

Remerciement

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos profondes gratitude, avant tout à dieu le tout puissant qui nous donné le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance à **Mr. HOUHAMDI Moussa** et **Mr. BOUCHELAGHEM Elhadi** qui ont accepté de participer à ce jury et de juger ce travail.

Nous vifs remerciements s'adresse au monsieur **MERZOUG Abd el ghani** Maitre Assistant en biologie au département de biologie de l'université de Guelma et monsieur **GUEROUI Yacine** Doctorant en biologie qui nous ont fait l'honneur de nous guider et nous diriger tout le long de notre travail.

Nous remercions tout le personnel de la DDS de Guelma : **Mr. KEBIÈCHE Hassen, Melle BAHALILE Meriem** qui ont facilités l'accès et l'acquisition des données nécessaires à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier spécialement **Mr. BARA Mouslem , Mr. HAMPLAOUI M^{ed} Larbi et Mr. BENSOUILAH Taqiyeddine** qui nous a aidés dans la réalisation de ce travail.

En fin, nous remercions tous ceux qui ont contribué à ce travail par leurs remarques, leurs suggestions et leurs soutiens.

Dédicaces

A mes très chers parents

*Pour leur patience et pour tous les efforts qu'ils ont consentis pour mon éducation et mon bien être. Rien au monde ne pourrait compenser les sacrifices qu'ils ont endurés durant mes années d'études. Surtout **maman Djenette** qui m'a suivi de l'école maternelle jusqu'à l'université. Que dieu vous garde et vous donne santé et longue vie.*

*A ma sœur **HOUDA** et mon frère **SAMI**.*

J'espère que vous trouverez le bon chemin qui vous mènera vers une vie plus gaie et plus sûre. Que dieu vous protège.

*A toute ma famille surtout à mon **oncle ALI**.*

*A mes meilleurs amis: **Kiko, Kacem, Yazid, Sami, Nadir, Laarbi, Amine, Chérif, Youssef, Yacine** et surtout mon **binôme Samir***

*A mon **oncle Chiakha Aziz** qui m'a beaucoup encourager.*

A tous mes professeurs

A tous ceux qui me sont chers.

TOUATI HASSEN

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Celle que dieu m'a aidée le faire, mes plus chers êtres au monde : Ma mère et mon père pour leur amour, leur tendresse, et pour leur soutien moral et matériel durant toutes les étapes de ma vie.

A ma belle mère : Malika et mon beaux pères : Mohamed.

A mes proches pour m'avoir soutenu par leur présence dans le bons comme dans les mauvais moments ; mes sœur Amel et Assia.

A tout les membres de ma familles surtout ma grand mère et mon grand père.

Aux angles de ma maison ; Rabeh, Oussama, Mounia et Omar.

A mon binôme a mes amies : Hassan, Samir, Sideali, Yassin.

A tout ma promotion

AHMED, SAMIR

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	01
--------------	----

Première partie : étude bibliographique

Chapitre I : description de la zone d'étude

1. Situation géographique	02
2. Géomorphologie	03
3. Réseau hydrographique	04
3.1. Hydrologie	04
3.2. Principaux Oueds	05
4. Aspect socio-économique	05
5. Cadre biotique	05
5.1. La faune	05
5.2. La flore	06
6. Etude climatique	06
6.1. La précipitation	07
6.1.1. Régime mensuel des précipitations	07
6.1.2. Régime saisonnier des précipitations	08
6.2. La température	08
6.3. Synthèse climatique	09

Chapitre II : Les maladies à transmission hydriques

1. Définition des maladies hydriques	12
--------------------------------------	----

2. Les principales infections d'origine hydrique	13
2.1. maladie d'origine bactérienne	13
2.1.1. les fièvres Typhoïdes et paratyphoïdes	14
2.1.2. gastroentérites aiguës et diarrhées	14
2.2. Maladies attribuées à la pollution chimique de l'eau	16
2.3. les autres maladies d'origines hydriques	19
3. statistique des MTH dans la wilaya de Guelma	19

Deuxième partie : étude expérimentale

Chapitre III : Matériel et méthode

1. Prélèvement et choix des stations	21
1.1. Choix des stations	21
1.2. Les prélèvements	23
1.2.2. Prélèvement de l'eau des puits	23
1.2.2. Prélèvement de l'eau des forages	23
1.3. Transport et conservation des échantillons	23
2. méthodes d'analyse bactériologiques	24
2.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables	24
2.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale	26
2.2.1. Recherche et dénombrement des Coliformes	26
2.2.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux	29
2.3. Recherche et dénombrement des spores des bactéries Anaérobies Sulfite - Réductrices (ASR)	31
2.4. Recherche des germes pathogènes	33

2.4.1. Recherche des <i>Pseudomonas</i>	33
2.4.2. Recherche des <i>Salmonelles</i>	33
2.4.3. Recherche de <i>Vibrio cholérique</i>	35
2.4.4. Recherche des staphylocoques pathogènes	35
2.5. Identification macroscopiques et microscopiques	36
2.5.1. caractéristiques morphologiques	36
2.5.2. Examen a l'état frais	36
2.5.3. Examen microscopique après coloration de Gram	36
2.6. Identification biochimique	37
2.6.1. La galerie classique	37
2.6.2. La galerie API système	40
3. Analyse physico-chimique	41
3.1. Les analyses in situ	41
3.2. Les analyses effectuées dans le laboratoire	42
Chapitre VI : Résultats et discussion :	
1. Résultats des analyses bactériologiques	47
1.1. Résultats de dénombrement des germes revivifiables	47
1.2. Résultats de dénombrement des germes témoins de contamination fécale	47
1.2.1. Résultats de dénombrement des Coliformes	47
1.2.2. Résultats de dénombrement des Streptocoques fécaux	49
1.3. Résultats de dénombrement des spores des bactéries Anaérobies Sulfito-réductrices (ASR)	50
1.4. Identification des germes pathogènes	51
1.4.1. Sur milieu Hekton	51
1.4.2. Sur milieu GNAB	52

1.4.3. Sur milieu SS	52
1.4.4. Sur milieu Citrimide	52
1.4.5. Sur milieu Chapman	53
1.4.6. Résultats de l'identification biochimique	54
2. Résultats des analyses physico-chimiques	56
2.1. Résultats des analyses in situ	56
2.2. Résultats des analyses effectuées dans le laboratoire	59
Conclusion	67
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des abréviations

A : automne

Abc : absence

An : année

ASR : Anaérobies sulfite réducteurs

BCPL : Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol.

°C : Degré Celsius

CE : conductivité électrique

CF : Coliformes fécaux

Cm : centimètre

CT : Coliformes totaux

D/C : Double concentration.

E : Est

E : été

E. coli : *Escherichia coli*

EPA : eau peptone alcaline

F1, F2 :forage1, forage2

°F : Degré Française

Fig : Figure.

g/l : Gramme par litre

GN: Gélose nutritive

GNAB: Gélose Nutritive Alcaline et biliée

h : heure

H : hiver

H⁺ : ion hydrogène

IND : Indole.

Km: Kilomètre

L : Litre

m: mètre

mg/l: milligramme par litre

ml: millilitre

mm: millimètre

moy : moyenne

MTH: maladies à transmission hydrique

N : Nord

NPP : Nombre le plus probable.

O₂ : oxygène dissous

OMS : Organisation mondiale de santé.

ONM : Office National de Météorologie.

ONPG : Ortho-Nitrophényle-B-D –Galactosidase.

P1, P1 :puits1, puits2

P : précipitations moyennes annuelles

pH : Potentielle Hydrogène.

Q2 : Quotient pluviométrique d'Emberger

q.s.p : Quantité suffisante pour

S/C : Simple concentration.

SF : streptocoque fécaux

SFB : Selenite-F Broth

Sp :espece

SS : salmonelle -shigelle

T° : Température

TA : titre alcalimétrique

TAC : titre alcalimétrique complet

Tab : Tableau

TDA : Tryptophane décarboxylase.

TDS : taux des sels dissous

TGEA : Gélose numération : Gélostryptone-glucose-Extrait de levure.

TH : titre hydrotimétrique

TSI : Triple Sagar Iron.

UFC : Unité formant colonie

$\mu\text{s/cm}$: microsiemens par centimètre

VF : Viande Foie.

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 01	Localisation géographique de la zone d'étude	2
Figure 02	Carte de position des profils géoélectriques dans la plaine de Tamlouka (Guelma, Nort-est Algérien)	3
Figure 03	Diagramme pluviométrique saisonnier de la ville de Guelma (1999-2008)	8
Figure 04	Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la ville de Guelma (1999-2009).	10
Figure 05	Situation de la ville de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1999-2009).	11
Figure 06	Situation épidémiologiques des MTH de la wilaya de Guelma (2005-2011)	20
Figure 07	Localisation des puits analysés de la région de Tamlouka (P1, P2)	21
Figure 08	Localisation des forages analysés de la région de Tamlouka (F1, F2)	22
Figure 09	Localisation des points de prélèvement	22
Figure 10	Dénombrement des micro-organismes revivifiables à 22° et à 37°C dans les eaux	25
Figure 11	Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et les Coliformes thermotolérants.	28
Figure 12	Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.	30
Figure 13	Recherche et dénombrement des Spores des bactéries Anaérobies Sulfito-Réductrices (ASR).	32
Figure 14	Recherche et identification des Salmonelles.	34
Figure 15	Estimation du nombre des Coliformes totaux	48
Figure 16	Estimation du nombre des Coliforme fécaux	49
Figure 17	Estimation du nombre des Streptocoques fécaux	50
Figure 18	Colonies observées sur milieu Hektoen	53
Figure 19	Colonies observées sur milieu SS	53
Figure 20	Résultats de la galerie classique pour <i>E.coli</i>	54
Figure 21	Profil biochimique de la souche <i>Morganella morganii</i>	55

Figure 22	Profil biochimique de la souche <i>Aeromonas hydrophila</i>	55
Figure 23	Profil biochimique de la souche <i>Pseudomonas putida</i>	55
Figure 24	Evolution spatio-temporelle de la température dans les points de prélèvements	56
Figure 25	Evolution spatio-temporelle de la conductivité dans les points de prélèvements.	57
Figure 26	Evolution spatio-temporelle du pH dans les points de prélèvements	57
Figure 27	Evolution spatio-temporelle de l'oxygène dissout dans les points de prélèvements	58
Figure 28	Evolution de salinité dans les points de prélèvement	58
Figure 29	Evolution des taux des sels dissous dans les points de prélèvement	59
Figure 30	Evolution de dureté dans les points de prélèvement	59
Figure 31	Evolution de l'alcalinité dans les points de prélèvement	60
Figure 32	Evolution du calcium dans les points de prélèvement	60
Figure 33	Evolution du magnésium dans les points de prélèvement	61
Figure 34	Evolution du chlorure dans les points de prélèvement	61
Figure 35	Evolution du sodium dans les points de prélèvement	62
Figure 36	Evolution du potassium dans les points de prélèvement	62
Figure 37	Evolution du sulfate dans les points de prélèvement	63
Figure 38	Evolution de bicarbonate dans les points de prélèvement	63
Figure 39	Evolution de nitrate dans les points de prélèvement	64
Figure 40	Evolution de nitrite dans les points de prélèvement	64
Figure 41	Evolution d'ammonium dans les points de prélèvement	65
Figure 42	Evolution d'ortho phosphate dans les points de prélèvement	66

Liste des tableaux

Numéros	Titres	Pages
Tableau 01	Données météorologique de la région de Guelma (ONM).	6
Tableau 02	Répartition des précipitations moyennes mensuelles (Station météorologique de Guelma, 1994 à 2008).	7
Tableau 03	Température moyenne mensuelle de la région de Guelma (1994-2009).	9
Tableau 04	Les principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique.	13
Tableau 05	Autres maladies hydriques	19
Tableau 06	Présentation des points de prélèvement.	21
Tableau 07	Dénombrement des germes revivifiables en UFC.	47
Tableau 08	Dénombrement des bactéries anaérobies sulfite réductrices	50
Tableau 09	Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Hektoen	51
Tableau 10	Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Gélose GNAB	52
Tableau 11	Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Gélose SS	52
Tableau 12	Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Citrimide	53
Tableau 13	Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Gélose Chapman	53
Tableau 14	Résultats de l'identification biochimique	54



Introduction

L'eau constitue un élément essentiel dans la vie et dans l'activité humaine, c'est une composante majeure 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. **(Aouissi, 2010)**

La pénurie d'eau est devenue un problème crucial vécu par toutes les sociétés, et en particulier, celles des pays en voie de développement. En effet, l'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont eu pour conséquence une dégradation de la qualité des eaux souterraines.

En Algérie, il y a un mécontentement général de la population sur la qualité de l'eau potable; c'est pourquoi la population n'a eu comme unique refuge que de s'alimenter des sources naturelles. Notamment dans la wilaya de Guelma qui souffre énormément de la mauvaise qualité des eaux des barrages Malgré les grands volumes en réserve, ce qui pousse les gents à s'orienter vers les points d'eau souterraine. **(Mebarki, 2005)**

Vue à ce problème majeur, nous avons effectué une étude sur la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux souterraines (deux puits et deux forages) de la commune de Tamlouka, wilaya de Guelma (Nord-est algérien) dans l'unique but est de déceler les facteurs influençant sur la qualité de ces eaux et leurs impacts sur l'environnement et la santé humaine, sachant que la plaine de Tamlouka présente une zone agricole soit 90% de terre cultivée.

Nous avons structuré notre démarche en quatre chapitres interdépendants:

❖ Le premier et le second purement théoriques rassemblent d'une part des généralités sur la région: climatologie, géologie et une contribution à l'étude de son cadre biotique et d'autre part une description détaillée des différentes maladies pouvant être véhiculée par l'eau (maladies à transmission hydriques).

❖ Le troisième chapitre est consacré aux méthodes et aux techniques employées pour la réalisation de ce travail: Analyses bactériologique (recherche et dénombrement de microorganismes) et physico-chimiques de l'eau de notre région.

❖ Le dernier représenté sous forme de graphes comporte les résultats obtenus et leur discussion.



**Chapitre I:
Description de la zone d'étude**

1. Situation géographique

La plaine de Tamlouka, couvrant une superficie de 200 km², est située au Nord-est du territoire algérien, elle fait partie de la région des hauts plateaux Constantinois. Elle se trouve à 60 km au Sud de la ville de Guelma et à 30 km au Nord de la ville d'Oum El Bouaghi avec une longitude et une latitude limitées respectivement entre 7° et 7°15'E et entre 36° et 36°12'N (Figure 01) (Hemila & Kowalski, 2002).

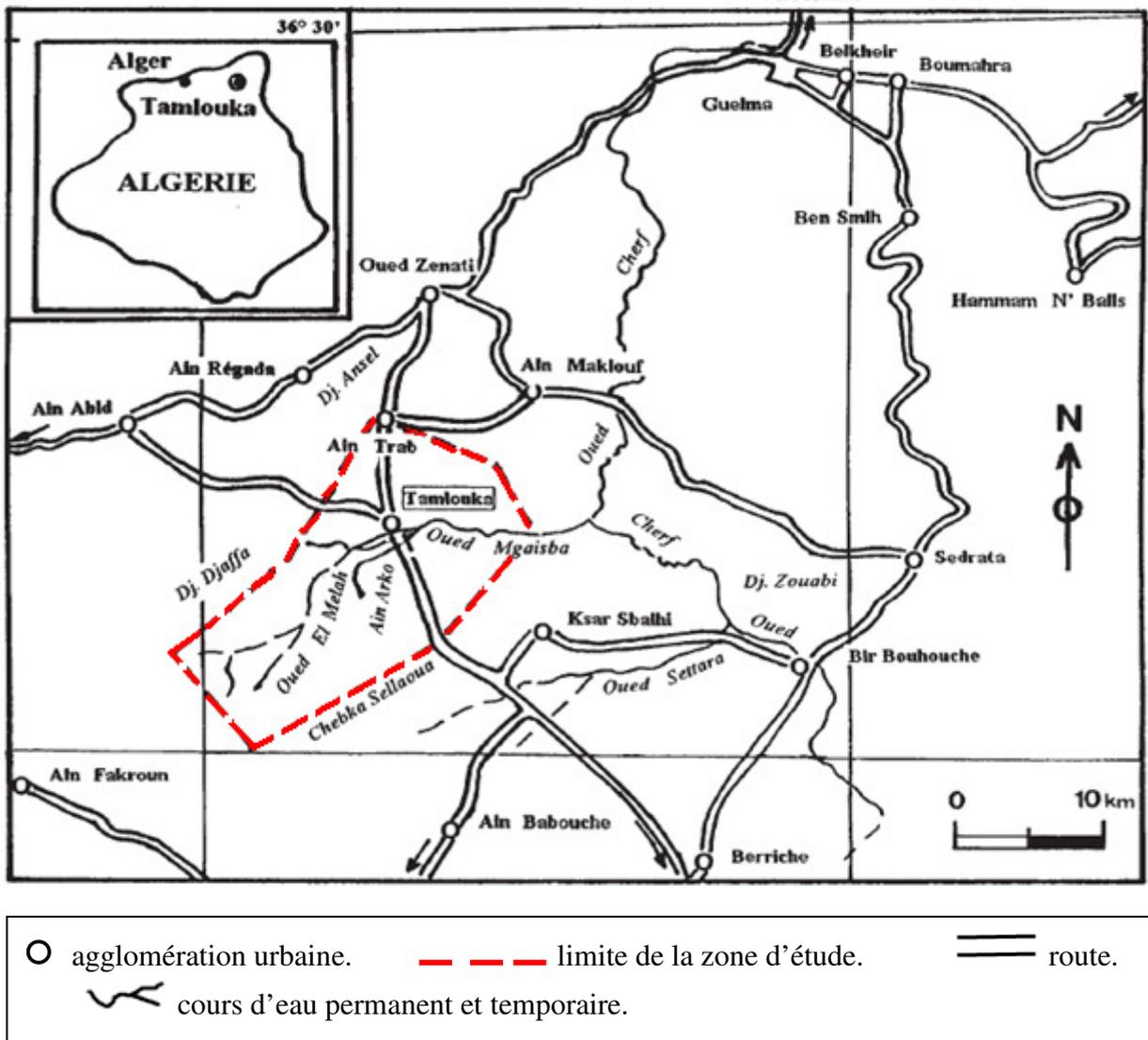


Figure 01 : Localisation géographique de la zone d'étude. (Hemila & Kowalski, 2002)

La plaine est limitée localement (Figure 01 et 02) :

- Au Nord, par le versant de Djebel Mdareg Narou.
- Au Sud, par la ligne de relief de Chebka Sellaoua.

- À l'Est, par les collines de Gueblet El Khamoul et Sidi Mâch et les versants de Djebel El Ouibi et Djebel El Hofra.
- À l'Ouest, par les monts de Kef El Mahkane, Djebel Djaffa, Bordj El Hadjra et Koudiat El Méchaga. (Hemila & Kowalski, 2002)



Figure 02 : Carte de position des profils géoélectriques dans la plaine de Tamlouka (Guelma, Nord-est algérien). (Hemila & Kowalski, 2002)

2. Géomorphologie

Comme il a été mentionné précédemment, le bassin versant de Tamlouka, appartenant à la partie méridionale de la chaîne alpine de l'Algérie connue sous le nom de l'Atlas tellien, est un carrefour de rencontre de trois grandes unités géologiques :

* **Le domaine allochtone** du sillon de Sellaoua affleure en faciès marneux pauvre en calcaires une série stratigraphique Crétacée qui s'étale du Néocomien jusqu'au Sénonien. La couverture Miocène est à sédiment marin composé essentiellement de marne et d'argile sableuse.

* **Le domaine néritique** constantinois, représenté le long de la bordure Ouest par la zone intermédiaire de Djebel Djaffa, est disposé en allochtone sur l'unité de Sellaoua avec une structure de stries en plis couchés à cœur calcaire jurassique isolé en surface du milieu de la plaine de Tamlouka, au niveau de Djebel Ain Arko. Ces dernières formations ont été interprétées par Vila (1977a, 1977b, 1980) comme la base de la zone intermédiaire néritique de Djebel Djaffa ou le substratum de la série de type Sellaoua actuellement décollée et en position allochtone plus au Sud.

La zone de Djebel Djaffa se caractérise particulièrement par le manque du quartz qui avait disparu parallèlement au développement du faciès carbonaté (calcaires et dolomies). La série stratigraphique se présente en alternance de formations carbonatées de calcaires micobréchiques à ammonites parfois pyriteux et à rudistes et de marnes vertes à noires parfois argileuses et peu sableuses.

* **Le domaine tellien** représente le milieu le plus profond de la région, il vient au Nord de la plaine chevaucher le domaine néritique et charrier les séries pélagiques des Sellaoua. Le faciès est carbonaté à prédominance de marnes noires et marno-calcaires à silex; il est d'âge Crétacé supérieur Sénonien et Tertiaire Éocène. Les calcaires ne sont épais qu'au sommet du Lutétien avec un faciès riche en lumachelles à huîtres. (**Hemila & Kowalski, 2002**)

3. Réseau hydrographique

3.1. Hydrologie

Il est remarqué 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 (**Zouaidia, 2006**). Les eaux de surface sont drainées par l'Oued Cherf en parcourant en amont l'Oued El Melah et l'Oued Mgaisba.

3.2. Principaux oueds

* Oued Charef : Prend sa source au Sud de la wilaya et son apport est estimé à 107 millions m³/an.

* Oued Mellah : provenant du Sud-est, ce court d'eau enregistre un apport total de 151 millions m³/an

* Oued Mgaisba : provenant de la localité de Sidi Mâach située dans le Nord-est de Tamlouka.

4. Aspect socio-économique

Se trouvant à l'extrême Sud-ouest de la wilaya de Guelma, la plaine de Tamlouka est une région à vocation agricole où les cultures extensives sont les plus prédominantes. Les cultures maraichères et l'élevage occupent une place plus importante dans les zones rurales. L'industrie est presque inexistante sauf quelques installations à caractère local (carrière, etc.).

La population est concentrée dans les principales agglomérations: Tamlouka, Ain arko, et Sellaoua.

5. Cadre biotique

On ne peut pas parler de la végétation en occultant la faune, dès lors que les espèces végétales et animales se regroupent suivant leurs affinités écologiques, précisément en des ensembles structurés appelés (biocénoses) (Aouissi, 2010). La région de Tamlouka renferme des écosystèmes différents :

5.1. La faune

Dans cette région, on trouve plusieurs espèces existantes, parmi lesquelles :

* **Les mammifères** : Sanglier (*Sus scrofa*), Renard (*Vulpes vulpes*), Hyène (*Crocuta crocuta*), Chacal. (*Canis aureus*).

* **Les oiseaux** : Perdrix gabra (*Alectoris barbara*), Hibou grand-duc (*Bubo bubo*), Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*), Etourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*).

5.2. La flore

La végétation dans la plaine de Tamlouka n'est pas dense, sauf quelques ensembles des arbres de broussailles réparties autour des fermes ainsi que les champs de blé couvrant la plaine pendant l'année agronomique.

