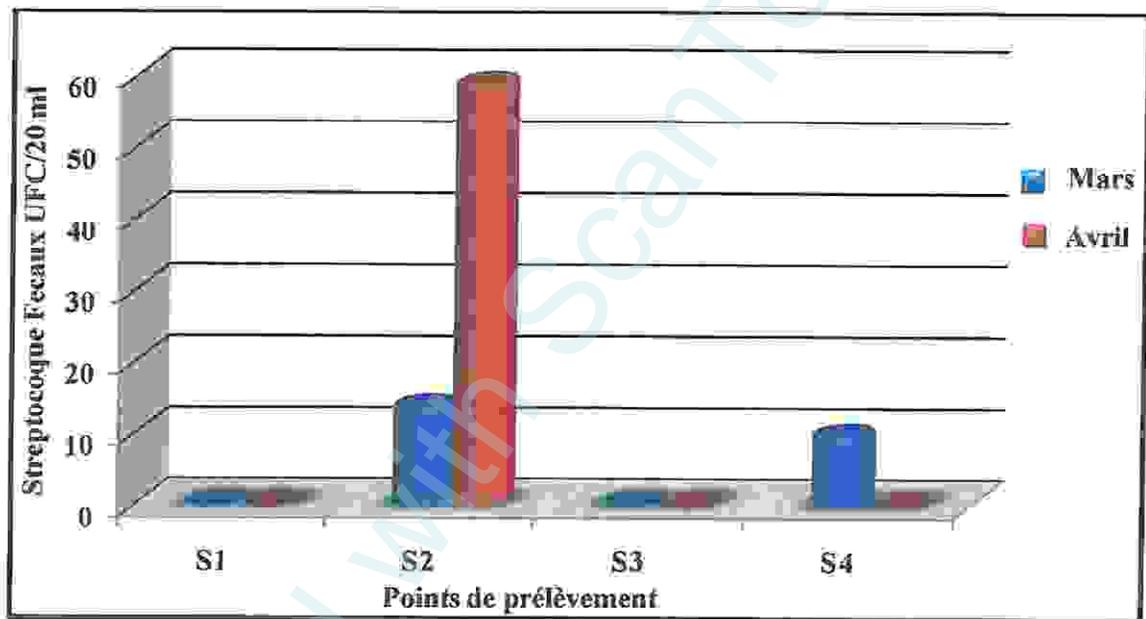


Figure 44 : Évolution spatio-temporelle de Streptocoque Fécaux dans les eaux de sources échantillonnées.

2.5. Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)

Les spores des ASR constituent généralement des indices d'une ancienne contamination, dont les résultats négatifs déduisent l'absence du genre sulfito-réducteurs *Clostridium* sp ; responsable du botulisme et du tétanos (Hamlaoui et al 2011).

Tableaux 15 : Dénombrement des Anaérobies Sulfito-Réducteurs.

Mois / Source	Mars	Avril
S1	abc	abc
S2	abc	abc
S3	abc	abc
S4	abc	abc

Nous avons noté l'absence totale des anaérobies sulfito-réducteurs durant la période d'étude (Mars, Avril), au niveau de tous les sources échantillonnées. Ces résultats restent conformes aux normes prescrites par l'OMS qui fixe une valeur nulle.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail qui avait comme but de déceler la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des sources de la région de Guelma (Nord-est de l'Algérie).

La région de Guelma est soumise à un climat méditerranéen, semi-aride, caractérisée par deux saisons distinctes, l'une sèche et chaude et l'autre pluvieuse et froide. La moyenne des précipitations est de l'ordre de 49,16 mm, la température moyenne est de 17,96°C. La géologie de la moyenne Seybouse est caractérisée par des formations allant du Trias jusqu'au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement : les alluvions (sable, gravier, cailloutis,...), les grès, les marnes, les argiles, les flysch et les calcaires. La moyenne Seybouse possède une réserve d'eau souterraine important : la nappe alluviale de la plaine de Guelma d'âge Quaternaire.

Nous rappelons que la zone étudiée se caractérise par une topographie à pente forte de Ain Sellaoua (705 mètres d'altitude) à, à partir de cette localité la pente devient moyen faible de Ain Guetiche devenir presque (227 mètres d'altitude). Cette hétérogène reste un facteur important dans le déplacement des polluants. Le couvert végétal est parfois dense parfois absent, La connaissance de ces cultures est très importante pour l'étude de la pollution.

La nature de la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraine est toujours meilleurs que celle des eaux de surfaces ; et cela suite au non-respect de la population et des autorités locales aux règle des rejets (les eaux usée) alimentant nos cours d'eau qui vont à leurs tour, avec une partie, alimenter le bassin phréatique de la wilaya de Guelma.

L'interprétation des différents résultats d'analyses physico chimiques et isotopiques, a permis de conclure: que l'origine du chimisme des eaux liée à l'interférence de plusieurs facteurs (pluies, géologie, sens des écoulements, activités anthropiques...).

Notamment, la qualité physico-chimique de tous les points prélevés d'après les analyses effectuées à notre niveau (avec les moyens qui nous ont été fournis et entre autres les analyses physicochimiques effectuées), la qualité physico-chimique des eaux de sources est conforme aux normes OMS. A l'exception de la conductivité à la source S1et S3durant les deux prélèvements, et le bicarbonate à la source S1, S2 au premier prélèvement, tendu que S3 au deuxième prélèvement

Quant à la qualité bactériologique et plus au moins acceptable sauf pour la source S2, nous avons constaté une pollution (la présence Les coliformes Tautaux, Les coliformes fécaux et Les Streptocoques fécaux

Pour améliorer la qualité des eaux des sources, nous recommandons ces quelques perspectives :

- Augmenter le sens de connaissance (conscience) publique vis-à-vis la protection des ressources hydrique.
- Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines.
- S'assurer de bien séparer les systèmes d'évacuation des eaux usées.
- Le traitement sur place ou le stockage des rejets et déchets industriels (unités industrielles de production, stations de lavage et de carburant, élevage, raffinerie...).
- Appliquer les consignes de l'OMS qui préconise que pour chaque source, il faut avoir un périmètre de protection d'au moins 150 m, et s'assurer bien les respecter par le contrôle continu des autorités en charge.
- Etablir des normes nationales de la qualité des eaux de consommation.

A

- **Algéo 1997.** « Etude Géophysique dans la plain de Guelma ». Alger Géophysique Algéo, Rapport internet ,28 pbb
- **Alpha S. M., 2005.** « Qualité organoleptique de l'eau dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière ». Thèse de doctorat en pharmacie, Mali, Université de Bamako, 20 p.
- **Andriamiradis L., 2005.** « Mémento technique de l'eau ». 2^{ème} édition: Degremont, 8.P
- **Armand L., 1996.** Mémento technique de l'eau. Edition : Tec et Doc, P : 37.

B

- **Bechiri N., 2011.** « Evolution du chimisme des eaux de surface et souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord -Est Algérien) ».Mémoire de magister en Qualité d'eaux et impact sur l'homme et l'environnement, Annaba, Université de badji mokhtar. 40, 41 p.
- **Benmarce K., 2007.** « Caractéristiques physico-chimiques et isotopiques des eaux souterraines dans la région de Guelma (N, E Algérien) ». Mémoire de magister en Hydrogéologie, Université Badji mokhtar, Annaba. 108, 109, 111, 112 p.
- **Berne F. et Cordonnier J., 1991.** « Traitement des eaux, Edition ». Tec. 6-14 p
- **Bonnin J., 1982.** « Aide mémoire d'hydraulique urbaine ». Edition Eyrolles, 23-24-27-32-33 p.
- **Bontoux J., 1993.** « Introduction à l'étude des eaux douces : qualité et santé, eaux naturelles, eaux usées, eaux de boissons ».2^{ème} édition : Cebedoc. 81-82-120 p.
- **Bourgeois C M., Mescle J F. 1996.** « Microbiologie alimentaire: aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité des aliments ». Edition Lavoisier ,5- 6 p.
- **Boussis A., 2009.** « Développement durable Une Approche Intégrée Pour La Gestion Des Ressources En Eau Dans La Wilaya De Guelma ». Mémoire magister en Hydrogéologie, Annaba, Université Badji mokhtar. 5, 6, 7 p.
- **Briere f G., 2000.** « Distribution et collecte des eaux. 2^{ème} édition : École Polytechnique de Montréal ». 299-300 p.