Parmi les espèces floristiques : le Chêne zéen (*Quercus canariensis*), Genévrier de Phénicie (*Juniperus phoenicea*), Filao (*Casuarina equisetifolia*.)

6. Etude climatique

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau, et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines (Solter, 1999)

C'est un fait bien établi que l'Algérie fait partie de « l'aire isoclimatique méditerranéenne », puisque son climat est partout caractérisé par l'existence d'une période de sécheresse axée sur la période chaude et imposant à la végétation en place un stress hydrique de durée variable. D'après la récente classification de Rivas-Martinez (2005), l'Algérie fait partie intégrante du « macroclimat méditerranéen », Par défaut de l'absence d'une station météorologique dans le site de notre étude, ces données ont été récoltées auprès de la station météorologique de la ville de Guelma. (Bensouilah et al., 2012)

La précipitation désigne tout type d'eau qui tombe de ciel, sous forme liquide ou solide. Elle représente un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et Les données météorologiques récoltées de la station de Guelma ONM sont résumées dans le tableau 01.

Tableau 01 : Données météorologique de la région de Guelma (Office National de Météorologie).

Latitude	Altitude (m)	Longitude	Période d'observation
36° 28'	227	07°28'E	1994-2009

Ces coordonnées nous permettent de caractériser le climat de la région.

6.1. La précipitation

Les pluies qui tombent en Algérie sont d'origines orographiques et torrentielles. Elles varient selon l'altitude.

Divers facteurs contribuent à déterminer les zones de précipitations en Algérie, en particulier l'orientation des chaînes de montagnes et la direction des vents dominants porteurs d'humidité. Dans tout le littoral et le Tell, la direction des vents, pendant la saison pluvieuse, est franchement Nord-Ouest avec une fréquence moyenne de 50 fois par an, ce sont les vents du Nord-Ouest qui apportent les précipitations de l'hiver. (Meddour, 2010)

En plus de l'orientation des versants, la pluviosité varie en Algérie sous l'influence de plusieurs paramètres géographiques, altitude, latitude, longitude et distance à la mer:

- ♣ La quantité de pluie augmente avec l'altitude, elle est plus abondante sur les reliefs qu'en plaine ; mais, elle est plus élevée sur les versants bien orientés face aux vents pluvieux du Nord-ouest, que sur les autres.
- ♣ La pluviométrie est plus importante sur le littoral, que dans les régions situées plus au sud.
- ♣ A cette décroissance des pluies du Nord au Sud se superpose une décroissance de l'Est à l'Ouest (selon la longitude) ; cette loi étant particulière à l'Algérie. (Meddour, 2010)

6.1.1. Régime mensuel des précipitations

Les variations des quantités pluviométriques de la station météorologique de la Wilaya de Guelma enregistrées durant la période allant 1994 à 2008 révèlent une plus forte chute de pluies durant la période humide avec un maximum de 102.03 mm au mois de janvier, puis une diminution jusqu'au mois de juillet, le mois le plus sec avec une précipitation moyenne de 2.96 mm (Tableau.02).

Tableau 02 : Répartition des précipitations moyennes mensuelles (Station météorologique de Guelma, 1994 à 2008). (Aouissi, 2010)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
P (mm)	102.03	62.77	60.12	67.71	45.05	16.45	2.96	12.47	46.41	37.05	71.25	81.8

6.1.2. Régime saisonnier des précipitations

L'année pluviométrique a été divisée en quatre saisons conventionnelles. Le régime saisonnier de notre région d'étude durant la période (1994 - 2008) est de type H. P. A. E (Hiver, Printemps, Automne, Eté) (Figure 03).

L'existence d'une période de sécheresse estivale est l'un des facteurs essentiels permettant d'expliquer les caractéristiques des forêts méditerranéennes.

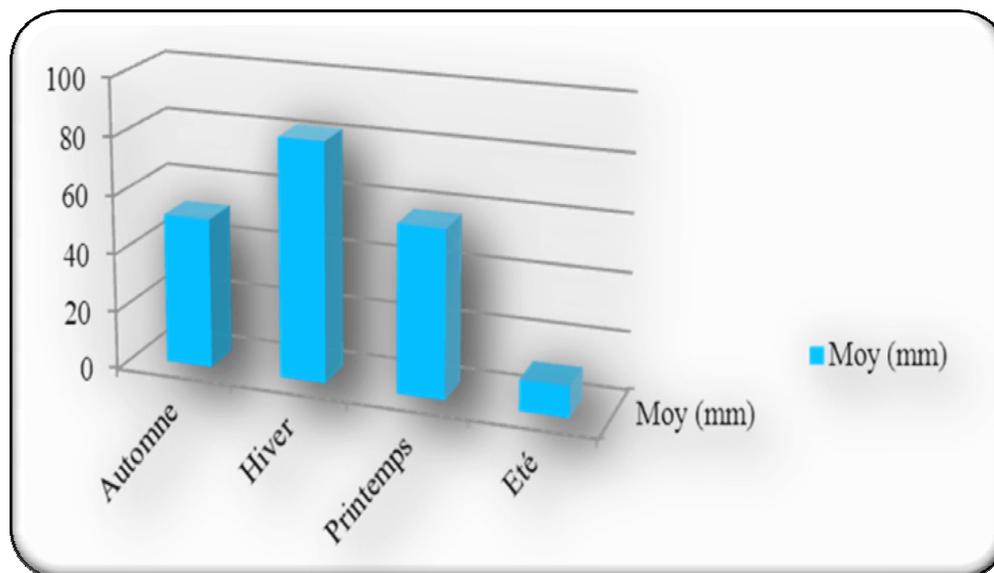


Figure 03 : Diagramme pluviométrique saisonnier de la ville de Guelma (1999-2008).
(Bensouilah et al., 2012)

Ce diagramme (Figure 04) montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 82.20 mm/mois, ce qui produit une charge de la nappe, tandis que l'été est sec avec une faible recharge de 10.63 mm/mois, ce qui produit une évaporation.

6.2. La température

La température est l'un des facteurs les plus importants du climat. Elle agit sur les répartitions d'eau qui s'opèrent par le phénomène de l'évapotranspiration.

Les données des températures moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station de Guelma (1994-2009), sont consignées dans le tableau 03.

Tableau 03 : Température moyenne mensuelle de la région de Guelma (1994-2009).
(Aouissi, 2010)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T (°C)	9.76	10.19	12.47	14.84	19.65	24.25	27.16	27.51	23.56	19.83	14.33	10.87

Les températures moyennes mensuelles les plus élevées sont observées pendant la période allant de juin à octobre, avec des températures variantes de 20 à 27.51°C. Par contre les températures les plus basses (9 à 12.47°C) sont observées pendant la période hivernale (décembre à mars) avec un minimum enregistré pendant le mois de janvier 9.76°C.

6.3. Synthèse climatique

L'établissement d'une synthèse des facteurs climatiques à savoir la pluviométrie et la température fait appel à l'étude des deux paramètres suivants :

- Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.
- Le quotient pluviométrique d'Emberger.

a) Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN nous permet de mettre en évidence la période sèche et humide de notre zone d'étude. (**Bagnouls et Gausсен, 1957**)

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

L'analyse du diagramme (Figure 04) montre que la période sèche est d'environ 05 mois. Elle s'étend du mois de juin jusqu'à le mois d'octobre, tandis que la période humide, s'étend du mois de novembre jusqu'au mois de mai.

D'après ce diagramme, on peut distinguer deux périodes :

- La première froide et humide s'étale sur 7 mois.

- La seconde chaude et sèche s'étale sur 5 mois.

La détermination de cette période est une grande importance pour la connaissance de la période déficitaire en eau.

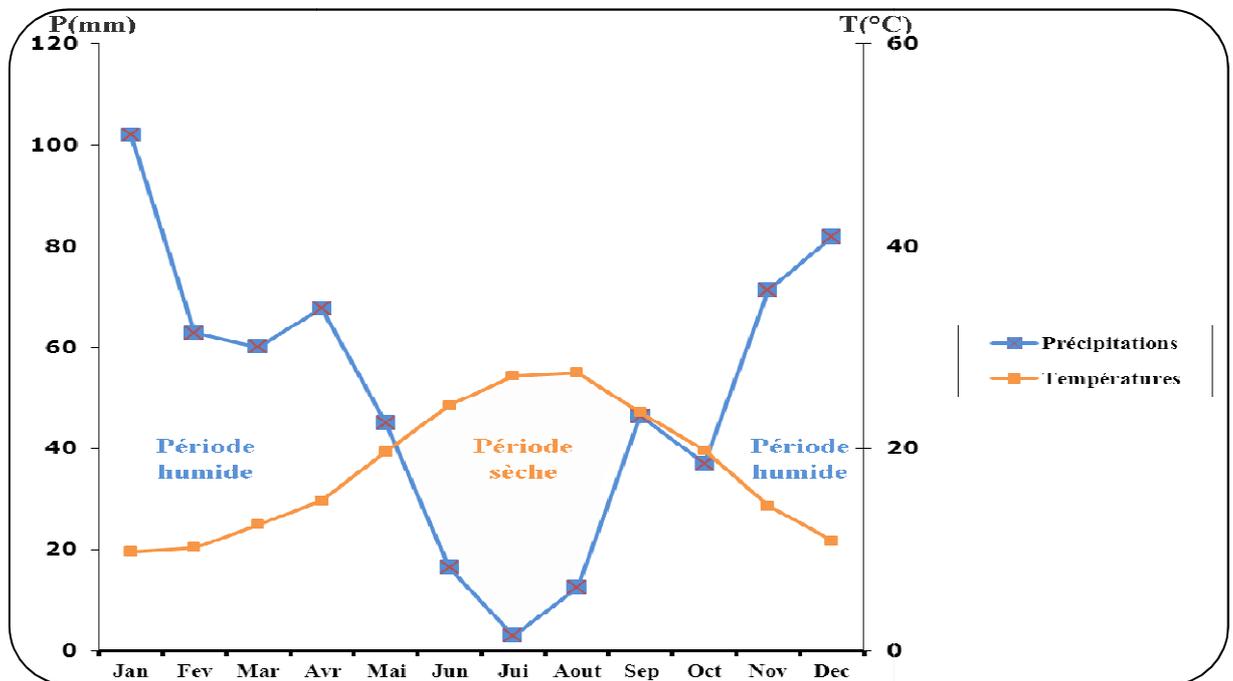


Figure 04: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN de la ville de Guelma (1999-2009). (Aouissi, 2010)

b) Climagramme d'Emberger

Pour caractériser un bioclimat, Emberger en 1952, a établi un quotient représenté par le rapport entre les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes. L'expression de ce quotient est la suivante :

$$Q_2 = 2000 * P / M^2 - m^2$$

Q_2 est l'indice pluviométrique qui se fonde sur les critères liés aux précipitations annuelles moyennes P (mm), à la moyenne des minima du mois le plus froid de l'année (m), et à la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M).

Selon Emberger, la région méditerranéenne est subdivisée en cinq étages bioclimatiques. Pour déterminer l'étage bioclimatique de la région d'étude (Guelma), il faut procéder au calcul du quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2).

- $P = 606,07$ mm : Précipitations annuelles en mm ;

- $M = 36.34^{\circ}\text{C} = 309.34 \text{ K}$: Moyenne des maxima du mois le plus chaud ;
- $m = 4.62^{\circ}\text{C} = 277.62 \text{ K}$: Moyenne des minima du mois le plus froid.

Pour la région de Guelma, le Q_2 calculé est de 65.10. En rapportant les valeurs de Q_2 et de m sur le climagramme d'Emberger nous trouvons que notre région est l'étage bioclimatique de végétation semi-aride à hiver tempéré (Figure 05).

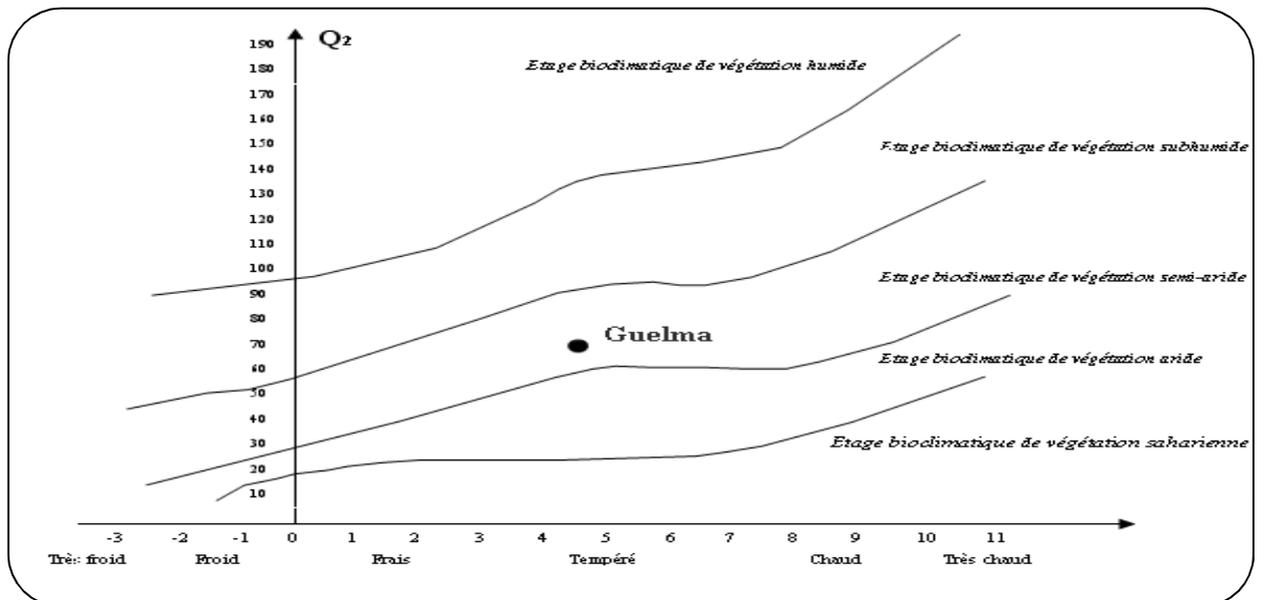
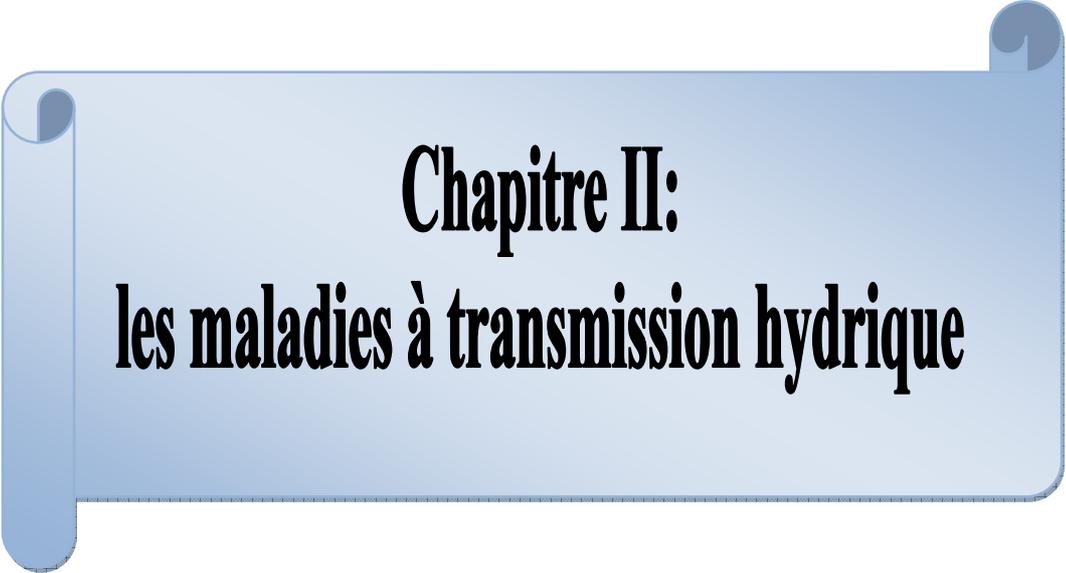


Figure 05: Situation de la ville de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1999-2009).

(Aouissi, 2010)



Chapitre II:
les maladies à transmission hydrique

Au cours du 19^{ème} siècle, les maladies d'origine hydrique ont été responsables dans le monde de vastes épidémies de dysenteries, fièvre typhoïde, choléra...etc. Aujourd'hui, l'O.M.S considère que la mauvaise qualité microbiologique des eaux consommées reste la première cause des problèmes de santé. **(Lesne, 1998)**

Toutefois les maladies à transmissions hydriques recouvrent un large éventail de manifestations pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale. **(Kreisel, 1991)**

Les progrès scientifiques associées aux progrès de l'hygiène collective et individuelle, au développement des techniques de production d'eau potable et à des contrôles stricts des eaux destinées à la consommation humaine ont permis l'éradication presque complète dans le monde occidental des plus graves de ces maladies, qui continuent à constituer un fléau dans certains pays en voie de développement.

1. Définition des maladies hydriques

Les maladies hydriques résultent d'une exposition à des microorganismes pathogènes ou à des produits chimiques présents dans l'eau potable ou les eaux utilisées pour les activités récréatives. L'eau contaminée pénètre le plus souvent dans l'organisme par ingestion, toute fois, les contaminants de l'eau peuvent aussi être inhalés ou adsorbés ou peuvent pénétrer dans le corps par les plaies ouvertes. La majorité des symptômes induits par les agents pathogènes d'origine hydrique sont d'ordre entérique (nausées, vomissements et diarrhées et plus rarement, colites). D'autres symptômes peuvent cependant être d'ordre neurologique, cardiovasculaire, respiratoire (*Legionella*), oculaire (toxoplasmose), hématologique (septicémie causée par *E. coli* O157:H7) ou dermatologique. **(Payment et Pintar ,2006)**

2. Les principales infections d'origine hydrique

2.1. Maladies d'origine bactérienne

Le tableau N° 04 présente les principales bactéries pathogènes rencontrées dans les infections bactériennes d'origine hydrique. (Rejsek, 2002)

Tableau. 04 : Les principales bactéries responsables d'infections d'origine hydrique.
(Rejsek, 2002)

Bactéries	Maladies induites	Indication de la recherche
<i>Aeromonas</i>	Gastro-entérite syndrome cholérimforme.	
<i>Clostridium perfringens</i>	Gastro-entérite.	Contamination fécale peu spécifique.
<i>Enterococcus</i>		Contamination fécale.
<i>Escherichia coli</i> entérotoxiques et entéroinvasifs	Gastro-entérite et autre maladies.	Contamination fécale.
<i>Campylobacter jejuni</i> ou <i>coli</i>	Gastro-entérite.	
<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumopathie, fièvre.	
<i>Leptospira</i>	Leptospirose ictéro-hémorragique.	Maladie professionnelle.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infection cutanée, pus.	Contamination de proximité.
<i>Salmonella typhi</i> et <i>paratyphi A</i>	Fièvres typhoïde et paratyphoïdes.	
<i>Shigella</i>	Gastro-entérite.	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Infection cutanée.	Contamination de proximité.
<i>Vibrio</i>	Cholera, gastro-entérite, infection cutanée.	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastro-entérite.	

2.1.1. Les Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes

Ce sont de véritables septicémies dues à des salmonelles : *Salmonella typhi* et *Salmonella paratyphi A, B, et C*. Elles sont caractérisées par de la fièvre, céphalées, diarrhée, douleurs abdominales, accompagnées d'un abattement extrême (le tymphos) et peuvent avoir des complications graves, parfois mortelles : hémorragies intestinales, collapsus cardiovasculaire, atteintes hépatiques, respiratoires, neurologiques.

La contamination se fait par voie digestive à partir d'eaux contaminées par des matières fécales, d'aliments avariés ou encore par des mains sales.

La bactérie traverse sans léser la barrière intestinale et se fixe dans les ganglions mésentériques. Après incubation elle se répand dans la circulation sanguine ce qui conduit à une septicémie. Elle libère lors de son élimination une endotoxine neurotrope qui lèse le système abdominal provoquant des ulcérations.

La toxine peut être également responsable de troubles plus généraux par atteinte du système nerveux central. La bactérie est retrouvée dans les selles du malade dans 50 à 80 % des cas. **(Roland, 2003)**

2.1.2. Gastroentérites aiguës et diarrhées

Une gastro-entérite est une infection inflammatoire du système digestif pouvant entraîner de la nausée, des vomissements, des crampes abdominales, des flatulences et de la diarrhée, ainsi que de la déshydratation, de la fièvre et de la céphalée (mal de tête). Elles peuvent être d'origine bactérienne, virale, ou dues à des parasites internes, protozoaires ou amibes pathogènes.

Les gastroentérites sont causées généralement par l'ingestion accidentelle d'eau contaminée par des matières fécales, ou bien par la consommation de poisson ou de fruits de mer contaminée.

- *Escherichia coli*

C'est une bactérie saprophyte du tube digestif de l'homme et des animaux qu'elle envahit dès les premières heures de la vie. Elle se multiplie par des milliards dans les matières

fécales. Leur extrême abondance et leur résistance dans l'eau sont telles que ces bactéries ont été retenues comme germes-tests de contamination fécale des eaux.

Bien que fort nombreuses, ces bactéries ne sont guère pathogènes : 5 à 6 % des souches seulement chez l'enfant. Ce n'est que dans de très rares cas qu'elles passent dans le sang provoquant une septicémie ou des infections urinaires. **(Roland, 2003)**

• *Campylobacter jejuni*

Bien qu'étant l'une des causes les plus courantes de gastroentérites, ce n'est que vers la fin des années 1970 que cette bactérie a été reconnue comme agent d'infection gastro-intestinale. Son taux d'infection dans la population est estimé à 1 % et plus de 2000000 de cas par an sont comptabilisés aux Etats-Unis. Il en est de même au Royaume-Uni et dans d'autres nations développées. C'est une infection sporadique apparaissant en été, le plus souvent à la suite de manipulations de nourriture mal cuite, essentiellement de produits avariés.

L'impact de *Campylobacter* dans les pays en voie de développement est de plusieurs fois supérieur à celui observé dans les pays développés et donne lieu à l'apparition de porteurs sains. La plupart des infections surviennent pendant l'enfance et leur fréquence diminue avec l'âge. Le risque de contamination encouru par les touristes dans les pays à risque varie de 0 à 39%. **(Roland, 2003)**

• *Yersinia enterocolitica*

De nombreuses espèces animales constituent le réservoir de cette bactérie : porc, lapins, mulots. Le lait, les coquillages, les crèmes glacées et les crudités (carottes râpées, salades, légumes) ont conduit à des milliers d'infections. En ce qui concerne l'eau, sa transmission est oro-fécale. Elle provoque une entéocolite souvent sanglante qui régresse au bout d'une semaine. Des complications abdominales peuvent néanmoins survenir laissant penser parfois à une crise d'appendicite. **(Roland, 2003)**

• *Salmonella sp*

Il existe plusieurs centaines de salmonelles dont la classification a été modifiée de nombreuses fois et qui n'est toujours pas bien stabilisée. Leur transmission par voie hydrique est oro-fécale.