C

- **Cardot C., 1999.** « Les traitements de l'eau: procédés physico-chimiques et biologiques, cours et problèmes résolus génie de l'environnement », Edition Elipses, 71 p.
- **Claire V., 2011.** « Etude du comportement hydraulique, physico-chimique et microbiologique d'un système de récupération d'eaux de toiture. Evaluation de l'empreinte Environnementale » thèse de doctorat, université de toulouse, 13p.
- **Codex et Coin, 1981.** « La pratique de l'eau : usages domestiques Collectif et industriel ». Édition : Moniteur, Paris : 3-29-326-327 p.
- **Coulais J M., 2002.** « Qualité des eaux et normes de potabilité en deux serves ». Édition. des ateliers.
- **Coulibaly K., 2005.** « Etude de la qualité physico -chimique et bactériologique de l'eau des puits de certaines quartiers du district de Bamako ». Thèse de doctorat, Université de Bamako, 69 p.
- **Craag 2004.** « étude Géophysique par Gravimétrie de la région d'oued zénati, Guelma centre de recherche Astronomique et Géophysique Algérien, (C.R.A.AG) ». rapport internet, 42 p.

D

- **Degremont G., 1990.** « Mémento technique de l'eau. Tome 1, 2^{ème} édition: Copyright dégrement, 129 p.
- **Degremont G., 2005.** « Mémento technique de l'eau ». Tome 1, 10^{ème} édition : Tec et doc, 3- 38 p.
- **Dupont A., 1974.** Hydraulique urbaine. « Hydrologie, captage et traitement des eaux ». Tome 1. 3^{ème} édition: Eyrolles. Paris, 26-28-34-64 p.
- **Djabri L., 1996.** « Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origine géologiques, industrielles, agricoles et urbaines ». Thèse de Doctorat, Annaba, Université Badji Mokhtar, 261 p.

E

- **Edberg R., 2000.** Aide à la fiabilisation de l'eau potable en milieu rural. P : 5.
- **Enageo. 1971.** « Entreprise Nationale de Géophysique dans la région de Guelma » 52 p.
- **Eric et al., 2002 :** Hydrogéologie, Objets, méthodes, applications. 2^{ème} édition, cours et exercices corrigés. dunod. 12, 112, 113, 172 p.

F

- **François A., 2008.** « L'eau et ses enjeux ». Edition de Boeck, 134 p.
- **Frank et Kemmer , 1992.** « Manuel de l'eau ». Édition : Lavoisier, 3 .102. 105p.
- **Friedli C.,2002.** « Chimie générale pour ingénieur ». Edition : presse polytechniques.

G

- **Gaujour D.,1995.** « La pollution des milieux aquatiques». Aide mémoire. 2^{ème} édition : Lavoisier, 49 p.
- **Genoutde T.,2001.** « L'eau de robinet de la source au verre ». Extrait de dossier de bulletin de l'association médicale Kouzmine internationale.
- **Gomella et al., 1974.** « La distribution de l'eau dans les agglomérations urbaines et rurales ». Edition Eyrolles.
- **Gomella et Guerree, 1980.** « Guide de l'alimentation en eau dans les agglomérations urbaines et rurales ». Tome 1: La distribution.3^{ème} édition Eyrolles. 21-2 p.

H

- **Hamada et Salah, 2012.** « Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de forages du périmètre irrigué Guelma-Boumahra ». Mémoire de Master en qualité des produits et sécurité alimentaire, Guelma, Université de 8 mai 1945. 2 ,3 p.
- **Haslay et Leceler, 1993.** « Microbiologie des eaux d'alimentation ». Edition : Tec et Doc, Lavoisier. Paris : 101-107 p.
- **Hubert et Marin, 2001.** « Quelle eau boirons-nous demain ? » Edition: Fabienne Travers. 64-124 p.

J

- **Celleric j., 2002.** «Pla dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau Edition. Ministère de l'agriculture et de la pêche. Direction de l'espace rural et de la forêt Paris.

K

- **Kemmer F., 1984.** « Manuelle de l'eau ». Edition : Lavoisier technique et documentation. 95- 96-112 p.
- **Kettab A., 1992.** « Traitement des eaux. Les eaux potables ». Edition: Office des Publications Universitaires. Alger, 118-111-123 p.
- **Luzolo K., 2012.** « Les eaux souterraines: captage, exploitation et gestion par LUTETE" Université de Kinshasa - Graduat 2012 (INTRODUCTION GENERALE) Chapitre I.

- **Khemis M., 2013).** « Etude de la qualité de quelque eaux de source de la région de Guelma ». mémoire de master, Guelma, université de Guelma 24, 25 p.

L

- **Labres E.,2006.** « Cour D'hygiène Et De Microbiologie Des aliments et de l'eau (Manuel de travaux pratique des eaux) »Institut Pasteur d'Algérie, 60 p.
- **Labres E., 2008.** « la cour nationale d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson Manuel des travaux pratique des eaux Institut Pasteur d'Algérie ». 53 p.
- **Lepeltier S., 2005.** « Un bon état écologique des eaux ».

M

- **Margat J., 1992.** « L'eau dans le bassin méditerranéen. Situation et perspective ». Edition: Harmattan.
- **Marcel F., 1986.** « Dictionnaire français d'hydrologie de surface ». Edition: Masson, 94 p.
- **Medjlekh D., (2006) .** « Impact de l'inertie thermique sur le confort hydro thermique et la consommation énergétique du bâtiment (cas de l'habitation de l'époque coloniale à Guelma) ». Mémoire de magister, Constantine, Université Mentouri. 40 p.
- **Mens et Derouane, 2000.** « État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie ».
- **Mercier J., 2000.** « Le grand livre de l'eau » Edition: La reconnaissance du livre. Collecte art de vivre. 91 p.
- **Mouassa S., 2006 .** « Impact du périmètre d'irrigation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe alluviale de Guelma et sur les sols ». Mémoire de Magister, Annaba, Université Badji Mokhtar. 120 p.

N

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

O

- **Organisation mondiale de santé, 1994.** « Protection et amélioration de la qualité de l'eau ». 2^{ème} édition, Genève: 18 p.

R

- **Rodier J., 1996.** « L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer ». 6^{ème} édition: Dunod, Paris.
- **Rodier J., 1999.** « L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer ». 7^{ème} édition: Dunod, Paris.
- **Rodier J., 2005.** « L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer ». 8^{ème} édition: Dunod, Paris.
- **Rodier J., 2009.** « L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer ». 9^{ème} édition: Dunod, Paris.

S

- **Satin et Selmi , 1999.** «Guide technique de l'assainissement ». 2^{ème} édition: Moniteur. 75 p.
- **SARI H., 2014.** « Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source «Attar » Mémoire de master, Tlemcen, Aboubekr Belkaïd 10,11, 15, 19.
- **Schwartzbord L., 1991.** « Virologie des milieux hydriques ». Édition Lavoisier, Tec et Doc. Paris.

W

- **World Health Organisation, 1994.** « Directive de qualité de l'eau de boisson ». Critères d'hygiène. 2^{ème} édition. Vol 2, Genève.

Z

- **Zouaidia H., 2006.** « bilan des incendies de forêts dans l'Est Algérien cas de Mila, Constantine. Guelma, Souk Ahras ». Mémoire de magister, Constantine, université Mentouri, 126 p.

SITE WEB

- [1] : <http://www.eaurmc.fr/juniors/cahiers-pedagogiques/cycle-eau.php>.
- [2] :Le cycle de l'eau, CE2 MIRI école de MATAIREA.
- [3] <http://www.lenntech.com/fran%C3%A7ais/eauxsouterraines/proprietes.htm>.
- [4] <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/maladies/cholera/maladiehydrique/cholera.htm#ixzz2yewHwZM3>.
- [5] <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/maladies/typhoide/maladiehydrique/typhoide.htm#ixzz2yevA07qr>.

[6] <http://www.universalis.fr/encyclopedie/hydrogeologie/7-exploitation-rationnelle-des-eaux-souterraines/>Ministère de l'agriculture De l'alimentation et de affaires rurales.