L'origine des salmonelles remonte à la nuit des temps. En effet, elles auraient divergé du genre *Citrobacter* après l'apparition des amphibiens et des reptiles, il y a 300 millions d'années. Puis la sous-espèce I se serait différenciée à l'émergence des animaux à sang chaud, il y a 200 millions d'années engendrant les fièvres typhoïdes.

Estimées à 841 espèces par Kaufman-White, c'est la sous espèce *enterica* qui est responsable des affections des animaux à sang chaud. Elles sont responsables de 8.6% des diarrhées infantiles hospitalisées dont 88% chez des enfants de 1 à 5 ans. Les sérotypes *Typhi*, *Paratyphi A*, *B* et *C* sont responsables des salmonelloses humaines les plus graves, parfois mortelles. D'autres sous-espèces d'origines animales peuvent être responsables de gastroentérites autolimitées avec fièvre de l'ordre de 2 jours et diarrhées n'excédant pas 7 jours. De même, d'autres sous-espèces peuvent être saprophytes d'animaux à sang froid. **(Roland, 2003)**

- ***Aeromonas***

Bien que le genre *Aeromonas* soit peu cité pour ce qui concerne son association avec les gastroentérites, il n'en demeure pas moins qu'il serait responsable en troisième, voire seconde, position des gastroentérites des mois d'été aux Etats-Unis.

Dans sa forme légère la gastroentérite provoquée par les *Aeromonas* se présente comme une diarrhée aqueuse, très semblable à celle causée par de nombreux autres entéropathogènes et ce n'est que très rarement qu'elle présente un caractère cholériforme. **(Roland, 2003)**

2.2. Maladies attribuées à la pollution chimique de l'eau

Certaines substances comme les métaux lourds ne sont pas éliminées par l'organisme. Elles s'y accumulent, et leur ingestion prolongée peut être de maladies graves, même si leur teneur dans l'eau est très faible. Ingérée en grande quantité, lors d'une pollution accidentelle, ces mêmes substances sont rapidement toxiques. [1]

- **Nitrate**

Au-delà d'un certain seuil de concentration, les nitrates peuvent engendrer, chez les enfants et surtout les nourrissons très sensibles à une absorption trop importante, un empoisonnement du sang appelé une méthémoglobinémie ou encore maladie bleue. Les

nitrate ne sont pas nocifs en soit pour la santé. Mais sous l'action d'une bactérie présente dans le corps humain, ils se transforment en nitrite - qui eux oxydent l'hémoglobine du sang qui ne peut plus fixer l'oxygène et perturbe la respiration cellulaire.

Même à faible concentration, ils peuvent également engendrer à long terme des cancers chez les adultes lorsqu'ils sont associés à certains pesticides avec lesquels ils forment des composés cancérigènes. Le risque demeure difficile à évaluer et les normes actuelles, qui fixent les seuils de concentration des nitrates à 50 mg/l représentent une application raisonnable du principe de précaution. [1]

- **Pesticides**

La difficulté avec les pesticides est qu'ils forment une famille très nombreuse : plusieurs certaines de molécules très diverses sont en effet utilisées. En outre, dans la nature, ces molécules se dégradent et en génèrent d'autres. Les toxicités de ces substances, pesticides et produits de dégradation, diffèrent et sont mal connues pour la plupart, les effets à long terme de doses infimes répétées. Certaines sont cancérigènes comme l'atrazine. [1]

- **Plomb**

Le plomb passe rapidement dans le sang et va perturber de nombreux mécanismes biochimiques, touchant principalement le système nerveux mais aussi d'autres fonctions, comme la reproduction. Les enfants exposés de manière prolongée à de faibles doses de plomb peuvent ainsi développer un saturnisme, une maladie caractérisée par divers troubles pouvant être irréversibles : ceux-ci concernent la croissance, le développement du système nerveux central, le développement intellectuel et le comportement. A plus fortes doses, le plomb peut même induire chez les adultes, et aussi bien chez les hommes que chez les femmes, des troubles de la reproduction, des insuffisances rénales, ou des encéphalopathies. Il peut également se fixer sur les os où il ne sera pas gênant tant qu'il ne sera pas renvoyé dans le sang; or cela peut se produire en particulier chez les femmes enceintes - entraînant une exposition du fœtus, et chez les personnes âgées -qui se retrouvent empoisonnées de manière brutale. [1]

- **Soufre**

On peut facilement trouver le soufre dans l'environnement sous forme de sulfure. Lors de différents procès, on rejette dans l'environnement des composés soufrés qui peuvent avoir des conséquences néfastes pour les animaux ou pour l'homme. Ces composés soufrés gênants sont aussi formés dans la nature lors de divers réactions, la plupart du temps lorsque des substances qui ne sont pas naturellement présentes ont été ajoutées. Ces liaisons sont indésirables car elles ont souvent une mauvaise odeur et elles sont souvent toxiques. Globalement, les substances sulfuriques peuvent avoir sur la santé les effets suivants :

- ❖ Effets neurologiques et modification du comportement.
- ❖ Perturbation de la circulation sanguine.
- ❖ Problème au cœur.
- ❖ Problèmes aux yeux, problèmes de vision.
- ❖ Problème de reproduction.
- ❖ Dommages sur le système immunitaire.
- ❖ Désordre gastro-intestinal.
- ❖ Problème de fonctionnement du foie et des reins.
- ❖ Défaut de l'ouïe.
- ❖ Perturbation du métabolisme hormonale.
- ❖ Problème dermatologique.
- ❖ Suffocation et embolie pulmonaire. [2]

2.3. Les autres maladies d'origine hydriques

Tableau 05: Autres maladies hydriques. (Boubidi W, 2007)

Type de maladie	Maladie	Agent causal
Virale	Poliomyélite	Virus de la poliomyélite
	Méningite	Virus de coxsackie A
	Myocardite	Virus de coxsackie
	Hépatite infectieuse	Virus de l'hépatite A, E
	Gastro-entérite	Rotavirus-Calcivirus-Virus de Norwalk-Astrovirus - Coronavirus like.
Parasitaire	Amibiase	Amibe
	Paludisme	Plasmodium
	Gastro-entérite	Giardia lamblia-Giardia intestinalis-Plasmodium
Fongique	Condidose	<i>Candida albicans</i>
	Cryptococcoses	<i>Cryptococcus sp</i>
	Pityrospores	<i>Malassezia sp</i>
	dermatophytoses,	<i>Epidermo-phyton, Microsporium Trichophyton</i>

3. Statistique des MTH dans la wilaya de Guelma (2005-2011)

Les données fournis par la direction de la santé et de la population des maladies à transmission hydrique au niveau de la wilaya de Guelma sont comme suit (Figure 06):

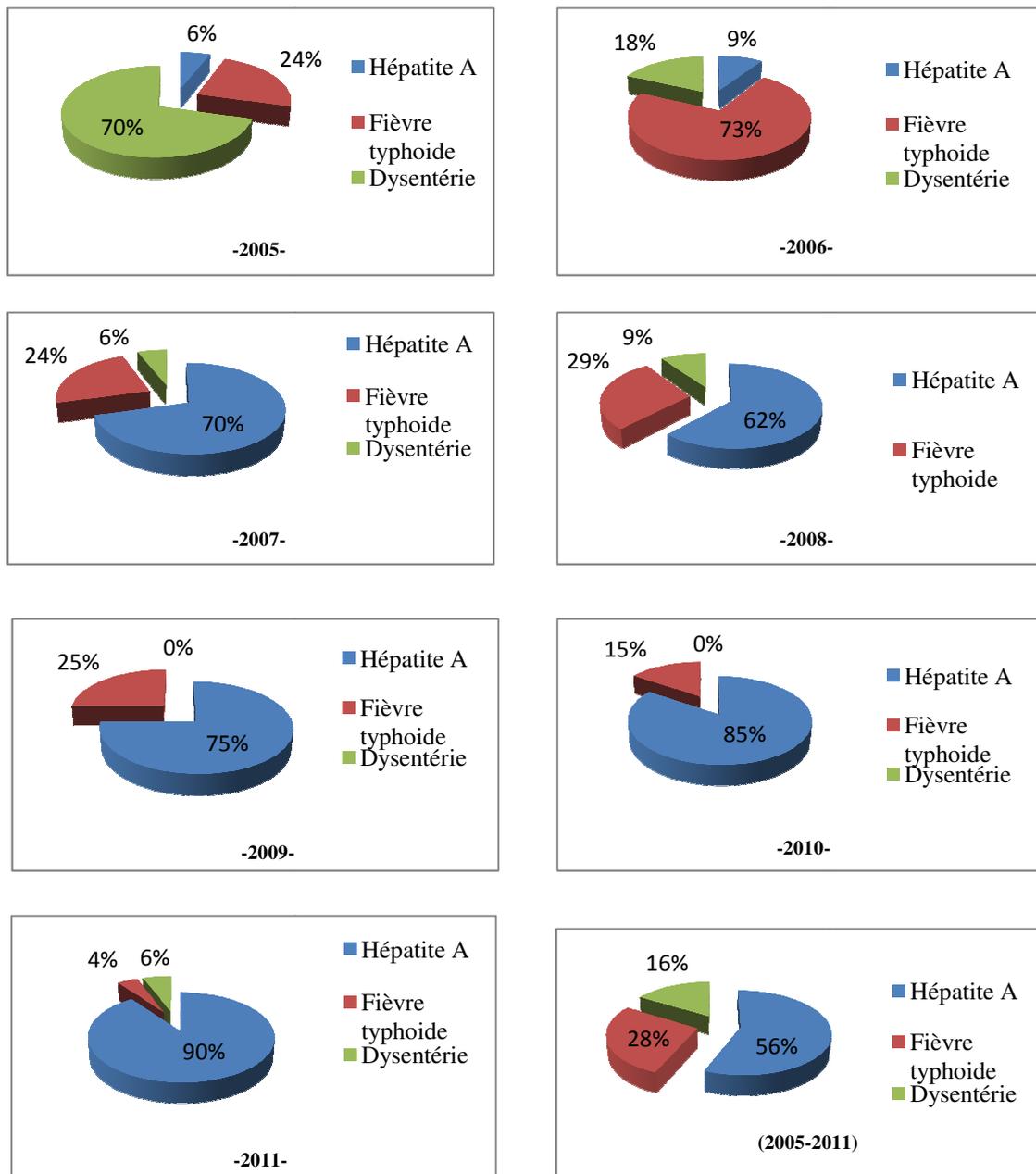


Figure 06: Situation épidémiologiques des MTH de la wilaya de Guelma (2005-2011).

En 2011 l'hépatite virale A atteint 90 % comme valeur maximale dans cette année, la fièvre typhoïde avec une valeur de 73 % en 2006, et elle est suivie de la dysenterie bacillaire avec 70 % en 2005. (Boudouda *et al.*, 2012)



**Chapitre III:
Matériel et méthodes**

1. Prélèvements et choix des stations

1.1 .Choix des stations

Pour contribuer à l'étude de l'évolution de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux souterraines de la région de Tamlouka, nous avons choisi quatre points de prélèvement présentés dans le (Tableau 06) deux puits (P1 et P2) et deux forages (F1 et F2), parmi presque centaine de puits et une dizaine de forages. Ces quatre points de prélèvement ont été choisi parce qu'ils se situent dans une zone agricole, d'où l'utilisation excessive des engrais, et ils sont utilisés en même temps comme des sources importantes en alimentation en eau potable pour l'agglomération de la ville de Tamlouka et d'autre localité tel que Oued-Zenati et Bordj Sabbat.

Tableau 06 : Présentation des points de prélèvement.

Points de prélèvement	Coordonnées GPS		Caractéristiques	Niveau d'eau (m)
	Latitude	Longitude		
P1	36°9'40,95''N	7°7'56,94''E	Puits individuel, équipé, utilisé pour l'alimentation en eau potable	10
P2	36°9'36,50''N	7°8'21,96''E	Puits individuel, équipé, utilisé pour l'alimentation en eau potable	7,65
F1	36°5'57,65''N	7°10'0,79''E	Forage public, équipé, utilisé pour l'alimentation en eau potable	/
F2	36°4'57,54''N	7°9'53,15''E	Forage public, équipé, utilisé pour l'alimentation en eau potable	/



P1



P2

Figure 07 : Localisation des puits analysés de la région de Tamlouka (P1, P2)
Photos prise par Touati et Amaramadi, 2013

**F1****F2**

Figure 08 : Localisation des forages analysés de la région de Tamlouka (F1, F2)
Photos prise par Touati et Amaramadi, 2013

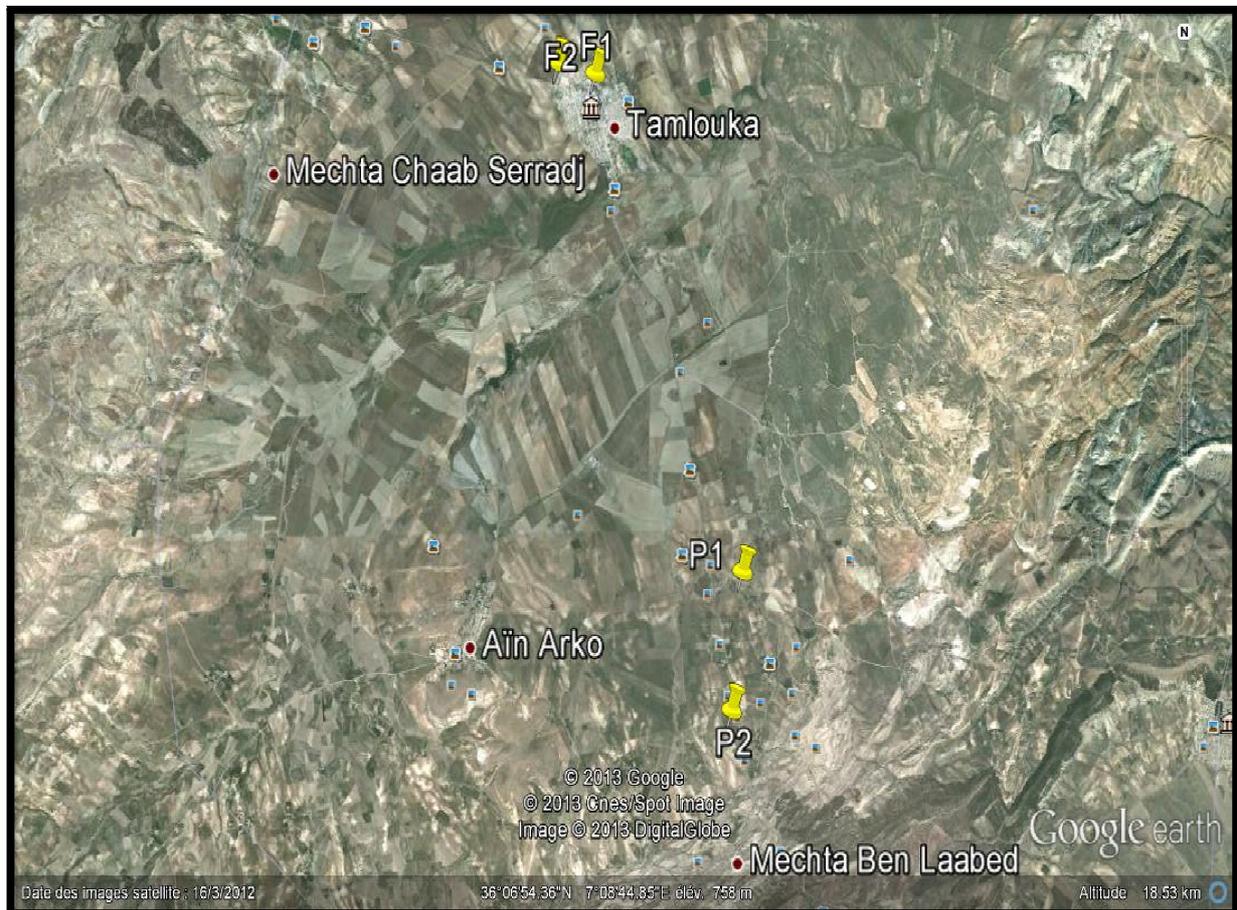


Figure 09 : Localisation des points de prélèvement
(Google earth, 2012)

1.2. Les prélèvements

Le prélèvement doit s'effectuer dans des conditions d'asepsie rigoureuse. Il faut utiliser de préférence des flacons en verre pyrex munis d'un large col et d'un bouchon à visse métallique. Les techniques de prélèvement sont variables en fonction du but recherché et de la nature de l'eau à analyser.

1.2.1. Prélèvement de l'eau des puits

Le prélèvement est effectué en plongeant un flacon stérile menu d'un cordon dans le puits à condition de ne pas toucher le fond, et le mentant en évitant de toucher les bords pour ne pas contaminer notre échantillon. Puis nous détachons le cordon et nous refermons le flacon aseptiquement. **(Guiraud, 1998).**

1.2.2. Prélèvement de l'eau des forages

Les forages sont menus d'un robinet d'arrêt, pour faire un prélèvement dans les conditions aseptiques, il faut respecter les étapes suivantes :

1. Lavage des mains.
2. Fermer et stériliser l'extrémité du robinet en le chauffant quelques secondes
3. Ensuite ouvrir le robinet et laisser couler l'eau normalement jusqu'à le refroidissement de son extrémité.
4. Dévisser le bouchon du flacon stérile avec la main droite et remplir avec la main gauche le flacon jusqu'à 1 cm du goulot.
5. Refermer le flacon en évitant de toucher le goulot.

1.1. Transport et conservation des échantillons

Les flacons doivent être soigneusement étiquetés et transmis sans retard au laboratoire, il importe de procéder à l'analyse dans un délai très court, inférieur à 8 heures. En aucun cas l'analyse ne doit être effectuée lorsque le délai dépasse 24 heures. Si le transport doit dépasser une heure, il faut utiliser une boîte isotherme munie d'éléments réfrigérants. **(Guiraud, 1998)**

2. Méthodes d'analyse bactériologique

2.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables

La recherche des micro-organismes aérobies non pathogènes dits revivifiables, permet de dénombrer les bactéries se développant dans des conditions habituelles de culture et représentant la teneur moyenne en bactéries d'une ressource naturelle. Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais sous certaines conditions ils peuvent générer des problèmes. Ce sont des indicateurs qui révèlent la présence possible d'une contamination bactériologique.

La méthode de référence pour l'analyse consiste à une inoculation de l'échantillon dans la masse et un dénombrement du nombre des unités formant colonies (UFC) et pas en nombre de cellules, selon les conditions d'incubation :

* Germes totaux à 22°C : Comptage des colonies obtenues après incubation à 22°C durant 72 heures.

* Germes totaux à 37°C : Comptage des colonies obtenues après incubation à 37°C durant 24 heures.

- Mode opératoire

A partir des quatre échantillons à analyser et qui sont considérés comme des solutions mères ; porter aseptiquement 1ml de chaque échantillon dans des boîtes de Pétri étiquetées au préalable.

Compléter ensuite avec 19 ml de gélose TGEA, fondue et maintenue à 45°C. Incorporer à la fin l'eau des échantillons avec la gélose, en effectuant des mouvements circulaires de va et vient en forme de 8.

Laisser solidifier sur la paillasse puis incuber à deux températures, 22°C et 37°C. (Labres *et al.*, 2008)

- Lecture

Les colonies de micro-organismes revivifiables apparaissent sous formes lenticulaires poussant en masse.

- Dénombrement

Le dénombrement consiste à retenir les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies, dont les résultats seront exprimés par unité formant colonie (UFC) de micro-organismes revivifiables dans un ml d'eau à analyser à 22°C et 37°C. (**Figure 10**)

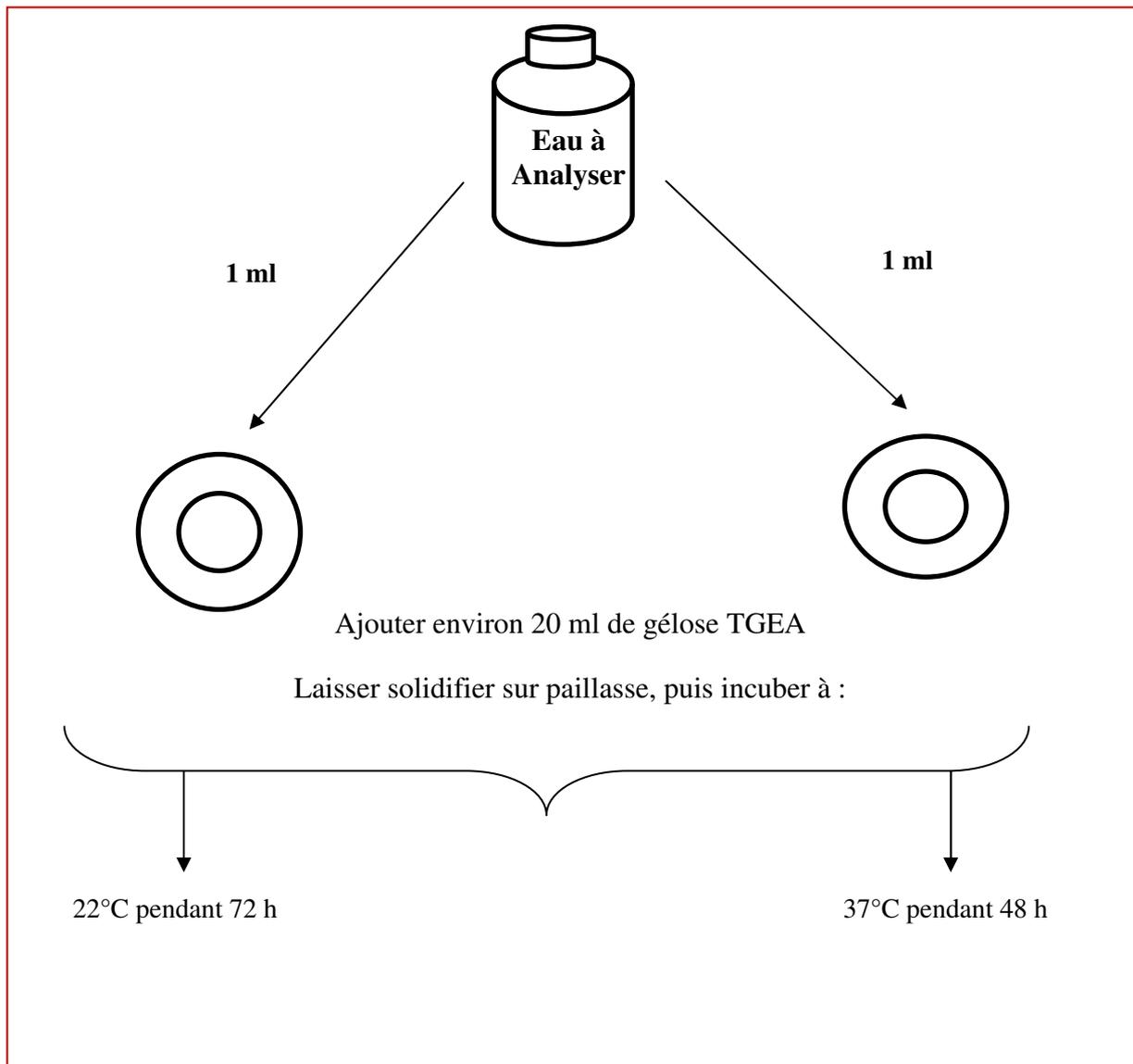


Figure 10 : Dénombrement des micro-organismes revivifiables à 22 et à 37°C dans les eaux. (**Labres *et al.*, 2008**)

2.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale

2.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes

La recherche et le dénombrement des germes Coliformes ; notamment les Coliformes fécaux a été effectuée par la méthode du nombre le plus probable (NPP) appelée aussi Colimétrie.

La technique du NPP fait appel à la méthode de fermentation multitubes, au cours de laquelle au moins trois dilutions décimales de l'échantillon sont ensemencées dans des éprouvettes de bouillon et incubées à une température précise, pendant une période donnée.

La méthode est progressive ; puisqu'il faut d'abord déterminer si les éprouvettes contiennent des coliformes, déterminer ensuite si les éprouvettes contiennent également des coliformes fécaux, et enfin confirmer s'il y a présence d'*Escherichia coli*. (Chaouch, 2007, Labres *et al.*, 2008)

- Mode opératoire

Cette recherche se caractérise par deux phases successives (Figure 11)

*Test présomptif : pour la recherche des Coliformes.

*Test confirmatif : pour la recherche des Coliformes thermo-tolérants et d'*Escherichia coli*.

a- Test présomptif

Pour ce test on utilise le milieu BCPL en D/C et S/C, les tubes sont munis de cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu.

On travaille avec une série de 3 tubes :

*3 tubes de BCPL D/C avec 10 ml de l'échantillon.

*3 tubes de BCPL S/C avec 1 ml de l'échantillon.

*3 tubes de BCPL S/C avec 0.1 ml de l'échantillon.

Les tubes inoculés sont homogénéisés par agitation douce pour ne pas faire pénétrer d'air dans la cloche.

*La lecture se fait après 48 heures d'incubation dans une étuve à 37°C.

*Tous les tubes présentant une couleur jaune et de gaz dans la cloche sont considérés comme positifs.

*On note le nombre de tubes positifs dans chaque série et on reporte à la table du NPP. (Voir annexe I)

*Le nombre de coliformes totaux dans 100 ml d'échantillon d'eau.

b- Test confirmatif

Le test de confirmation consiste à déceler la présence des coliformes thermo-tolérants, parmi lesquels on y trouve *Escherichia coli*.

* A partir des tubes de BCPL trouvés positifs, lors du dénombrement des coliformes, effectuer un repiquage sur milieu Eau Peptonée Exempte d'Indole; à l'aide d'une anse bouclée.

* L'incubation se fait à 44°C pendant 24 à 48 heures.

- Lecture

* Dans les tubes montrant un trouble, ajouter quelques gouttes du réactif Kovacs. Une réaction considérée positive correspond à la formation d'anneau rouge à la surface des tubes autrement dit présence de coliformes fécaux *Escherichia coli*.

* Noter le nombre des tubes positifs et exprimer le résultat selon la table du NPP.

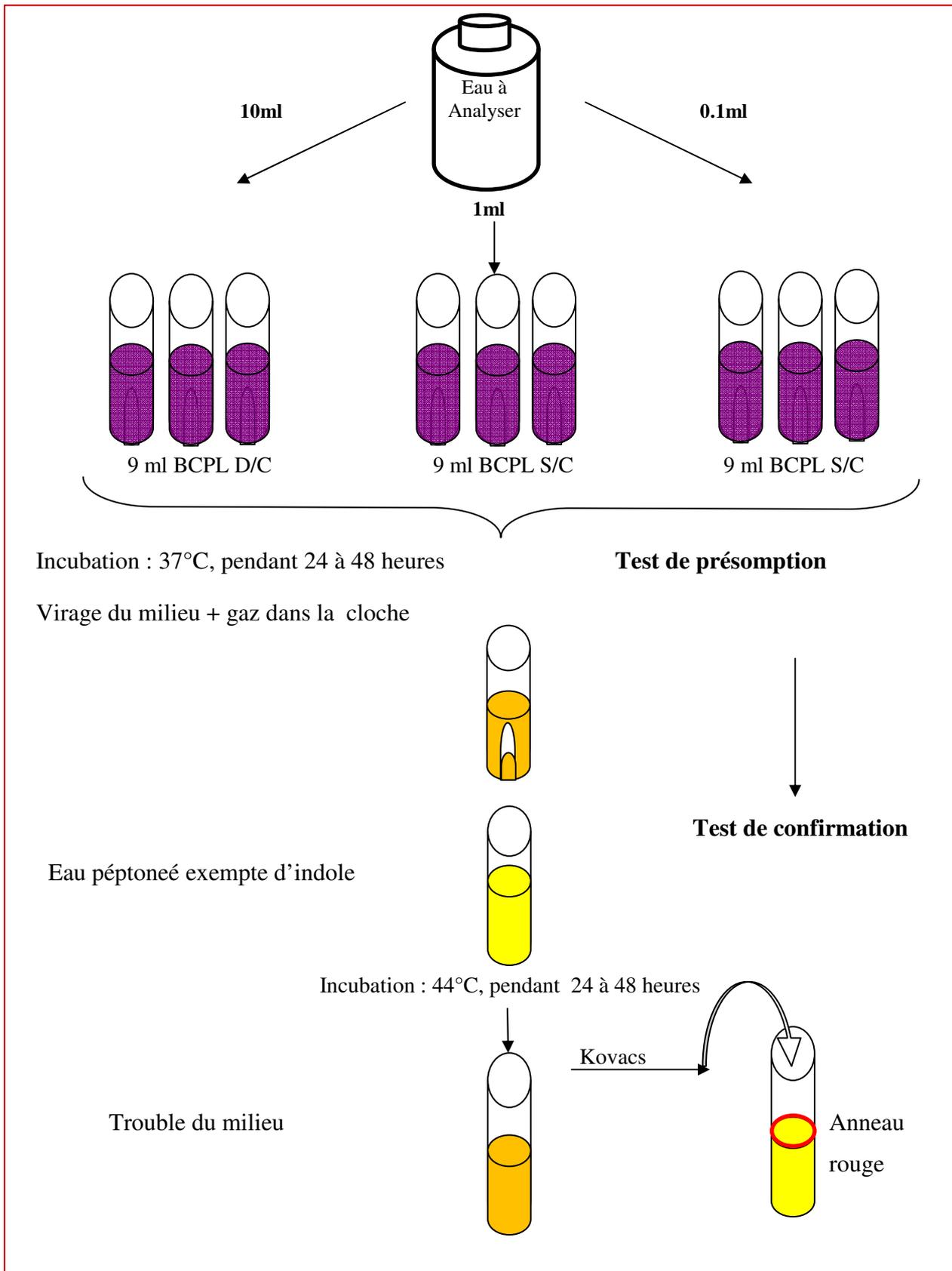


Figure 11 : Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et les Coliformes thermotolérants. (Chaouch, 2007 et Labres *et al.*, 2008)

2.2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

Les Streptocoques fécaux sont dénombrés en milieu liquide à l'aide de deux bouillons de culture (milieu de ROTHE et le milieu EVA- LITSKY). Cette méthode fait appel à deux tests consécutifs à savoir: test de présomption suivi du test de confirmation (Figure 12). (Chaouch, 2007 et Labres et *al.*, 2008)

- Mode opératoire

a- Test présomptif

Pour ce test on utilise le milieu ROTHE en D/C et S/C, les tubes sont munis de cloche de Durham pour déceler le dégagement éventuel de gaz dans le milieu.

On travaille avec une série de 3 tubes :

*3 tubes de ROTHE D/C avec 10 ml de l'échantillon.

*3 tubes de ROTHE S/C avec 1 ml de l'échantillon.

*3 tubes de ROTHE S/C avec 0.1 ml de l'échantillon.

Les tubes inoculés sont homogénéisés par agitation douce pour ne pas faire pénétrer d'air dans la cloche.

* L'incubation s'effectue à 37°C pendant 24 à 48 heures.

- Lecture

Les tubes présentant un trouble microbien lors de la période d'incubation seront susceptibles de contenir des Streptocoques fécaux ; doivent subir un test confirmatif.

b- Test confirmatif

Les tubes de Rothe trouvés positifs subiront un repiquage sur le milieu l'éthyle violet et acide de sodium (EVA-LITSKY) à l'aide d'une anse bouclée.

S'assurer de bien mélanger le milieu avec l'inoculum, dont l'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures.

- Lecture

Les tubes qui représentent un trouble due au développement bactérien ; avec ou sans dépôt violet sont considérés comme positifs

- Après comptage des tubes positifs, reporter le nombre à la table de NPP.

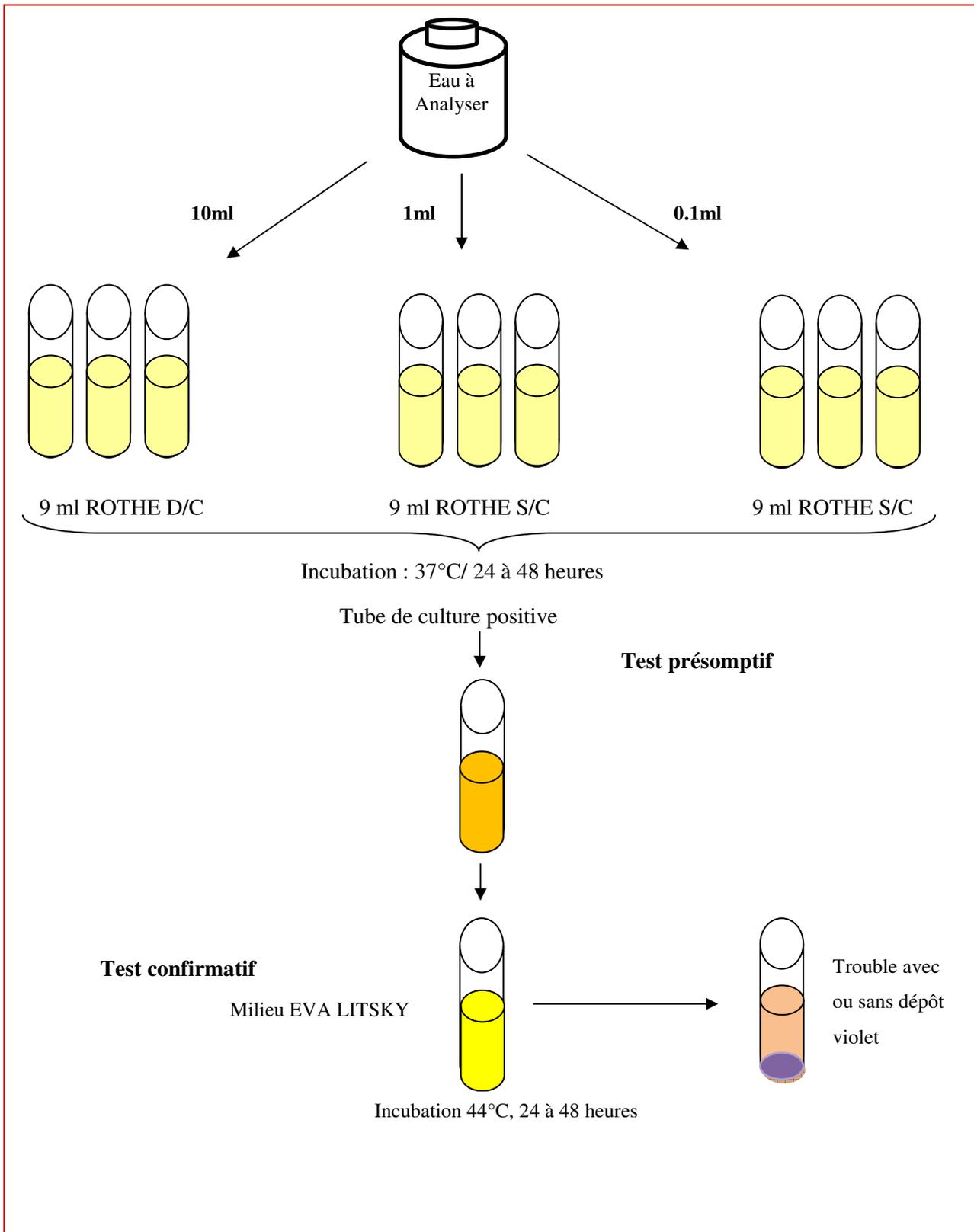


Figure 12 : Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux.
(Chaouch, 2007, Labres *et al.*, 2008).

2.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries Anaérobies Sulfito-Réductrices (ASR)

Les Anaérobies Sulfito-Réductrices (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram positif (+), qui en se développant en 24 à 48 heures à 37°C, en gélose profonde Viande foie (VF) ; donnant des colonies typiques de couleur blanche entourées d'un' auréole noire.

Celle-ci témoigne de la réduction du Sulfite de Sodium (Na_2SO_3) qui est déjà existant dans le milieu; en Sulfure qui en présence du Fe^{2+} donne FeS (Sulfure de Fer) de couleur noire (figure 13). (Pechère, 1982, Labres *et al.*, 2008)

Ce résultat constitue un indice de contamination ancienne. (Rejsek, 2002)

- Mode opératoire

* Dans quatre tubes stériles répartir 5ml de l'eau à analyser de chaque prélèvement (P1, P2, F1, F2) dont ils subiront un chauffage de l'ordre de 75°C pendant 15 minutes ; dans le but de détruire la flore végétative présentes.

* Une fois le chauffage est terminé, refroidir les tubes sous l'eau du robinet.

* Remplir les tubes avec environ 18 à 20 ml de gélose Viande foie; fondue et refroidie à 45°C; additionnée de leurs additifs spécifiques.

* Bien homogénéiser le milieu avec l'inoculum, tout en évitant d'introduire des bulles d'air et de l'oxygène.

*Laisser les tubes se solidifier sur la paillasse pendant une demi-heure, puis incubé à 37°C durant 24 à 48 heures.

- Lecture

Dénombrer toutes colonies blanches entourées d'un halo noir de 0.5 mm de diamètre, et rapporter le nombre total des colonies dans les quatre tubes à 20 ml d'eau à analyser.

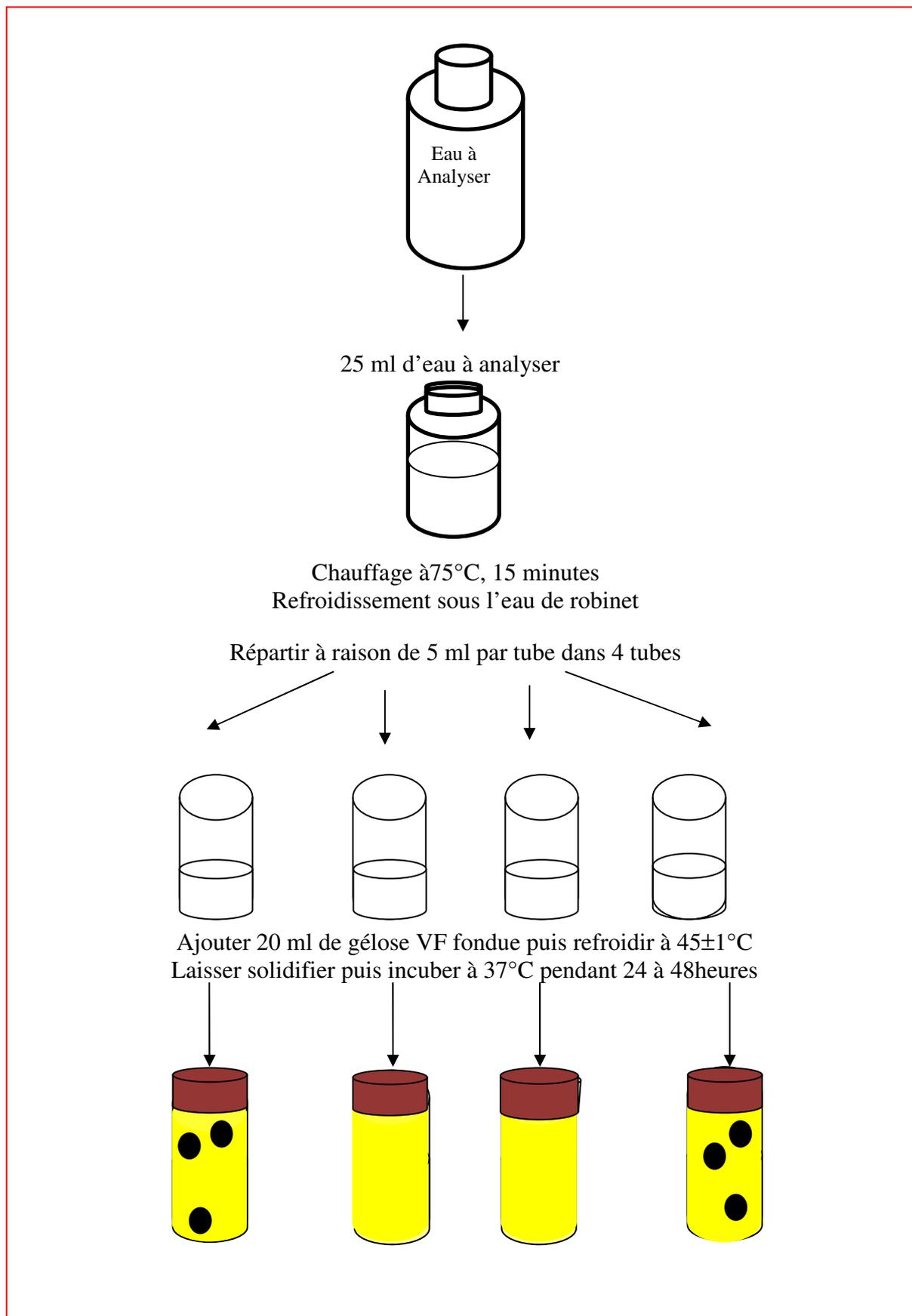


Figure 13. Recherche et dénombrement des Spores de bactéries Anaérobies Sulfite-Réductrices (ASR).

2.4. Recherche des germes pathogènes

Les milieux utilisés sont : Mac Conkey, Hektoen, Salmonelles-Shigelles (SS), Chapman, et gélose nutritive (GN). L'inoculum est prélevé directement à partir de l'eau à analyser et est déposé sur un point périphérique de la gélose puis disséminé par stries sur toute la surface de la boîte de Pétri. Les boîtes sont codées puis incubées à 37°C.

2.4.1. Recherche des *Pseudomonas*

- Mode opératoire

A l'aide d'une anse de platine on ensemence la surface d'un milieu de culture King A ensuite un milieu de culture King B est on incube les milieux à 37°C pendant 24 heures. (**Pilet et al., 1987**)

- **Lecture**

- Deux examens microscopiques sont effectués : l'examen direct entre lame et lamelle (il permet d'observer la mobilité des germes) et la coloration de Gram.

- Recherche de la pyocyanine : pigment bleu caractéristique de *Pseudomonas aeruginosa* responsable de la teinte bleue intense des milieux de culture : sa production est favorisée sur milieu de King A.

- Recherche de la pyoverdine : présente une teinte verte fluorescente caractéristique de *Pseudomonas fluorescens* est souvent masquée par la pyocyanine, sa production est maximale sur milieu de King B.

2.4.2. Recherche des Salmonelles

- Mode opératoire

a. Enrichissement

Effectuer un enrichissement dans des tubes contenant 9 ml du milieu SFB. Ajouter 1 ml d'eau à analyser (P1, P2, F1, F2). Et incuber à 37°C pendant 24 heures. (**Rodier et al., 1996**)

b. Isolement

À partir du bouillon d'enrichissement, effectuer des isolements sur le milieu Hektoen. Incuber à 37°C pendant 24h à 48heures.

c. Identification

Après l'incubation les colonies qui sont Lactose négatif sur Hektoen vont subir une observation macroscopique, une coloration de Gram, Test oxydase et enfin une identification biochimique (API 20 E). (Figure 14)

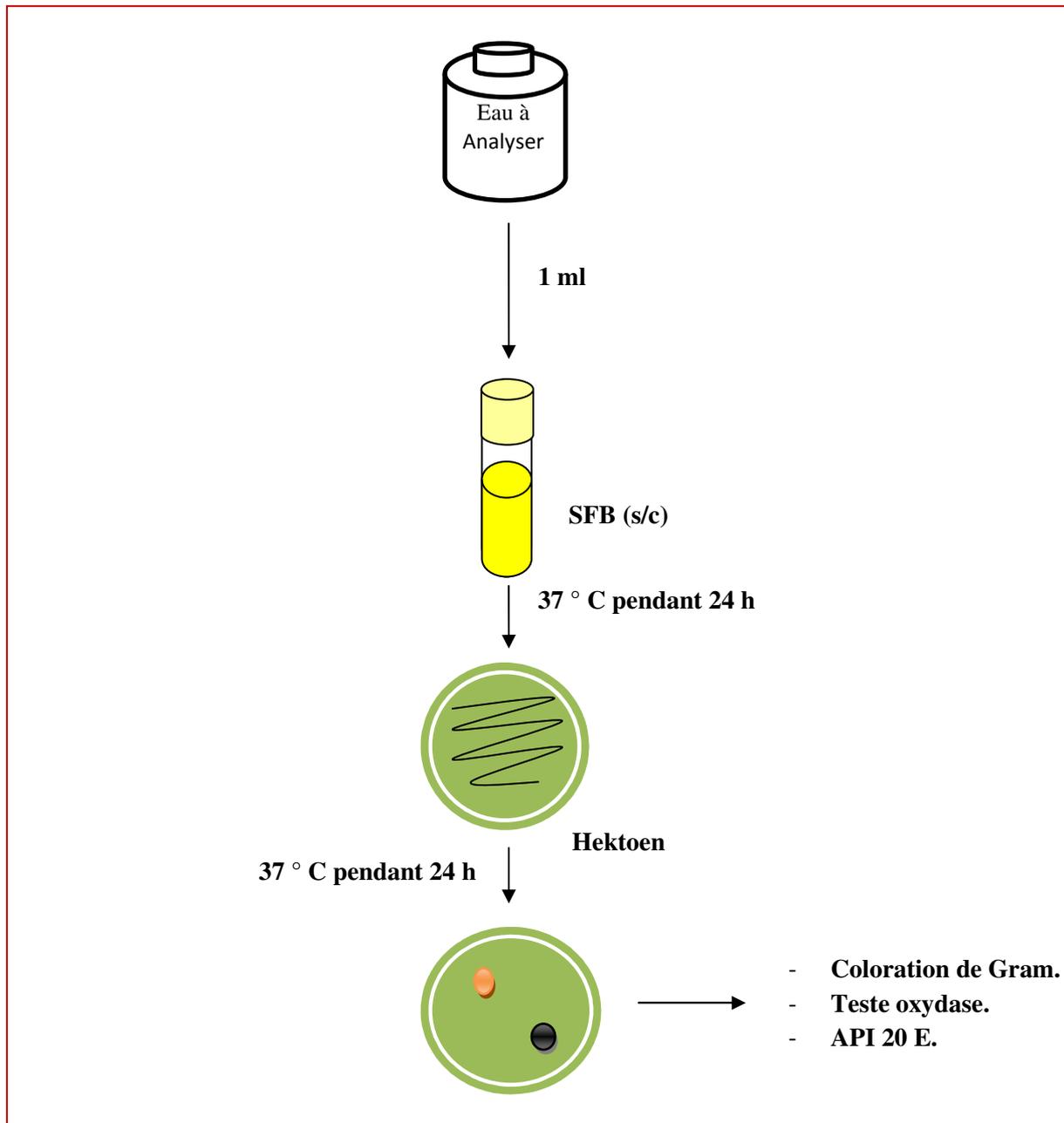


Figure 14: Recherche et identification des Salmonelles. (Rodier *et al.*, 1996)

2.4.3. Recherche de *Vibrio cholérique*

- Mode opératoire

a. Enrichissement

L'enrichissement s'effectue sur le milieu Eau Peptonée Alcaline (EPA), contenue dans des tubes de 9 ml; auxquels 5 ml d'eau à analyser.