Produced with ScanTOPDF

ملخص

تتميز منطقة قالمة بوجود العديد من الينابيع المائية الطبيعية، والتي تعطي لسكان الولاية فرصة لشرب أفضل مياه في حين انهم يظهرون استنابهم حيال نوعية المياه الصالحة للشرب الحالية. ولذلك يجب ان نضمن جودتها ليس فقط من الناحية البكتريولوجية ولكن ايضا خصائصها الفيزيوكيميائية.

وقد اجريت التحاليل البكتريولوجية وفيزيوكيميائية لأربعة ينابيع مائية مختارة على مدى شهرين (مارس-أفريل 2015) في مركز لمعالجة المياه بحمام دباغ قالمة، التي تؤدي اساسا الى تحديد الجراثيم الاجمالية والبكتيريا المحددة للتلوث البرزي وكذلك تراكيز العناصر الفيزيوكيميائية.

واظهرت النتائج التي تم الحصول عليها ان هاته الينابيع المائية المدروسة ذات نوعية فيزيوكيميائية جيدة ماعدا عنصرين الناقلية الكهربائية و البكربونات ولكن النوعية البكتريولوجية لوعا ما مقبول وهنا راجع الى تهاون السلطات والشعب كسبب رئيسي.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، مياه الينابيع، تحاليل فيزيولوجية ، تحاليل بكتريولوجية ، معايير الصلاحية، قالمة.

RÉSUMÉ

La région de Guelma est caractérisée par la présence de plusieurs sources naturelles ; Ce qui donne à la population de la wilaya la possibilité de s'alimenter avec une eau meilleur, tandis qu'elle manifeste un mécontentement envers la qualité actuelle des eaux potables. C'est pourquoi on doit s'assurer de sa bonne qualité non seulement de côté bactériologique mais aussi de ses caractéristiques physico-chimiques.

Les analyses bactériologiques et physico-chimiques des quatre sources choisies, ont été effectuées durant deux mois (Mars et Avril 2015) au niveau au laboratoire de la station de traitement des eaux de Hammam Debagh (Guelma) ; qui mènent principalement à l'identification des germes totaux, des bactéries indicatrices de la contamination fécale ainsi que les concentrations des éléments physico-chimiques.

Les résultats obtenus montrent que ces eaux des sources étudiées sont de bonnes qualités physico-chimiques, à l'exception de deux paramètres la conductivité électrique et le bicarbonate, mais la qualité bactériologique est plus au moins acceptable ayant pour majeur cause la négligence des autorités en charge et la population.

Mots clés : eaux souterraine, eaux de sources, analyses physico-chimiques, analyses bactériologiques, normes de potabilité, Guelma.

ABSTRAT

The area of Guelma is characterized by the presence of several natural sources, what gives to population of the Wilaya the possibility of feeding with better water, while it expresses dissatisfaction towards of drinking water current quality. This is why we must make sure of his good quality not only with bacteriological dimensions, but also of his physic-chemical characteristics.

The bacteriological and physic-chemical analysis of the four sources chosen, were carried out during two months (Mars and April 2015) on the level of the laboratories of water treatment plant in Hamam Dbagh Guelma; who carry out mainly the identification the total germs as well as the concentration of the physic-chemical elements.

The got result show that these studied spring waters are of good physic-chemical quality but two parameter electrical conductivity and bicarbonnat, but are at least acceptable bacteriological quality, having for major causes the negligence of the authorities in load and the population.

Key words: Ground water, Spring water, Physic-chemical analyse, Bacteriology analyse, Standards of potability, Guelma.

Produced with Scantopdf

ANNEXE 01 : Composition des milieux de culture.