Sans oublier d'étiqueter les tubes (P1, P2, F1, F2)

Les tubes seront ensuite incubés à 37°C pendant 24 heures. (Marchal, 1982)

b. Isolement

Prélever de la surface du dernier milieu d'enrichissement et ensemer une boîte de GNAB. Incuber à 37° C pendant 24 heures.

c. Identification

Les colonies de *Vibrio* sont fines, blanches sur gélose GNAB .L'identification est basée sur une coloration de Gram, Test oxydase et enfin une identification biochimique (API 20 E).

2.4.4. Recherche de *Staphylocoques pathogènes*

- Mode opératoire

a. Isolement

Le milieu Chapman permet l'isolement sélectif de *Staphylococcus* sur la base d'une tolérance à une forte teneur en NaCl, et la différenciation de l'espèce *Staphylococcus aureus* par la mise en évidence de la dégradation du mannitol et l'élaboration fréquente d'un pigment. (Marchal, 1982)

Ensemencer une boîte de milieu Chapman. Incuber à 37° C pendant 24 heures.

b. Identification

▪ Test catalase

Une goutte d'eau oxygénée plus une colonie prélevée du milieu Chapman déposer sur une lame et le dégagement immédiat de bulles gazeuses ce traduit par la présence d'une catalase. (Marchal ,1982)



▪ Test staphylocoagulase

A partir des colonies suspectes (*Staphylococcus aureus*) sur milieu Chapman ensementer un bouillon cœur-cerveau et incuber à 37°C pendant 18h. Puis mélanger dans un tube stérile 0,5ml du plasma de lapins oxalaté et incuber à 37° C pendant 24 heures. (Marchal, 1982)

2.5. Identification macroscopique et microscopique

2.5.1. Caractéristiques morphologiques

Dans les conditions données; chaque espèce bactérienne développe une colonie de taille, de forme, de couleur et de consistance caractéristiques. (Singleton, 1999)

Noter pour chaque type de colonies distinctes les caractéristiques suivantes :

(Diamètre, contour, élévation, couleur, surface).

2.5.2. Examen à l'état frais

Le but de l'examen à l'état frais repose sur l'observation microscopique des bactéries vivantes. Cette méthode permet de mettre en évidence : l'existence ou pas de germes, La morphologie des bactéries, La mobilité et le mode d'assemblage.

2.5.3. Examen microscopique après coloration de Gram

La coloration de Gram est qualifiée de coloration différentielle car elle permet dès le début de l'examen bactériologique, de cataloguer les bactéries en deux groupes distincts basés sur des propriétés de coloration : les Gram-positifs et les Gram-négatifs.

Elle comprend les étapes suivantes:

1. Préparer le frottis; s'il s'agit d'une culture en milieu liquide, une goutte de bouillon sera prélevée à l'aide d'une pipette Pasteur, déposée sur une lame, et étalée soigneusement. Et s'il s'agit d'une culture en milieu solide, une colonie bien isolée sera prélever et mise en suspension dans une goutte d'eau distillée stérile.

2. Après fixation des bactéries par passage de la lame dans la flamme du bec Bunsen ou à l'éthanol à 96°. La lame est recouverte d'un premier colorant, le violet de gentiane; laisser agir pendant 1 minute et laver à l'eau.
3. La lame est ensuite traitée au Lugol en solution qui sert de mordant, Laisser agir pendant 1 minute puis laver avec de l'eau.
4. Décolorer à l'alcool 95°, la durée de décoloration doit être adaptée à l'épaisseur du frottis.
5. Rincer à l'eau courante et recouvrir la lame de la solution Fuch sine diluée ; laisser agir quelques secondes.
6. Rejeter la Fuch sine en lavant abondamment à l'eau, égouttée, sécher entre deux feuilles de papier buvard très propres. **(Dégrément, 1998)**

- **Résultat**

Les bactéries Gram positif sont colorées en violet, et les bactéries Gram négatif sont colorées en rose. **(Carbonnelle, 1988, Boukrouma, 2008)**

2.6. Identification biochimique

2.6.1. La galerie classique

a). Mise en évidence d'une catalase

C'est une enzyme qui décompose l'eau oxygénée en eau et en oxygène gazeux. La méthode consiste à prélever une colonie du germe à étudier sur l'extrémité d'une pipette Pasteur fermée que l'on plonge ensuite dans un millilitre d'eau oxygénée; le dégagement de bulles gazeuses signe la présence de l'enzyme. **(Carbonnelle, 1988)**

b). Recherche de l'oxydase

Le terme d'oxydase désigne une enzyme recherchée en bactériologie systématique. La présence d'oxydase serait liée à celle dans la chaîne respiratoire du complexe enzymatique IV : cytochrome-oxydase.

La recherche de l'oxydase s'effectue avec des disques prêts à l'emploi du commerce.

Déposer le disque sur une lame porte-objet, l'humidifier avec deux gouttes d'eau distillée stérile et écraser la colonie testée sur le disque ; la présence d'une oxydase se traduit par l'apparition d'une coloration violette. (**Carbonnelle, 1988**) [3]

c). L'utilisation de citrate de Simmons

Ce milieu est un exemple de milieu synthétique. L'ensemencement réalisé à l'anse, à partir d'une suspension de la culture solide (gélose Mac Conkey ou gélose nutritive), ensemençer en ligne centrale sur le milieu de Simmons et incuber à 37°C.

Virage de l'indicateur de pH au milieu : il y'a eu alcalinisation du milieu. (**Sayad, 2008**)

d). Le mannitol mobilité

Est un milieu permet l'étude de la dégradation de mannitol qui est un produit de dégradation du mannose. L'ensemencement par piquûre centrale à l'aide d'un fil droit, et incuber à 24 heures à température optimale. Ce milieu est utilisable uniquement pour la bactérie fermentative.

Mannitol + : Virage de milieu en jaune.

-Mannitol -: Milieu rouge. (**Sayad, 2008**)

e). Utilisation des hydrates de carbone

Le milieu Triple Sugar Iron. (TSI) est utilisé pour l'identification rapide des entérobactéries, et permet de mettre en évidence la fermentation de saccharose, de glucose (avec ou sans production de gaz) et plus précisément du lactose; la production d'Hydrogène Sulfureux (H₂S) à partir de la cystéine. L'ensemencement de milieu s'effectué par stries au surface tout le long de la pente, puis par piqure centrale au niveau de culot. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 heures. (**Sayad, 2008**)

f). Le test de l'uréase

La recherche de l'uréase consiste à constater l'alcalinisation d'un contenant de l'urée en utilisant le milieu urée-indole.

À partir d'une culture Hektoen, une suspension dense des bactéries a été réalisée pour étudier dans 0.5ml de milieu urée-indole. On incube à 37°C durant 12 à 18heures.

- Uréase + : virage de l'inducteur du jaune au rouge violacé en raison de l'alcalinisation du milieu ce qui indique que les bactéries ont utilisé l'urée. (Sayad, 2008)

g). Le test de l'indole

L'indole est le métabolite terminal de la dégradation du tryptophane présent initialement dans le milieu. Seules les bactéries indologues permettent cette dégradation jusqu'à la formation de l'indole.

Ensemencer un tube d'eau Peptonée d'indole et incubé à 37°C pendant 24 heures. Après incubation, ajouter deux gouttes du réactif Kovacs en assurant une légère agitation des tubes.

- l'indole + : formation d'un anneau rouge surnageant (nitrosé indole). (Sayad, 2008)

h). La recherche de l'enzyme tryptophane désaminase (TDA)

L'enzyme TDA agit sur l'acide aminé tryptophane en formant l'acide indole Pyruvique qui va donner une coloration brun rouge après l'addition du perchlorure de fer.

Ensemencer le milieu urée-indole avec une suspension épaisse des bactéries. Après 2 heures d'incubation à 37°C. Ajouter deux gouttes du réactif TDA.

- TDA+ : coloration brune-rouge avec présence d'un précipité.
- TDA- : coloration jaune orangé. (Sayad, 2008)

i) .Recherche de l'ONPG

La recherche de B-galactosidase ou test ONPG permet de détecter l'enzyme B-galactosidase capable de scinder la molécule du lactose positive après leur pénétration dans la cellule bactérienne en glucose et galactose.

Préparer une suspension dense d'une culture de bactérie prélevée sur un milieu Hektoen puis ajouter un disque ONPG. L'incubation dure 24 heures à 37°C.

-réaction ONPG⁺ : coloration jaune.

-réaction ONPG⁻ : pas de coloration. (Sayad, 2008)

2.6.2. Les galeries Api Système

- **API 20 E**

Destiner pour la famille des Enterobactériacées la galerie API 20E comporte 20 microtubes contenant des substrats sous forme déshydratée. Les tests sont inoculés avec une suspension bactérienne qui reconstitue les milieux. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. La lecture de ces réactions se fait à l'aide du tableau de lecture et l'identification est obtenue à l'aide du tableau d'identification. [4]

- **API 20 NE**

La galerie API 20 NE est constituée de 20 microtubes contenant des milieux et des substrats sous forme déshydratée. Les tests conventionnels sont inoculés avec une suspension bactérienne saline qui reconstitue les milieux. Les réactions produites durant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. Les tests d'assimilation sont inoculés avec un milieu minimum et les bactéries cultivent seulement si elles sont capables d'utiliser le substrat correspondant. La lecture de ces réactions se fait à l'aide du tableau de lecture et l'identification est obtenue à l'aide du tableau d'identification. [4]

- **API Staph**

La galerie API Staph comporte 20 microtubes contenant des substrats déshydratés. Les microtubes sont inoculés avec une suspension bactérienne réalisée en API Staph Medium qui

Reconstitue les tests. Les réactions produites pendant la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. La lecture de ces réactions se fait à l'aide du tableau de lecture et l'identification est obtenue

À l'aide du tableau d'identification. [4]

3. Analyse physico-chimique

3.1. Analyse *in situ*

Matériel du terrain

Le matériel utilisé sur le terrain regroupe : un appareil photo numérique et un multi paramètre de type Hanna 9829 qui mesure les paramètres physiques à savoir : le pH, la température, la conductivité, l'oxygène dissous, TDS, la salinité et ce multi paramètre est très sensible aux conditions du milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur le site. Il donne les premières indications sur la qualité des eaux.

a) Température (T)

La température de l'eau dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire. La température influence des paramètres comme (l'oxygénation, la conductivité, la solubilité de différentes substances, etc.). La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. **(Rodier, 1996)**

b) Conductivité électrique (CE)

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 quantité de sels ionisables dissous. Les valeurs de la conductivité traduisent l'état des milieux. **(Rodier, 1996)**

c) Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH permet de mesurer l'acidité de l'eau et la concentration en ions H⁺. L'alcalinité mesure donc l'ensemble des substances susceptibles de réagir avec les ions hydrogènes, en particulier, les ions carbonates et bicarbonates. Pour la dureté, elle mesure la quantité d'ions calcium et magnésium présents. **(Rodier, 1996)**

d) Oxygène dissous (O₂)

L'oxygène est présent dans l'eau sous forme dissoute ou gazeuse. A une température et une pression données, il existe une quantité maximale d'oxygène sous forme dissoute. C'est la

teneur en O₂ pour laquelle l'eau est saturée à 100%. D'autre part, la présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton. (Rodier, 1996)

e) Salinité

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

Le chlorure de sodium (NaCl) n'est qu'un des très nombreux sels composant l'eau, pour la mesure de la salinité en utilise un multi-paramètre. [5]

f) Taux des sels dissous (TDS)

La quantité des sels minéraux dissous influence la conductivité, la mesure qui permet de déterminer la quantité totale des sels minéraux dissous dans l'eau est appelée le TDS. [5]

3.2.les analyses effectuées dans le laboratoire

Les analyses physico-chimiques effectuées dans le laboratoire sont détaillées ci-dessous et leurs modes opératoires ainsi que tous les réactifs utilisés sont mentionnés dans l'annexe II.

Matériel de laboratoire

Le spectrophotomètre, Enceinte thermostatée (étuve), Plaque chauffante, Pipettes graduées, pH mètre, Balance, Dispositif de filtration (pompe à vide), distillateur, des produits chimiques et autres équipements sont utilisés au laboratoire pour faire les analyses.

a) Dureté de l'eau

La dureté d'une eau est due principalement à la présence de sels de calcium et de magnésium sous forme de bicarbonates, de sulfates et de chlorures. C'est donc la concentration en ions alcalino-terreux, que l'on mesure globalement par le titre hydrotimétrique TH (Detay, 1993)

b) Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H^+) qui est due à la présence des ions hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydroxyde (OH^-). Elle dépend aussi des rejets urbains (phosphates, ammoniacaux, matières organiques,...) ou industriels (apport basiques ou acides). Elle peut donner une indication sur le degré d'oxydation des composés organiques, et elle permet de connaître les concentrations en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenus dans l'eau. La norme ISO 9963 définit différents types d'alcalinité:

- Alcalinité au point de virage du phénol phtaléine (alcalinité composite)

Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions OH^- et à la moitié des ions CO_3^{2-} . Cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8.3; L'alcalinité composite se nomme également titre alcalimétrique (TA).

- Alcalinité au virage du rouge de Méthyle (ou de l'orange de Méthyle)

Elle correspond à l'alcalinité totale au pH de 4.5, ce qui revient à déterminer les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- . Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet (TAC). (Rejesk, 2002)

c) Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme des carbonates, composant majeur de la dureté de l'eau et qui est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés.

L'influence de calcium sur la santé de l'individu a été souvent discutée. Cependant, les chercheurs et les études statistiques ont montré qu'il n'y aurait pas de relation dose effet avec la teneur de cet élément dans l'eau. Les eaux potables, de bonne qualité, renferment de 100 à 140 mg/l de calcium soit 150 à 200mg/l en CaO ou 250 à 350 mg/l en $CaCO_3$. (Rodier, 1996)

d) Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est l'un des éléments le plus répandu dans la nature; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ces sels sont très solubles dans l'eau, Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. (Rodier, 1996)

e) Chlorures (Cl⁻)

Le chlorure est un sel mobile, non toxique, très répandu dans la nature sous forme de sels de sodium (Na Cl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂). Un surdosage en chlorures dans l'eau, peut être à l'origine d'une saveur désagréable surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Au-delà d'une concentration de 200 mg/l de chlorure, des risques peuvent s'apercevoir sur le plan sanitaire. **(Bouziari, 2000)**

f) Sodium (Na⁺)

Le sodium est un élément constant de l'eau, toute fois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir :

- De l'altération des minéraux silicatés, échanges de cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques.
- Des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais chimiques qui augmentent aussi les concentrations en sodium.
- Des apports atmosphériques, etc. **(Rodier, 2005)**

g) Potassium (K⁺)

Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schistes), des argiles potassiques, de certains rejets industriels et de la dissolution des engrais chimiques (NPK). Sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l. **(Rodier, 2005)**

h) Sulfates (SO₄²⁻)

La concentration en ions de sulfates des eaux naturelles est très variable. Dans les terrains ne contenant pas une proportion importante de sulfates minéraux, elle peut atteindre 30 à 50 mg/l, mais ce chiffre peut être largement dépassé et peut atteindre jusqu'à 300 mg/l dans les zones contenant du gypse ou lorsque le temps de contact avec la roche est très élevé. La combustion des produits fossiles (charbon, fuel) et l'utilisation des hydrocarbures émettant des composés soufrés contribuent à la formation des pluies acides avec une augmentation de la teneur en sulfates et sous l'action de bactéries sulfito-réductrices, peuvent se former des

sulfures donnant lieu à des précipités de sulfure de fer dans certains terrains contenant des sulfures métalliques (fer, cuivre, etc.). (**Ramade, 1982**)

i) Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La concentration des bicarbonates est calculée selon la relation suivante : $[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC (m\acute{e}q/l)} \times E_{\text{gHCO}_3}$. (**Rodier, 2009**)

j) Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates, NO_3^- sont des ions minéraux nutritifs solubles dans l'eau qui sont directement assimilables par les plantes. Ils sont ajoutés au sol soit directement par les agriculteurs soit indirectement par le fumier ou le purin. Ils sont généralement l'indice d'une pollution.

En présence de Salicylate de Sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. (**Detay, 1993**)

k) Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés. Ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniaque et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniaque, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates, leur présence dans les eaux naturelles est faible. Une eau contenant des nitrites est à considérer comme suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de qualité microbiologique. (**Rejesk, 2002**)

l) Ion ammonium (NH_4^+)

L'ion ammonium représente la forme ionisée de l'azote ammoniacal, sa présence dans les eaux profondes résulte le plus souvent de la décomposition anaérobie de matières organiques azotées. On le trouve souvent à des teneurs variant entre 0.1 à 0.2 mg/l. (**Detay, 1993**)

m) Ortho phosphate (PO_4^-)

Le phosphore est un élément assez rare mais indispensable à tous les êtres vivants. Il entre notamment dans les cycles énergétiques cellulaires. Les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique. Des teneurs supérieures à 0.5mg/l doivent constituer un indice de pollution. (**Ramade, 1982**)



**Chapitre IV:
Résultats et discussion**

1. Résultats des analyses bactériologiques

1.1. Résultats des dénombrements des germes revivifiables

La flore totale isolée des quatre points d'eau est importante, elle atteint son maximum au niveau des puits (P1, P2) avec une valeur maximale de 209 UFC à 22°C trouvée dans le puits P1 est ceci durant le mois d'avril qui dépasse les normes de l'OMS (voir annexe II) et qui rend l'eau impropre à la consommation humaine. Elle peut être due à la contamination des eaux par une pollution due au lessivage des terres agricoles avoisinantes, aux rejets domestiques des agglomérations rurales, de l'élevage de bétails etc.

Pour les forages (F1, F2) durant le mois de mars, le nombre des germes totaux est considéré comme normal; puisqu'il oscille dans la limite des normes de l'OMS des eaux à consommé, et nul pour le mois d'avril ce qui peut être expliqué par l'application d'un traitement chimique (Chloration). (**Tableau 07**)

Tableau 07: Dénombrement des germes totaux en UFC.

Points de prélèvement	Mars		Avril	
	22°C	37°C	22°C	37°C
P1	88	1	209	53
P 2	92	18	120	50
F 1	8	13	0	0
F 2	0	5	1	0

1.2. Résultats de dénombrement des germes témoins de contamination fécale

1.2.1. Résultats de dénombrement des Coliformes

❖ Les coliformes totaux

Le groupe des coliformes totaux est utilisé depuis la fin du 19^{ième} siècle comme indicateur de la qualité microbienne de l'eau; parce qu'il peut être indirectement associé à une pollution d'origine fécale. La présence des coliformes totaux dans l'eau traitée, où le dépassement des normes réglementaires n'implique pas nécessairement un risque pour la santé publique. En effet, la plupart des espèces de ce groupe se trouvent naturellement dans le sol ou dans la végétation. (**Edberg et al., 2000**)

Nous avons constaté que le nombre de coliformes totaux varie entre 3 et 40 CT/100ml qui représente une valeur maximale trouvée dans les puits P1, P2 et ceci durant

le mois d'avril tandis que la valeur minimale a été constatée durant le mois de mars dans le forage F2 avec 3 CT/100ml. (**Figure 15**)

Ce nombre de coliformes totaux due à une pollution fécale qui a des origines multiples comme l'exposition directe aux eaux de ruissellement qui sont chargées d'une masse importante de germes d'origine terrestre ramenés des terrains agricoles avoisinants, ou peut être accumulée suite à l'augmentation de la température de l'eau.

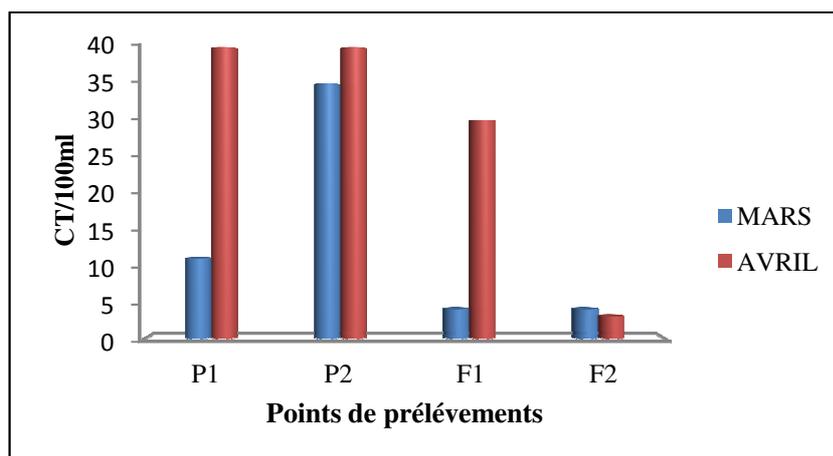


Figure 15 : Estimation du nombre des Coliformes totaux.

❖ Les Coliformes fécaux

Bien que la présence des coliformes fécaux témoigne habituellement une contamination d'origine fécale; plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale. C'est pourquoi il serait approprié d'utiliser le terme générique «Coliformes thermotolérants» plutôt que celui de « Coliformes fécaux ». 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 sont préférables pour cette fonction. (OMS, 2000)

La concentration des coliformes fécaux dans le puits P1 est de 3 CF/100 ml pour les deux mois. (**Figure 16**) .Mais en ce qui concerne le deuxième puits (P2), la concentration des coliformes fécaux est trop élevée; elle est comprise entre 5 et 6 CF/100 ml.

Dans le forage F1 la concentration est nulle au mois de mars; et de 4 CF/100 ml durant le mois d'avril; ce qui peut être due à cause de la localisation du forage au centre de la ville de Tamlouka où il y a une augmentation du risque d'infiltration des eaux de rejets à

cause de l'ancienneté des canaux rouillés Pour le forage F2 la concentration des coliformes fécaux dans les deux mois est aussi nulle.

Donc, d'après ces résultats, on peut dire que les coliformes totaux sont des bons indicateurs à cause de leur nombre qui dépasse de celui des coliformes fécaux.

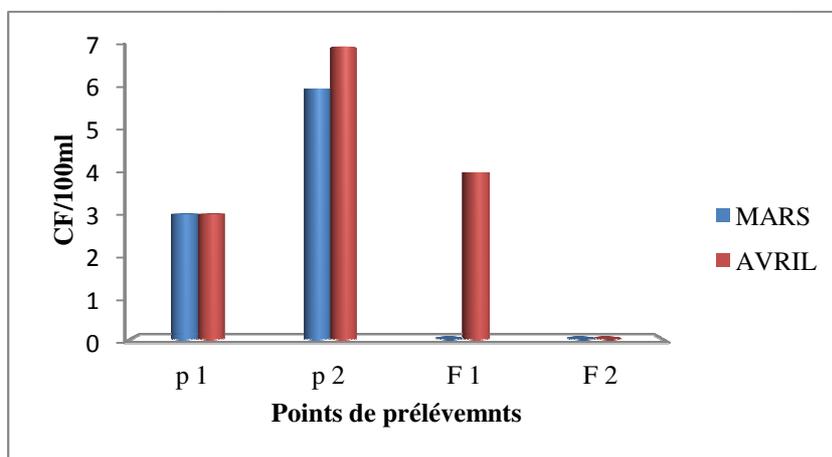


Figure 16 : Estimation du nombre des coliformes fécaux.

1.2.2. Résultats de dénombrement des Streptocoques fécaux

Les streptocoques ne sont pas forcément associés aux coliformes car les coliformes sont uniquement présents lorsque la contamination est en cours ou très récente.

Ils témoignent d'une contamination d'origine fécale ancienne; tandis que les coliformes fécaux témoignent d'une contamination d'origine fécale récente

La concentration des Streptocoques fécaux au niveau de puits P1, se manifeste par un taux très élevé durant le mois d'avril avec 15 SF/100ml, et de 3 SF/100ml durant le mois de mars.

Dans le deuxième puits (P2) sa concentration est nulle au mois d'avril; et 11 SF/100 ml durant le mois de mars.

Dans les deux forages le nombre des streptocoques fécaux nulle et cela peut être traduit par l'efficacité du traitement appliqué dans ces derniers.

Cette forte présence de streptocoques fécaux dans les deux puits (P1, P2) est due probablement à une pollution causée par le 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 des ovins et des bovins. (Figure 17)

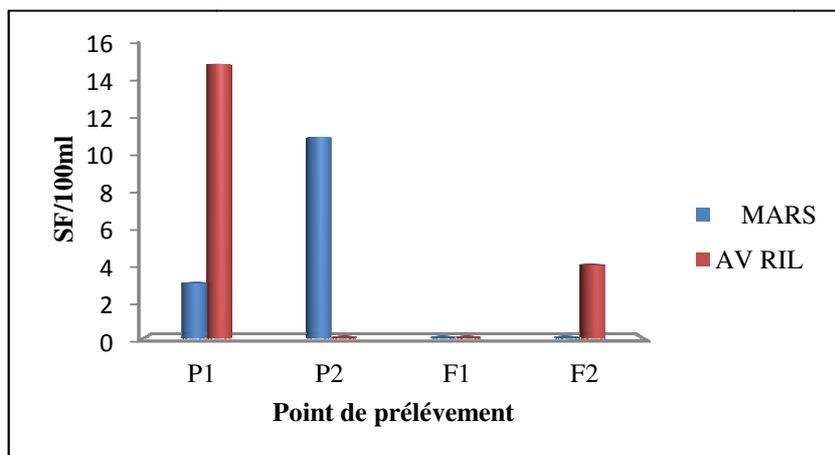


Figure 17 : Estimation du nombre des streptocoques fécaux (SF).

1.3. Résultats de dénombrement des spores de bactéries Anaérobies Sulfito-Réductrices (ASR)

La détermination des spores des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs est un indice de pollution ancienne à cause de la résistance de leurs spores contrairement aux formes végétatives.

Nos résultats montrent la présence des ASR dans les deux puits (P1, P2) pendant le mois de mars avec un nombre maximum de 45 ASR/20ml dans P1, par contre dans le mois d'avril, on a enregistré une valeur minimale seulement dans le P2, ce qui peut être expliqué par l'application d'un traitement chimique (Chloration) durant ce mois. (Tableau 08)

Pour les forages F1 et F2, on a constaté une absence totale des ASR pendant les deux mois (mars et avril) et cela peut être traduit par l'efficacité du traitement appliqué dans les forages.

Tableau08: Dénombrement des bactéries anaérobies sulfito-réducteurs.

Points de prélèvement	Mars	Avril
P 1	20 ASR/20ml	00 ASR/20ml
P 2	45 ASR/20ml	05 ASR/20ml
F 1	00 ASR/20ml	00 ASR/20ml
F 2	00 ASR/20ml	00 ASR/20ml

1.4. Identification des germes pathogènes

Pour la recherche des germes pathogène on a effectué des repiquages successifs sur plusieurs milieux de culture dans l'unique but de purifier les souches, et ceci nous a permis de distinguer les différents caractères des colonies sur ces milieux préférentiels d'isolement.

1.4.1. Sur milieu Hektoen

Après ensemencement sur le milieu d'isolement Hektoen, utilisé pour l'identification des Salmonelles, on a isolé des colonies qui possèdent des aspects différents selon le site d'échantillonnage. La réalisation d'une observation macroscopique et microscopique ont permet de constater les aspects détaillés dans le tableau 09.

Tableau 09 : Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Hektoen.

	Observation macroscopique	Observation microscopique	
		Etat frais	Coloration de Gram
P1	<ul style="list-style-type: none"> - Rose claire, bombée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre - Rose, bombée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre - Verte bambée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre - Transparente, bambée, lisse, brillante circulaire, 4 mm de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> Coccobacilles mobiles Bacilles mobiles Bacilles mobiles Bacilles mobiles 	<ul style="list-style-type: none"> Coccobacilles isolés, Gram négatif. Bacilles isolés, Gram négatif. Bacilles isolés, Gram négatif. Bacilles isolés, Gram négatif.
P2	<ul style="list-style-type: none"> - Rose claire, bombée, lisse, brillante circulaire, 3 mm de diamètre - Bleu, centre noire bambée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre. -Transparente, bambée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre 	<ul style="list-style-type: none"> Bacilles mobiles rapides Bacilles mobiles Bacilles mobiles 	<ul style="list-style-type: none"> Bacilles isolés, Gram négatif. Bacilles isolés, Gram négatif. Bacilles isolés, Gram négatif.
F1	<ul style="list-style-type: none"> -Verte, régulier, grosse, plate, blanchâtre, sèche, opaque. - Bleue brunâtre, bossue, circulaire, ondulés, rigoureuse 	<ul style="list-style-type: none"> Bacilles mobiles Bacilles mobiles 	<ul style="list-style-type: none"> Bacilles isolés, Gram négatif. Bacilles isolés, Gram négatif.
F2	<ul style="list-style-type: none"> - Bleu brunâtre, bossue, circulaire, ondulés, rigoureuse 	<ul style="list-style-type: none"> Bacilles mobiles 	<ul style="list-style-type: none"> Bacilles isolés, Gram négatif.

1.4.2. Sur milieu GNAB

Après culture des bactéries sur le milieu GNAB, on a observé des colonies qui possèdent des aspects semblables, caractéristiques pour les *Pseudomonas* dans les deux sites de prélèvements F1, F2. Alors une absence totale des colonies dans les deux puits P1, P2 a été constatée. (Tableau 10)

Tableau 10 : Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Gélose GNAB.

	Observation macroscopique	Observation microscopique	
		Etat frais	Coloration de Gram
P1	Abs.	Abs.	Abs.
P2	Abs.	Abs.	Abs.
F1	- Vertes ou bleuâtre, bossue, circulaire, ondulés, rigoureuse	Bacilles mobiles	Bacilles isolés, Gram négatif
F2	- Vertes ou bleuâtre, bossue, circulaire, ondulés, rigoureuse	Bacilles mobiles	Bacilles isolés, Gram négatif

(Abs. : Absence de colonies)

1.4.3. Sur milieu "SS"

Après ensemencement sur le milieu d'isolement "SS", spécifique pour l'identification des *Salmonelles* et *Shigelles*, on a observés des colonies seulement que dans le forage F1, alors que dans les deux puits P1, P2 et le forage F2 absence total des colonies. (Tableau11).

Tableau 11 : Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Gélose SS.

	Observation macroscopique	Observation microscopique	
		Etat frais	Coloration de Gram
P1	Abs.	Abs.	Abs.
P2	Abs.	Abs.	Abs.
F1	Transparente, petite, arrondie, bombée.	Bacilles mobiles	Bacilles Gram négatif
F2	Abs.	Abs.	Abs.

(Abs. : Absence de colonies)

1.4.4. Sur milieu Citrimide

Après la culture des bactéries sur le milieu Citrimide, on a observé des colonies qui possèdent des caractéristiques semblables au genre *Pseudomonas* dans les deux sites de prélèvements F1, F2. Alors absence totale de colonies dans les deux puits P1, P2. (Tableau 12).

Tableau 12: Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Citrimide.

	Observation macroscopique	Observation microscopique	
		Etat frais	Coloration de Gram
P1	Abs.	Abs.	Abs.
P2	Abs.	Abs.	Abs.
F1	- Vertes ou bleuâtre, bossue, circulaire, ondulés, rigoureuse	Bacilles mobiles	Bacilles isolés, Gram négatif
F2	- Vertes ou bleuâtre, bossue, circulaire, ondulés, rigoureuse	Bacilles mobiles	Bacilles isolés, Gram négatif

(Abs. : Absence de colonies).

1.4.5. Sur milieu Chapman

L'ensemencement sur le milieu sélectif d'isolement Chapman, utilisé pour l'identification *Staphylococcus*, on a observé des colonies seulement que dans le forage F1, alors que dans les deux puits P1, P2 et le forage F2 absence total des colonies.

Tableau 13 : Différentes caractéristiques des colonies cultivées sur milieu Gélose Chapman

	Observation macroscopique	Observation microscopique	
		Etat frais	Coloration de Gram
P1	Abs.	Abs.	Abs.
P2	Abs.	Abs.	Abs.
F1	Colonies : petites, blanches, arrondies, plates, à contour régulier, 1-2 mm, odeur de fermentation, fermentation du mannitol.	Coccis immobiles.	Coccis Gram positif (en grappes de raisin).
F2	Abs.	Abs.	Abs.

(Abs. : Absence de colonies)



Figure 18 : Colonies observée sur le milieu Hektoen (Photo prise par Touati et Amaramadi, 2013)

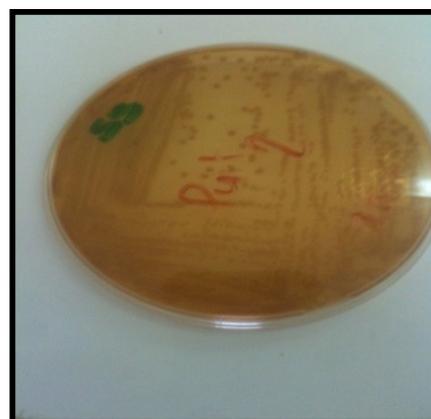


Figure 19 : Colonies observée sur le milieu SS (Photo prise par Touati et Amaramadi, 2013)

1.4.6. Résultats de l'identification biochimique:

Les résultats de l'identification biochimique par l'API système et la galerie classique durant les deux mois (mars et avril) sont représentés dans le tableau.14.

Tableau 14 : Résultats de l'identification biochimique.

Sites	Germes
P1	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Escherichia coli</i> - <i>Citrobacter braakii</i> - <i>Providencia</i> - <i>Aeromonas hydrophylae</i>
P2	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Aeromonas hydrophylae</i> - <i>Proteus reitgeri</i> - <i>Morganella morgani</i>
F1	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Alklescensidispar</i> - <i>Pseudomonas putida</i> - <i>Staphylococcus sp</i>
F2	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Pseudomonas putida</i>



Figure 20: Résultat de la galerie classique pour *E. coli*
(Photo prise par Touati et Amaramadi, 2013)



Figure 21 : Profil biochimique de la souche *Morganella morganii*
(Photo prise par Touati et Amaramadi, 2013)



Figure 22 : Profil biochimique de la souche *Aeromonas hydrophila*
(Photo prise par Touati et Amaramadi, 2013)



Figure 23 : Profil biochimique de la souche *Pseudomonas putida*
(Photo prise par Touati et Amaramadi, 2013)

2. Résultats des analyses physico-chimiques

2.1. Résultats des analyses *in situ*

a) Température (T)

D'après nos résultats recueillis sur les puis P1 et P2, durant le mois de mars, la température minimale est observé chez P2 avec 13°C et la maximale avec 14°C, alors que dans le mois d'avril, on a observé une petite chute de température dans les puis P1 et P2.

Les températures enregistrées des forages F1 et F2 sont presque les même, ont atteint le maximum pendant les deux mois avec 16°C (**Figure 24**).

Ces températures sont proches de la température ambiante et indiquent une origine peu profonde de l'eau étudiée selon ce prélèvement.

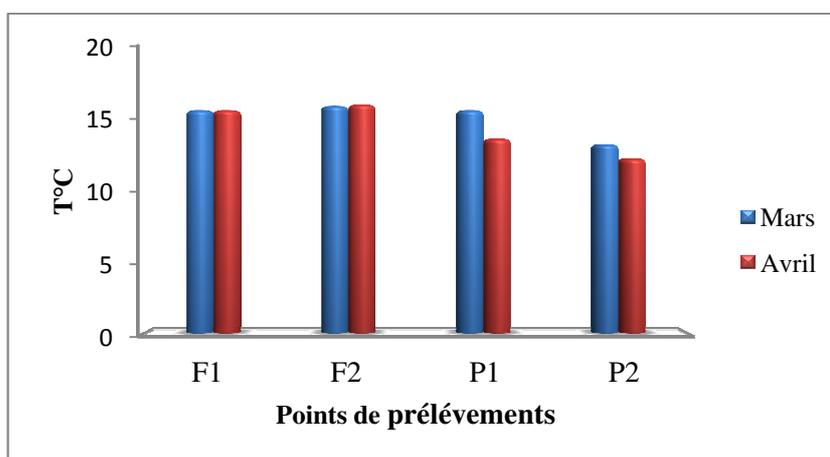


Figure 24 : Evolution spatio-temporelle de la température dans les points de prélèvements.

b) Conductivité électrique CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

D'après les résultats la valeur de la conductivité durant les deux mois n'a pas changée pour chaque point de prélèvement (F1, F2, P1 et P2), la valeur maximale est 3300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au forage F1, tandis que la minimale est 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au forage F2 (**Figure 25**).

Le rapport entre conductivité et concentration ionique s'exprime par approximation de la façon suivante :

$$2 \mu\text{S}/\text{cm} = 1 \text{ ppm (partie par million),}$$

Ou

$$1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/l correspond à la concentration en solide dissous}$$

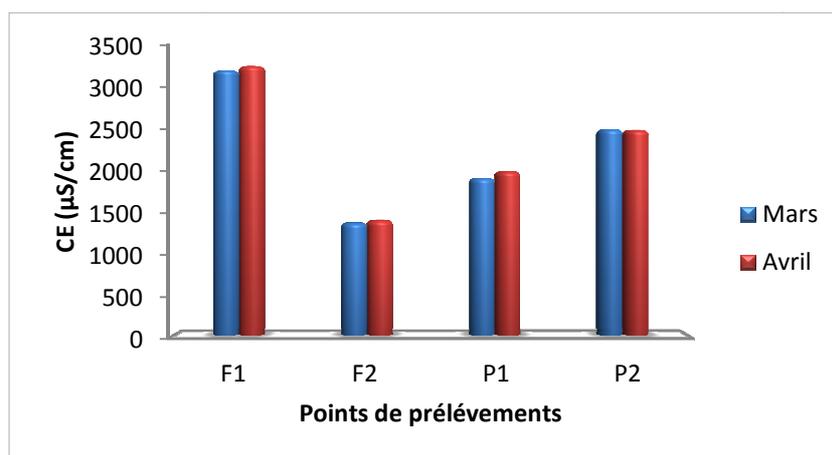


Figure 25: Evolution spatio-temporelle de la conductivité dans les points de prélèvements.

c) Potentiel d'hydrogène (pH)

Les mesures réalisées, on donne des valeurs comprise entre 7.1 et 7.7 avec une valeur maximal qui a atteint les 7.7 dans le puits 2 durant le moi de mars et une valeur de 7.1 considère comme minimale dans les deux forages (F1 et F2) durant le moi d'avril (**Figure 26**). Ces résultats sont proches du pH neutre.

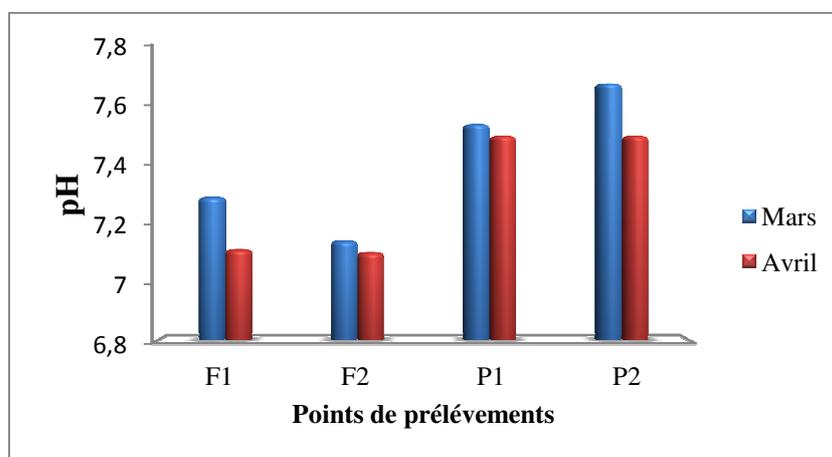


Figure 26: Evolution spatio-temporelle du pH dans les points de prélèvements.

d) L'oxygène dissout

D'après les résultats, les valeurs de l'oxygène dissout durant le mois de mars sont beaucoup plus hautes que celles enregistrées pendant le mois d'avril, d'où la valeur maximale a été notée dans le puis P1 avec 5.8 mg/l et la minimale a été enregistrée dans forage F1 avec 1.42 mg/l (**Figure 27**).

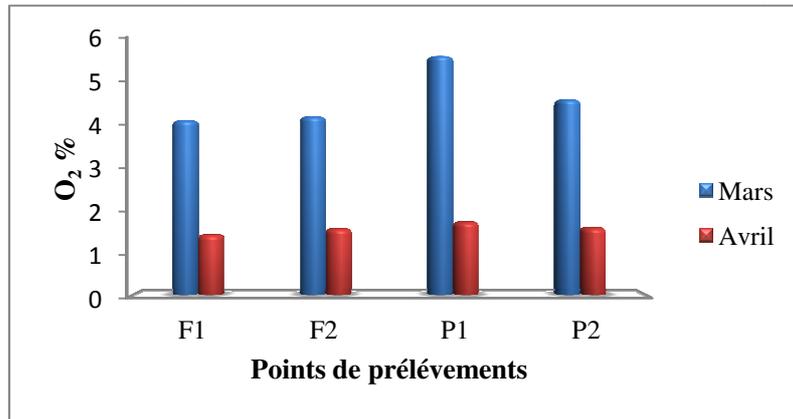


Figure 27: Evolution spatio-temporelle de l'oxygène dissout dans les points de prélèvements

e) Salinité

La salinité est proportionnelle à la conductivité c'est pour cela sa variation suit la même allure. Les valeurs maximales ont été enregistrées dans F1 (1.5) et les minimales ont été noté dans F2 (0.5) (**Figure 28**).

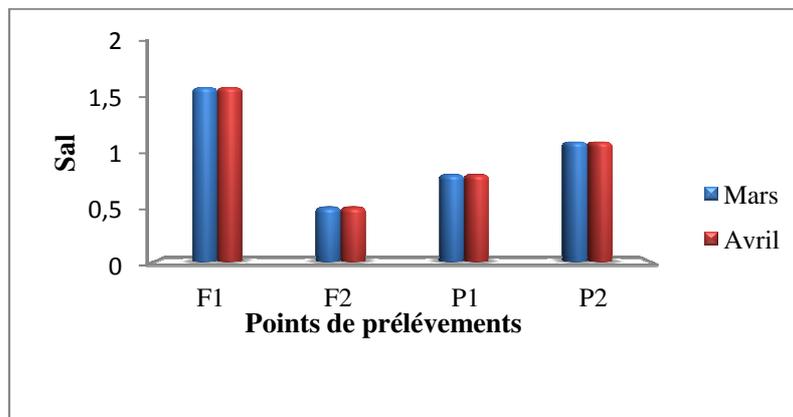


Figure 28: Evolution de salinité dans les points de prélèvements

f) Taux des sels dissouts (TDS)

Toutes nos analyses présentent une minéralisation inférieure à 2 g/l (norme de l'OMS) avec une valeur maximale de 1607 mg/l dans le forage F1 et une valeur minimale de 673 mg/l dans le forage F2 (**Figure 29**).

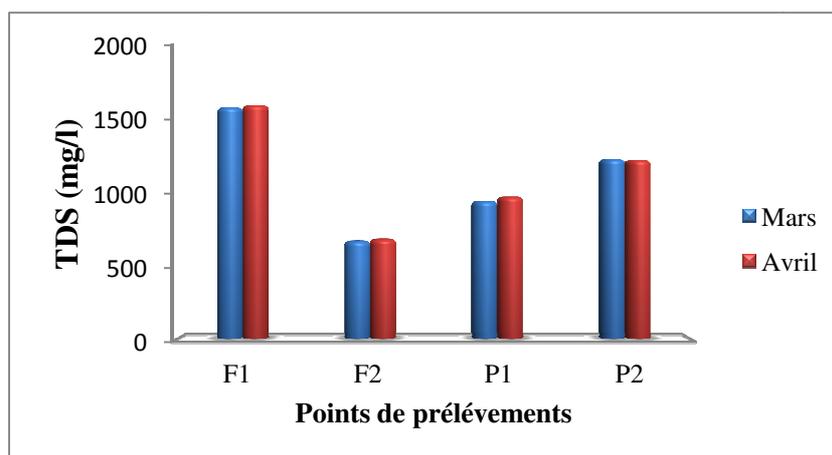


Figure 29: Evolution du taux des sels dissout dans les points de prélèvements

2.2. Résultats des analyses effectuées dans le laboratoire

a) Dureté (TH)

D'après les résultats obtenus (Figure 30), l'eau des puis et forage étudiée est très dure, la valeur minimale enregistrée est de 21.8°F dans le forage F2 pendant les deux mois, alors que la valeur maximale a atteint 63.6 °F durant le mois de mars. L'OMS exige que la dureté totale de l'eau destinée à la consommation humaine soit inférieure à 30°F. L'origine de la dureté d'une eau peut être liée simplement à la lithologie du terrain encaissant ou bien à une pollution des différentes causes.