1. Milieux liquides

1.1. Bouillon Lactose au Pourpre de Bromocrésol (BCPL)

Double Concentration (D/C) :

- L'extrait de viande de bœuf	2 g
- Peptone	14 g
- Lactose	10 g
- Pourpre de bromocrésol 1%	0,06 g
- Eau distillée	1000 ml
- pH = 6.9+/-0.2	

Autoclavage pendant 15 min à 120°C

Simple Concentration(S/C) :

- L'extrait de viande de bœuf	1 g
- Peptone de caseine	7 g
- Lactose	5 g
- Pourpre de bromocrésol 1%	0,03 g
- Eau distillée	1000 ml
- pH = 6.9+/-0.2	

Autoclavage pendant 20 min à 120 °C

1.2. Milieu de Schubert

- Tryptone	10 g
- Peptone	10 g
- Acide glutanique	0,2 g
- Tryptophane	0,2 g
- Sulfate de magnésium	0,7 g
- Sulfate d'ammonium	0,4 g
- Chlorure de sodium	2 g
- Citrate de sodium	0,5 g
- Mannitol	7,5 g
- Eau distillée	1000 g
- pH = 7.6	

1.3. Milieu de Rothe

Double Concentration (D/C) :

- Peptone de caséine 40 g
- Extrait de viande 3 g
- Glucose 8 g
- Chlorure de sodium 8 g
- Phosphate dipotassique 5,4 g
- Phosphate mono potassique 5,4 g
- Azide de sodium 0,4 g
- Eau distillée 1000 ml
- pH = 6.9+/-0.1

Simple Concentration(S /C) :

- Peptone de caséine 20 g
- Extrait de viande 1,5 g
- Glucose 4 g
- Chlorure de sodium 4 g
- Phosphate dipotassique 2,7 g
- Phosphate mono potassique 2,7 g
- Azide de sodium 0,2 g
- Eau distillée 1000 ml
- pH = 6.9+/-0.1

Autoclavage pendant 20 min à 120 °C

1.4. Milieu d'Eva Litsky

- Tryptone 20 g
- Glucose 5 g
- Chlorure de sodium 5 g
- Phosphate mono potassique 2,7 g
- Phosphate di potassique 2,7 g
- Azide de sodium 0,3 g
- Solution d'éthyle violet 5 g
- Eau distillée 1000 ml
- pH =6,8 à 7

Autoclavage pendant 20 min à 120 °C

2. Milieux solides

2.1. Gélose Tryptone Extrait de levure (TGEA) :

- Extrait de levure 1 g
- Peptone de caséine 5 g
- Glucose 1 S 1 g
- Extrait de viande 3 g
- Agar 18 g
- Eau distillée Eau distillée 1000 ml
- pH = 7

Autoclavage pendant 20 min à 120 °C

2.2. Gélose Viande Foie :

- Base viande foie 20 g
- Glucose 0,75 g
- Amidon 0,75 g
- Sulfite de sodium 1,2 g
- Carbonate de sodium 0,67 g
- Agar-agar 11 g
- Eau distillée 1000 g

Dissoudre les constituants, répartir en tubes ou en flacon, Autoclavage (15min à 120 °C)

ANNEXE 02 : Évolution spatio-temporelle de la turbidité dans les eaux de sources échantillonnées.

Point de prélèvement	S1	S2	S3	S4
Mars	0.48	1.73	0.51	5.25
Avril	0.43	1.62	0.55	1.70

- NTU : nephelometric turbidity unity

ANNEXE 03 : Évolution spatio-temporelle de la salinité dans les eaux de sources échantillonnées.

Point de prélèvement	S1	S2	S3	S4
Mars	0.3	00	00	00
Avril	0.3	00	0.1	00

ANNEXE 04 : Normes d'OMS de potabilité des eaux de consommation
Facteurs physico- chimique.

Paramètres	Unité	Normes
pH	-	6.5 - 8.5
T	°C	25
CE	µs/cm	500
TH	°F	-
Ca ⁺²	mg /l	200
Mg	mg /l	50
Cl ⁻	mg /l	200
HCO ₃ ⁻	mg /l	200
PO ₄ ⁻³	mg /l	5
NH ₄	mg /l	0.5
NH ₃ ⁻	mg /l	50
Fe	mg /l	0.2
TAC	°F	50

ANNEXE 05 : Normes bactériologiques de l'eau de consommation (Directive de l'OMS, 2002).

Paramètres	Unité	Normes
La flore mésophile totale	UFC	100/ml
Les Coliformes totaux	UFC	10/100 ml
Les Coliformes fécaux	UFC	0 UFC/100
Les Streptocoques fécaux	UFC	0
Les anaérobies sulfito-réducteurs	-	0

Produced with Scantopdf