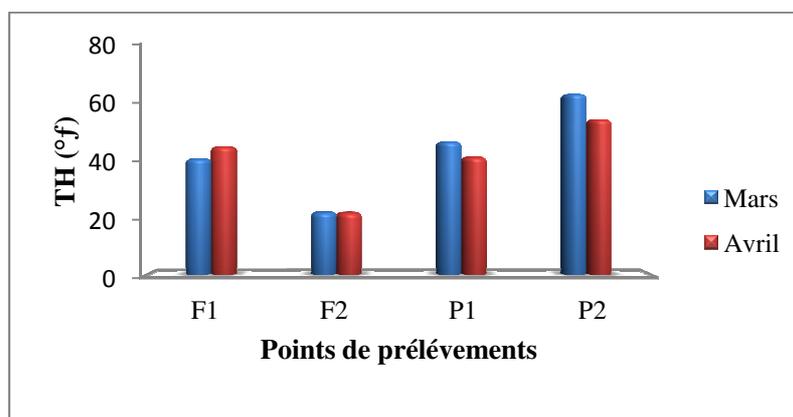


Figure 30: Evolution de dureté dans les points de prélèvements

b) Alcalinité

Les concentrations du TAC (Titre Alcalimétrique Complet) au niveau des points de prélèvement sont inférieures à 50°F, norme de l'OMS des eaux destinées à la consommation humaine qu'il ne faut pas la dépassée. Nous observons que les valeurs moyennes sont

généralement comprises dans une fourchette étroite (13 à 20°F) dans les deux mois et pour tous les sites (**Figure 31**)

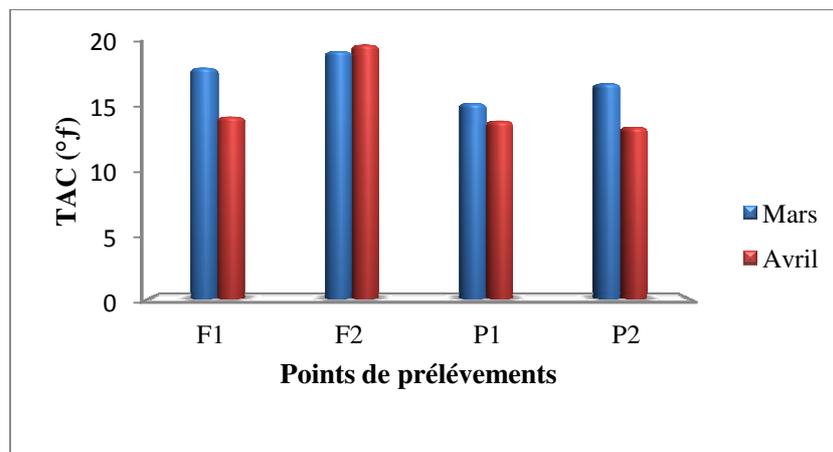


Figure 31: Evolution de l'alcalinité dans les points de prélèvements

c) Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un élément qui constitue la dureté de l'eau et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. La figure 32 nous montre que les concentrations de Ca^{2+} dans les eaux des puits dépassent la valeur guide (100 mg/l) pour les eaux destinées à la consommation humaine (OMS, 1994). La valeur maximale enregistrée dans le puits P2 (204.4mg/l) dont la cause de la présence de cet élément est la dissolution des formations carbonatées et gypseuses. Par contre les valeurs de calcium dans les forages sont respectables à la norme de l'OMS.

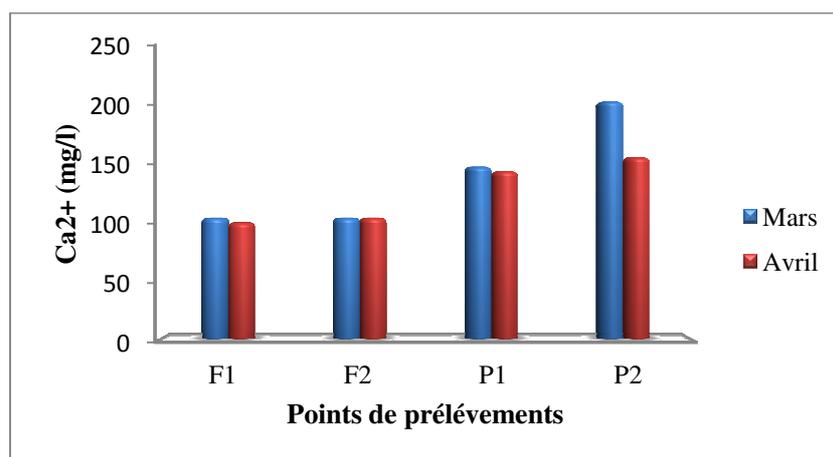


Figure 32: Evolution de Calcium dans les points de prélèvements

d) Magnésium (Mg^{2+})

D'après les résultats de Mg^{2+} , (**Figure 33**) nous remarquons que tous les échantillons ont des teneurs inférieures à 50 mg/l (Teneur maximale admissible par l'OMS). La valeur minimale est de 16.03 mg/l, observée au niveau de puits P1 et la valeur maximale est 28.73 mg/l, notée au niveau de puits P2. Les cations Mg^{2+} ont les mêmes origines et les mêmes provenances que celle du Ca^{2+} (dissolution des formations carbonatées).

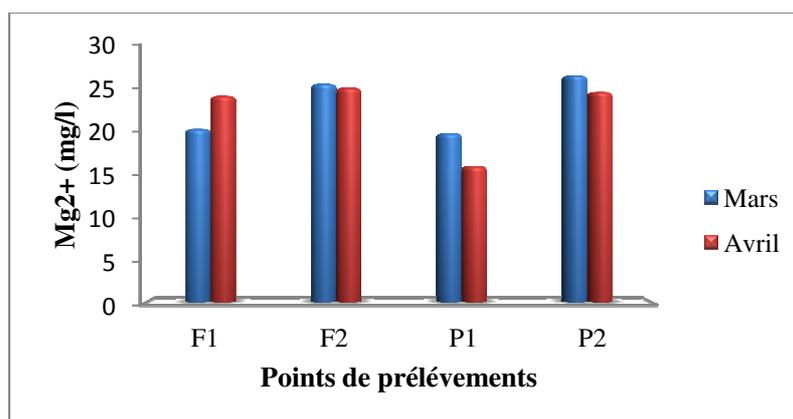


Figure 33: Evolution de Magnésium dans les points de prélèvements

e) Chlorure (Cl)

L'eau contient presque toujours des chlorures mais en proportions très variables. Leur teneur augmente généralement avec le degré de minéralisation de l'eau. Nos résultats montrent une valeur maximale enregistrée dans le puits P2 dans le mois de mars et une valeur minimale dans le puits P1 dans le même moi, selon l'OMS la norme de potabilité est 250 mg/l pour les eaux destinées à la consommation humaine.

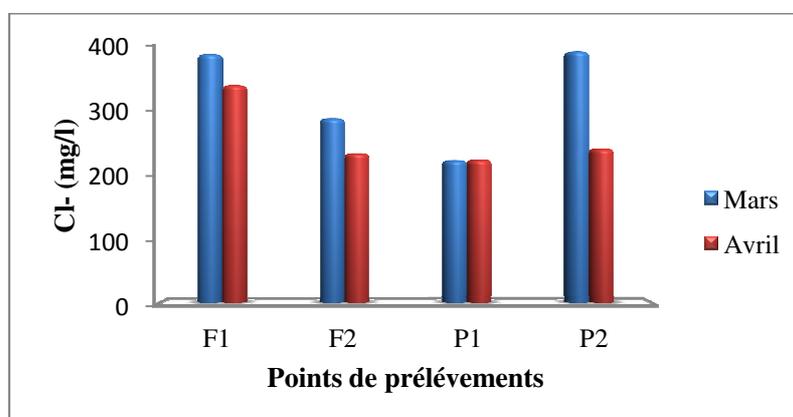


Figure 34: Evolution de Chlorure dans les points de prélèvements

f) Sodium (Na^+)

D'après les résultats du Na^+ (**Figure 35**), nous remarquons que tous les échantillons ont des teneurs supérieures à 150 mg/l qui sont dans la norme exigé par l'OMS pour les eaux destinées à la consommation humaine. La valeur maximal de 271 mg/l trouver dans le forage F1 et la valeur minimal de 196.92 mg/l dans le forage F2.

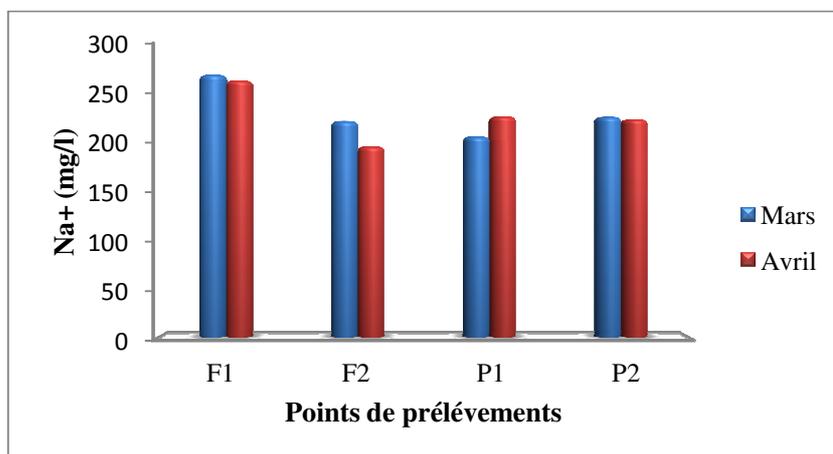


Figure 35: Evolution de Sodium dans les points de prélèvements

g) Potassium (K^+)

Les résultats obtenus du Na^+ (**Figure 36**), montrent que tous les échantillons dans les deux mois d'étude ne dépassent pas les normes exigées par l'OMS (12 mg/l). La valeur maximale est de 7.4 mg/l, observé dans le puis P2 et la valeur minimale est de 1.53 mg/l; notée dans le forage F1.

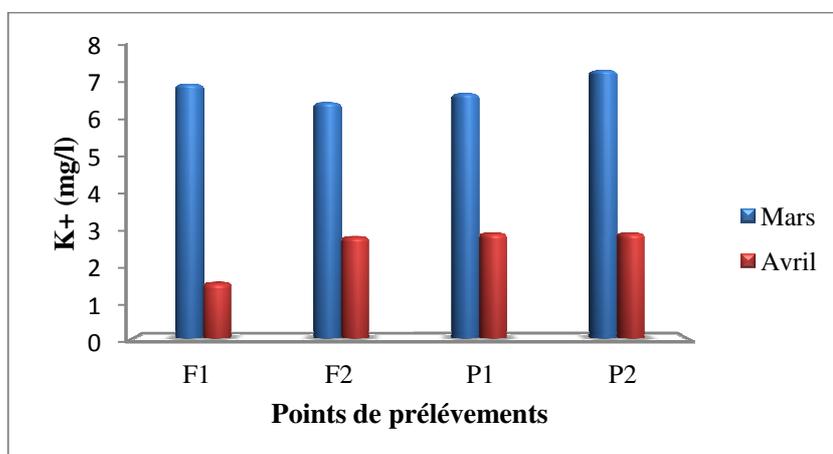


Figure 36: Evolution de Potassium dans les points de prélèvement

h) Sulfate (SO_4^-)

Nos résultats exhibent un fort dépassement de la norme de l'OMS qui met un seuil de 250 mg/l, surtout dans les points F1, P1 et P2 (**Figure 37**). La valeur la plus élevée est enregistrée dans P2 durant le mois de mars avec 477 mg/l. Les échantillons prélevés du Forage F2 ont un taux de sulfate acceptable, n'a pas dépassé les 200 mg/l.

La présence de cet élément dans l'eau est liée à la dissolution des lentilles gypseuses.

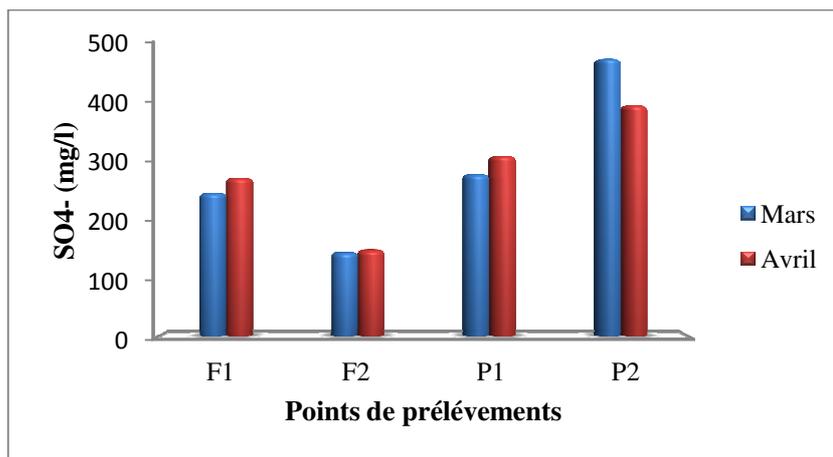


Figure 37: Evolution de Sulfate dans les points de prélèvements

i) Bicarbonate (HCO_3^-)

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO_2 dissout et la nature lithologique du sol. D'après nos résultats la valeur maximale est de 244 mg/l, enregistrée dans le forage F2, tandis que la valeur minimale est de 165 mg/l notée dans le puits P2 durant le mois d'avril.

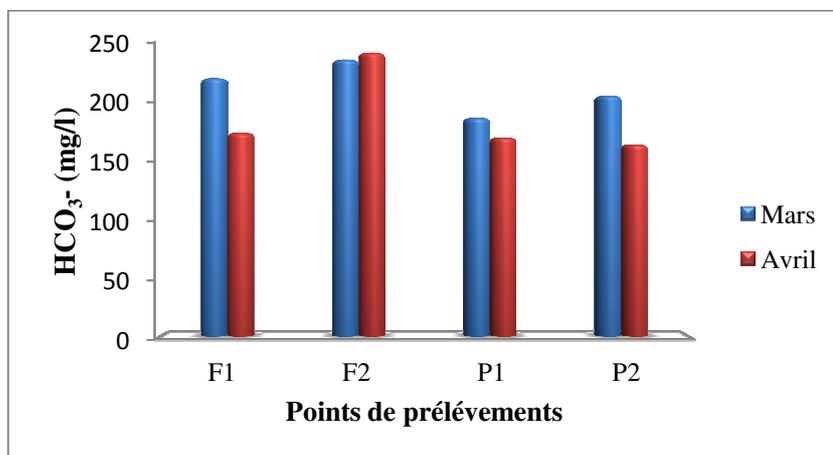


Figure 38: Evolution de Bicarbonate dans les points de prélèvements

j) Nitrates (NO_3^-)

Les teneurs en nitrates de tous les échantillons prélevés durant le mois de mars, sont inférieurs à la norme fixée par l’OMS (50 mg/l) sauf pour le puits P2 qui la dépasse un peu la norme, alors que pendant le mois d’avril, les points F2, P1 et P2, ont largement dépassés la norme, avec un maximum enregistré de 100 mg/l (dans P2) (**Figure 39**). Ce qui peut s’expliquer par le lessivage excessif des terres agricoles avoisinantes chargées d’énormes quantités d’angaries.

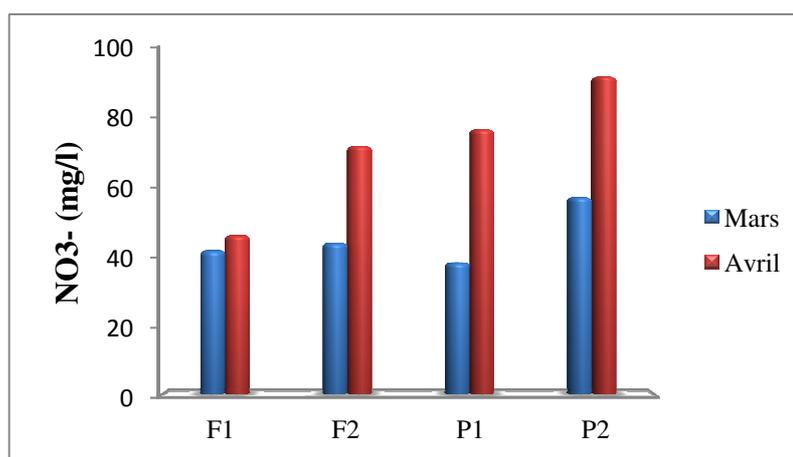


Figure 39: Evolution de Nitrate dans les points de prélèvement

k) Nitrites (NO_2^-)

Considéré comme un élément toxique, le NO_2^- est la forme la moins stable dans le cycle de l’azote. Il est issu de la réduction de l’ammonium NH_4^+ . Son origine est liée à l’agriculture et aux rejets urbains et industriels. La figure 40 nous montre que les teneurs en nitrites sont peu importantes. Les valeurs moyennes de tous les puits et les forages de notre étude ne dépassent pas les normes requises. Le maximum enregistré est de 0.396 mg/l au niveau du forage F1, il est du probablement à l’infiltration des eaux des ruissèlements vers la nappes.

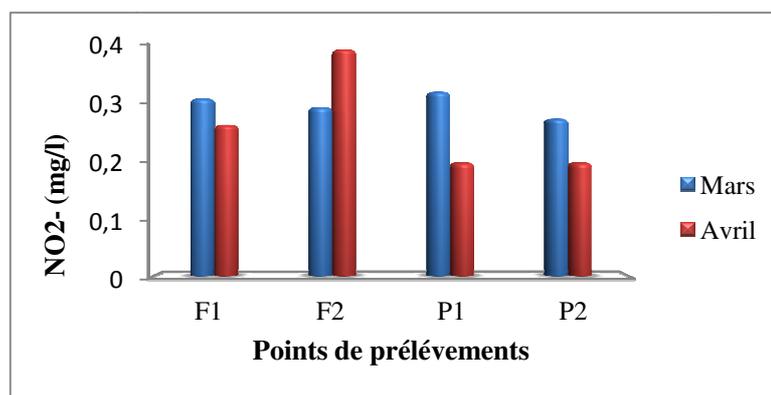


Figure 40: Evolution de Nitrite dans les points de prélèvements

I) Ammonium (NH₄⁺)

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains, soit à la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites. Pourriot et Meybek (1995) ont considérés que les eaux naturelles présentent une teneur de l'ordre de 0.0015 mg/l en NH₄⁺. D'une manière générale une eau bien oxygénée ne contient que des traces d'ammoniaque. Les valeurs moyennes enregistrées des teneurs en NH₄⁺ durant notre étude sont inférieures aux normes décrites par l'OMS (0.5 mg/l). La valeur maximale est de 0.117 mg/l, observée au niveau du puits P2 et du forage F2 pendant le mois d'avril, tandis que pendant le mois de mars, les valeurs n'ont pas atteint les 0.06 mg/l (figure 41)

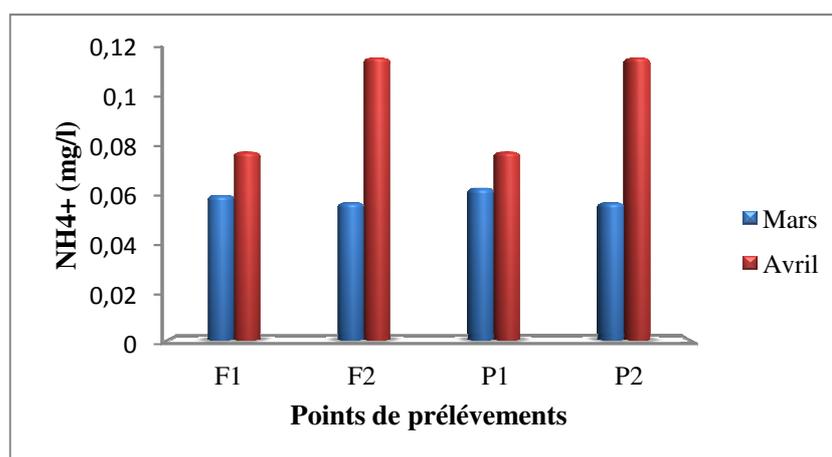


Figure 41: Evolution d'ammonium dans les points de prélèvement

m) Ortho phosphate (PO_4^-)

L'origine des phosphates dans les eaux est le plus souvent liée aux rejets urbains et à la dissolution des engrais chimiques (NPK). Les résultats des ortho phosphates (**Figure 42**) nous montrent que leurs concentrations dans les eaux des puits et des forages sont inférieures à la norme (5 mg/l décrite par l'OMS) pour les eaux destinées à la consommation humaine. Le maximum de concentration est observé au niveau du puits P2 (0.552 mg/l) durant moins d'avril. Il est à noter que ce puits est situé dans une région à activité agricole intense.

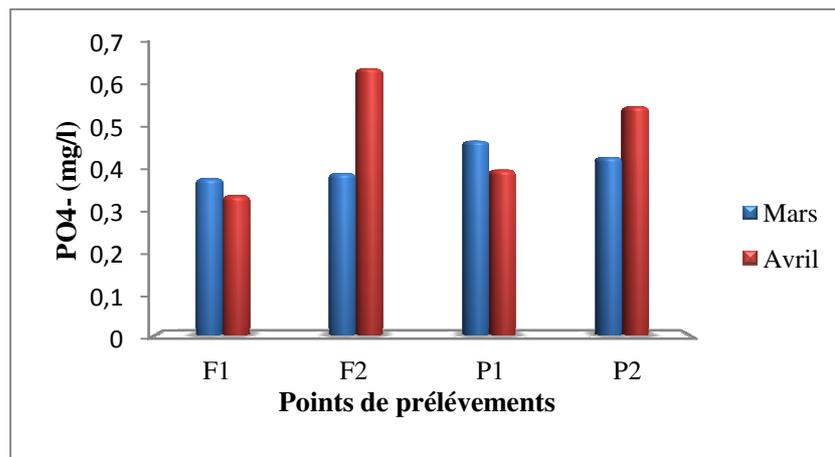
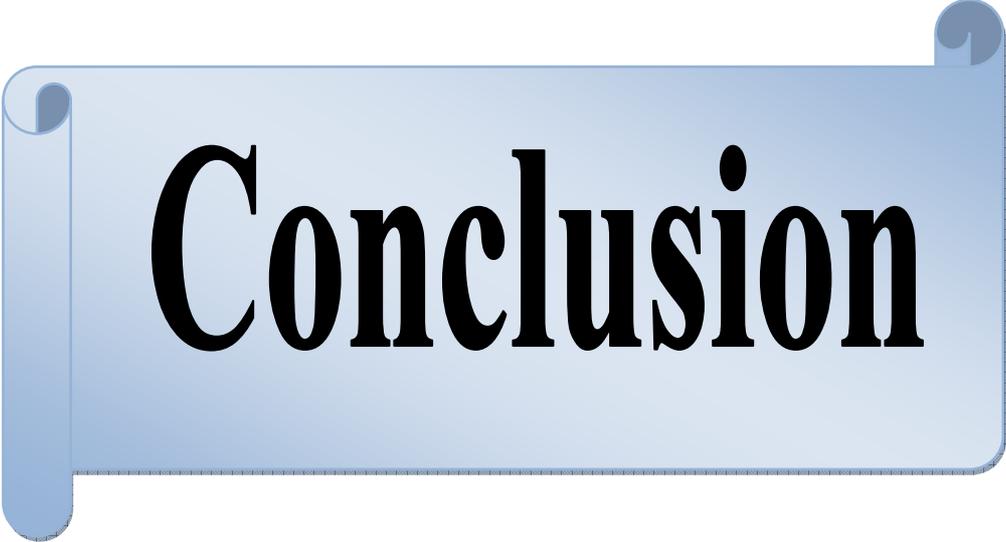


Figure 42: Evolution d'orthophosphate dans les points de prélèvements



Conclusion

Cette étude a été menée dans le but de déterminer la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau de certains puits et forages de la région de Tamlouka (Nord-est de l'Algérie).

La région d'étude correspond à une dépression d'une superficie de 200 km², appartenant à la partie méridionale de la chaîne alpine de l'Algérie connue sous le nom de l'Atlas tellien, est un carrefour de rencontre de trois grandes unités géologiques : Le domaine allochtone du sillon de Sellaoua, Le domaine néritique constantinois et le domaine tellien représente le milieu le plus profond de la région.

Les résultats obtenus durant notre période d'étude ont révélés que la qualité bactériologique et physicochimique des eaux souterraines de la commune de Tamlouka est non appréciée.

Du point de vue bactériologique, les dénombrements réalisés le long de nos campagnes (mars et avril) et dans les quatre points de prélèvements (forages et puits) nous présentent une contamination bactérienne variable. Par ailleurs, les tests d'identification des souches isolées ont permis d'identifier neuf souches rapprochées aux différents genres : *Escherichia coli*, *Citrobacter braakii*, *Providencia sp* et *Aeromonas hydrophila*, dans le puits P1. Tandis que *Aeromonas hydrophila*, *Proteus reitgeri* et *Morganella morgani*, soient présente dans le puits P2. *Alkalescensidispar*, *Pseudomonas putida* et, *Staphylococcus sp*, dans le forage F1, et *Pseudomonas putida* a été détecté au niveau de forage F2. La nature des germes isolés et la quantité de microorganismes dénombrés dépassent les normes décrites par l'OMS pour l'eau utilisée en consommation rendant celle-ci impropre à la consommation humaine.

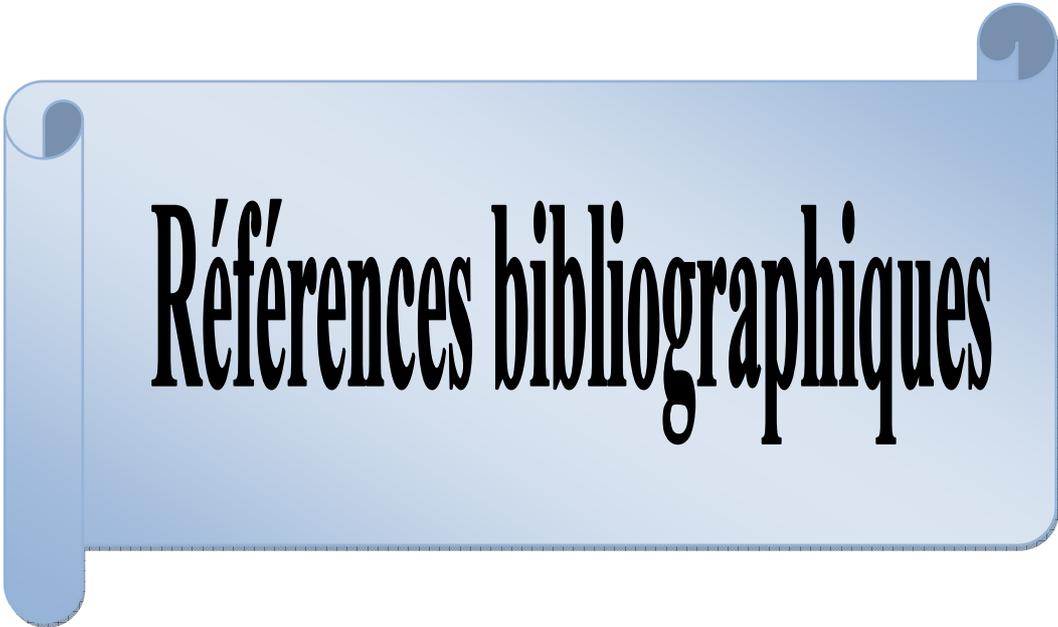
Les causes de cette pollution sont multiples, principalement sont la mauvaise protection des puits et des forages et le non application des mesures d'hygiène élémentaires.

Du point de vue physico-chimique, quelque paramètres étudiés répondent aux normes de potabilité tel que : nitrite, ammonium et ortho-phosphate ; alors que d'autre paramètres dépassent les normes, tel: la conductivité, la dureté, la TDS, les sulfates, les chlorures, le sodium et le calcium, qui sont souvent liés à la formation géologique et aux caractéristiques climatiques de la région. Les fluctuations de ces paramètres peuvent être aussi expliquées par l'effet de nombreux facteurs, à savoir les apports en eaux usées domestiques et la pratique agricole.

A la lumière de ces résultats, les ressources en eau exploitées de la nappe alluviale de la région de Tamlouka à travers les puits et les forages concernés par notre étude se montrent menacées par la pollution engendrée par le développement urbain et agricole, notamment, les eaux usées des agglomérations avoisinantes qui ne disposent pas de système d'assainissement, des ordures ménagères, du réseau routier et des activités agricoles.

Pour améliorer la qualité des eaux de puits et des forages nous recommandant les solutions suivantes :

- Mener une large campagne de sensibilisation.
- Un contrôle permanent des puits et des forages.
- Exiger le respect des normes de protection des puits.
- Respecter une distance minimum de quinze mètres entre puits et latrines.
- Mettre en place un système d'évacuation correcte des eaux usées.
- Le traitement sur place ou le stockage des rejets et les déchets.



Références bibliographiques

- **Aouissi A. (2009).** «Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie)».Mémoire de magister, Guelma, Université du 08 Mai 1945, 129 p.
- **Bagnouls F.,et Gaussen H. (1957).** «Les climats biologiques et leur classification». Annales de Géographie, 66° année, N=° 335 : 193-220 p.
- **Bensouilah T, Kirati H et Touati H. (2012).** «Microbiologie des fientes de quelques espèces aviaires nicheuses dans la région de Guelma». Mémoire de Master, Guelma, Université 8 Mai 1945, 120 p.
- **Boubidi W. (2007),** Traitement et critère de potabilité de l'eau (les normes).Mémoire d'ingénieur d'état, Guelma, Université 08 Mai 1945, 88 p.
- **Bouokrouma N. (2008).** « Contribution à l'étude de la qualité microbiologique de l'eau d'un écosystème aquatique artificiel ; cas de la retenue collinaire d'Ain Fakroune (W.d'Oum El Bouaghi)». Mémoire de magister, Guelma, Université 8 Mai 1945, 64 p.
- **Bouziani M. (2000).** *L'eau De La Pénurie Aux Maladies*, Alger, Editions Ibn-Khaldoun, 247 p.
- **Boudouda R et Kherchiche F. (2012).** «Evaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau de baignade de la région de Guelma». Mémoire de Master, Guelma, Université 8 Mai1945, 69 p.
- **Carbonelles D. & Kouyoumdjian S. (1988),** *Bactériologie médicale techniques usuelles*.Med. Mal. Infe. 251 p
- **Chaouch R. (2007),** «Identification et quantification des déchets solides encombrant les plages d'Annaba, aspect physico-chimique et bactériologique des eaux». Mémoire de Magister, Annaba, Université Badji-Mokhtar, 105 p.
- **Dégrément. (1998),** *Mémento technique de l'eau*, 8^{ème} édition, Paris, Tec et Doc, 986 p.
- **Detay M. (1993).** *Le Forage D'eau, Réalisation, Entretien Et Réhabilitation* ; Paris, Masson, 379 p
- **Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J et Allen M.J. (2000) -** *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88: 106-116 p.
- **Guiraud J. (1998),** *Microbiologie alimentaire*, Paris, Dunod, 651p.
- **Hemila M-L. Kowalski W-M. (2002),** *synthèse géoélectrique appliquée à la caractérisation des contacts entre nappes de charriage et son apport.*

Hydrogéologique dans la plaine de Tamlouka «région de Guelma Est Algérien».
Cannada, Geo tech, j.39. 725-737 p.

- **Kreisel W. (1991)**, *Water Quality and Health*, Paris, Dunod, 209 p.
- **Labres et Mouffok F. (2008)**, *Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson*. Manuel des travaux pratiques des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. 53p
- **Lesne J. (1998)**, *Hygiène publique, microbiologie et gestion de l'eau*. Ecole nationale de la santé publique, Rennes, France, 07 p.
- **Marchal N., Bourdon J-l et Richard C. (1982)** - *Les milieux de culture pour l'isolement et l'identification biochimique des bactéries .biologie appliquée*, Paris. Editions Douin, p.50-364.
- **Mebarki A. (2005)**. « Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : ressources en eau aménagement et environnement».thèse de doctorat d'état, Constantine, université de Mentouri, 360 p.
- **Meddour R. (2010)**, «Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie». Thèse doctorat, Tizi Ouzou, Université Mouloud Mammeri, 461 p.
- **OMS (2000)**, Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 – critères d'hygiène et documentation à l'appui. *Organisation mondiale de la Santé*, 2^{ème} édition, 1050 p.
- **Payment P., et Pintar k, (2006)**, «Microorganismes pathogènes transmis par la voie hydrique: une évaluation critique des méthodes, des résultats et de leur interprétation», *Revue des sciences de l'eau*, vol. 19, no 3, p. 233-245.
- **Péchere J. (1982)**, *Reconnaitre traiter les infections*, 4ème édition, Québec, Edisem ST Hyacinthe, 509 p.
- **Pilet C., Bourdon J-L., Toma B., Marchal N., Balbastre C. et Person J-M. (1987)**. *Bactériologie Médicale Et Vétérinaire: Systématique Bactérienne*. Paris, Douin, 372 p.
- **Ramade F. (1982)**. *Eléments D'écologie, Ecologie Appliquée, L'action De L'homme Sur La Biosphère*, 2^{ème} édition, Paris, Masson, 422 p.
- **Rejsek F. (2002)**. *Analyse des eaux ; aspects règlementaires Et techniques*, Paris, Sceran, 360 p.
- **Rodier J. (1996)**. *Analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires*. 8ème édition, Paris, Dunod, 1130 p.
- **Rodier J. et col. (2005)** - *L'analyse de l'eau. Eaux naturelles. Résiduaires. Eau de mer*, 8^{ème} édition, Paris, Dunod, 1383 p.

- **Roland V. (2003)**, *Eau, Environnement et santé Publique*. 2^{ème} édition introduction à L'hydrologie. TEC et DOC.
- **Sayad L. (2008)**. « Qualité physicochimique et bactériologique de l'eau de surface de l'écosystème lacustre lac des oiseaux (wilaya d'El-Taraf) ». Mémoire de magister, Annaba, université Badji-Mokhtar, 100 p.
- **Singleton P. (1999)**, *Bactériologie*, 4^{ème} éditions, Paris, Dunod, 542 p.
- **Soltner D. (1999)**, *Les Bases De La Production Végétale*. édition Sciences & Techniques Agricoles, Tome 2, 396 p.
- **Zouaidia H. (2006)**, « Bilan des incendies de forêts dans l'Est Algérien cas de Mila, Constantine, Guelma, Souk Ahrasse », Mémoire de magister, Constantine, université de Mentouri, 108 p.

[1]: «sololiya» En ligne. http://www.sololiya.fr/.../3_les_differents_types_de_maladies_liees_a_1_eau. Consulté le : 05/03/2013.

[2]: «lenntech» En ligne. <http://www.lenntech.fr/francais/data-perio/s.htm#ixzz1sQjn5ax0>. Consulté le : 15/03/2013.

[3]: «memoireonline» En ligne. http://www.memoireonline.com/.../m_Evaluation-de-la-qualite-des-eaux-des-puits-couverts-munis-de-pompe-dans-la-commune-de-Porto-Nov
Consulté le : 10/04/2013.

[4]: «arnobio2» En ligne. <http://www.arnobio2.com/pratique-bacteriologie-galerie-api>. Consulté le : 10/04/2013.

[5]: «univ-tln» En ligne. <http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/plan.htm> Consulté le : 15/04/2013.



Annexes

Annexe I

Tableau 01 : Table de NPP (RODIER ,2009)

Nombre caractéristique			Nombre de cellules NPP dans 100 ml
3 tubes de 10 ml	3 tubes de 1 ml	3 tubes de 0.1 ml	
0	0	1	3
0	1	0	3
0	1	1	6
0	2	0	6
1	0	0	4
1	0	1	7
1	0	2	11
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
1	2	1	15
1	3	0	16
2	0	0	9
2	0	1	14
2	0	2	20
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	2	30
2	2	0	20
2	2	1	30
2	2	2	35
2	2	3	40
2	3	0	30
2	3	1	35
2	3	2	40
3	0	0	25
3	0	1	40
3	0	2	65
3	1	0	45
3	1	1	75
3	1	2	115
3	1	3	160
3	2	0	95
3	2	1	150
3	2	2	200
3	2	3	300
3	3	0	250
3	3	1	450
3	3	2	1100
3	3	3	1400

Annexe II

Tableau 02 : Qualité physico-chimique de l'eau de boisson (Directive de l'OMS, 2002).

Normes	Paramètres
25	Température °C
6,5 - 8,5	Potentiel d'hydrogène (pH)
-	Ca ⁺⁺ (mg/L)
50	Mg ⁺⁺ (mg/L)
150	Na ⁺ (mg/L)
12	K ⁺ (mg/L)
<30	TH (°F)
200	Cl ⁻ (mg/L)
250	SO ₄ ⁻ (mg/L)
-	HCO ₃ ⁻ (mg/L)
30	TAC (°F)
50	NO ₃ ⁻ (mg/L)
1000	Conductivité (µS/cm)
-	T.D.S (mg/L)
1500	Résidu sec à 180°C (mg/L)

Tableau 03 : Qualité bactériologique de l'eau de boisson (Directive de l'OMS, 2002).

Organismes	Les valeurs indicatives	Remarque
A- Toutes les eaux destinées à la consommation :		
E. Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
B- Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution :		
E.Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml.
Coliformes totaux	10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml.
C- Eaux traitées dans le réseau de distribution :		
E. Coli ou bactéries coliformes Thermotolérantes	0 0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml.
Coliformes totaux	10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml.

Tableau 04 : Dénombrement des Coliformes totaux

Points de prélèvement	Mars	Avril
P1	11	40
P2	35	40
F1	4	30
F2	4	3

- Les résultats sont exprimés par CT/100ml.

Tableau 05 : Dénombrement des Coliformes fécaux.

Points de prélèvement	Mars	Avril
P1	3	3
P2	6	7
F1	0	4
F2	0	0

- Les résultats sont exprimés par CF/100ml.

Tableau 06 : Dénombrement des Streptocoques fécaux.

Points de prélèvement	Mars	Avril
P1	3	15
P2	11	0
F1	0	0
F2	0	4

- Les résultats sont exprimés par SF/100ml

Annexe III

Méthodes d'analyses

1. Méthode titrimétrique de dosage du TA et du TAC

-Principe

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

-Réactifs

- Acide chlorhydrique ou sulfurique 0,02 N.
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 0,5 %.
- Solution de vert de Bromocrésol et de rouge de méthyle.
- Eau dé-ionisée exempte d'anhydride carbonique libre (par ébullition de 15 min).

-Mode opératoire

-Détermination du TA

Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique. Ajouter 1 à 2 gouttes de la solution alcoolique de phénol phtaléine. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul, ($\text{pH} < 8,3$). Verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution ($\text{pH} 8,3$).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

-Détermination du TAC

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de vert de Bromocrésol et de rouge de méthyle et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose ($\text{pH} 4,5$).

Soit V' le volume d'acide 0,02 N versé depuis le début du dosage.

-Expression des résultats

1) TA :

$-(V/5)$ exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre.

$-(V)$ exprime le titre alcalimétrique en degrés français ($^{\circ}\text{f}$).

2) TAC :

$-(V' /5)$ exprime le titre alcalimétrique complet (TAC) en milliéquivalents par litre.

$- V'$ exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français.

2. Dureté de l'eau (TH)

-Réactifs:

- Solution de noir ériochrome T à 0,5 %

- Solution tampon pH 10:

- Chlorure d'ammonium (NH_4Cl): 67,5 g.
- Ammoniaque ($d = 0,925$) : 570 ml.
- Sel disodique de magnésium de l'EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\text{Mg}$) : 5 g.
- Eau dé-ionisée *q.s.p.* 1 L)

- Solution d'EDTA 0,02 N.

3. Détermination de la dureté totale :

En pratique la dureté totale est défini par : $[TH] = [Mg^{2+}] + [Ca^{2+}]$

Méthode titrimétrique à l'EDTA

Mode opératoire :

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon et trois gouttes de solution de noir ériochrome T. La solution se colore en rouge foncé ou violet, le pH doit être de 10. En maintenant une agitation, verser la solution d'EDTA rapidement au début puis goutte à goutte lorsque la solution commence à virer au bleu. Vérifier que la coloration ne change plus par l'addition d'une goutte supplémentaire d'EDTA.

-Expression des résultats

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en milliéquivalents par litre, est donnée par l'expression : $1\ 000 \times C \times V_1 / V_2$

C = Concentration en milliéquivalents par litre de la solution d'EDTA.

V_1 = Volume en ml de la solution d'EDTA.

V_2 = Volume d'échantillon.

4. Calcium (Ca^{2+})

-Réactifs

- Solution d'EDTA 0,02 N (0,01 M).
- Solution d'hydroxyde de sodium 2 N.
- Indicateur : Muréxide.

-Mode opératoire

Dans une fiole conique de 250 ml, introduire successivement :

- Eau à analyser 50 ml.
- Solution d'hydroxyde de sodium 2 ml.
- Indicateur 0,2 g environ

Ajouter la quantité de la solution d'EDTA nécessaire pour avoir un virage au bleu, soit y le nombre de millilitres versés.

Effectuer le dosage une deuxième fois. Prendre la moyenne des deux résultats, soit V le volume ainsi déterminé.

-Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la teneur en calcium est égale à :

$$\text{Ca (mg/l)} = V \times f \times 0,4008 \times 1\,000 / 50$$

- f : le rapport entre le titre ainsi mesuré de la solution d'EDTA et le titre théorique (0,01 M).

5. Dosage des Chlorures (Cl⁻)**- Méthode de Mohr****- 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

- Acide nitrique pur.
- Carbonate de calcium pur.
- Solution de chromate de potassium à 10 %.
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N.

- Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser (préalablement filtrée si nécessaire). Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %. Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 N utilisés.

- Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

$$\text{Cl (mg/l)} = V \times 10 \times 3,55$$

6. Dosage des sulfates**- Méthode néphélométrique**

- Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 ou de polyvinyl-pyrrolidone. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

- Réactifs

- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.
- Solution de polyvinyl-pyrrolidone (PVP) ou de Tween 20 à 25 %.
- Solution de chlorure de baryum stabilisée :
- Solution étalon de sulfate de sodium à 150 mg/l de SO_4^{2-} .

- Établissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de tubes numérotés, introduire successivement :

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V	VI
Solution étalon de SO_4^{2-} (ml)	0	1	3	5	7	9	10
Eau dé-ionisée (ml)	50	49	47	45	43	41	40
Acide chlorhydrique au 1/10 (ml)	1	1	1	1	1	1	1
Solution de chlorure de baryum stabilisée (ml)	5	5	5	5	5	5	5
Correspondance en mg/l de SO_4^{2-}	0	3	9	15	21	27	30

Agiter 2 ou 3 fois énergiquement. Après 15 minutes de repos, agiter à nouveau et faire la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

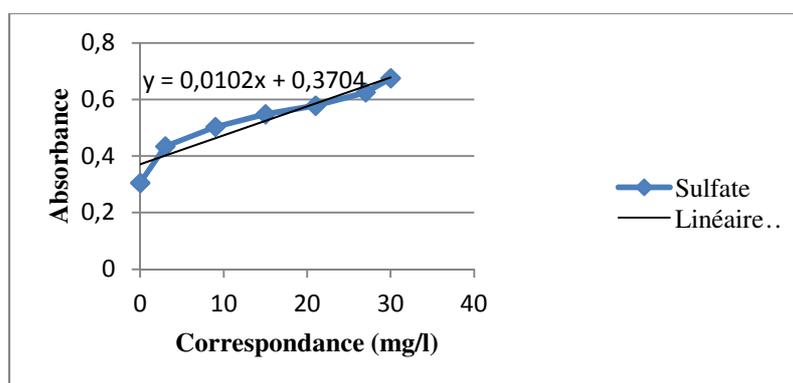


Figure 01 : la courbe d'étalonnage pour les sulfates

- Mode opératoire

Dans un tube, introduire successivement :

- eau à analyser : 50 ml.

- acide chlorhydrique au 1/10 : 1 ml.
- solution de chlorure de baryum + Tween 20 ou solution de chlorure de baryum + PVP : 5 ml

Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin en remplaçant l'eau à analyser par de l'eau dé-ionisée. Agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes. Agiter de nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 39 ml, la courbe donne directement la teneur en sulfates exprimée en milligrammes de SO_4^{2-} par litre d'eau.

7. Les nitrates

- Méthode au salicylate de Sodium

- Principe

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

-Réactifs

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % à renouveler toutes les 24 heures.
- Acide sulfurique concentré. ($d = 1,84$).
- Solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium :
 - Hydroxyde de sodium : 400 g.
 - Tartrate double de sodium et de potassium : 60 g.
 - Eau distillée q.s.p 1000 ml.

Faire dissoudre les sels dans de l'eau. Laisser refroidir et compléter à 1000 ml

A conserver dans un flacon en polyéthylène.

- Solution mère étalon d'azote nitrique à 0,1 g/l :
 - Nitrate de potassium anhydre : 0,722 g.
 - Eau distillée q.s.p 1000 ml.
 - Chloroforme (pour conserver) : 1 ml
- Solution fille étalon d'azote nitrique à 0,005 g/l : amener 50 ml de solution mère à 1000 ml.

Etablissement de la courbe d'étalonnage

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

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV
Solution étalon d'azote nitrique à 0,005 g/l	0	1	2	5	10
Eau bi-distillée (ml)	10	9	8	5	0
Solution de salicylate de Sodium (ml)	1	1	1	1	1
Correspondance en mg/l d'azote nitrique	0	0,5	1	2,5	5

Evaporer à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à 75-80°C (ne pas surchauffer, ni chauffer trop longtemps). Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau bi-distillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm. Soustraire des densités optiques lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage.

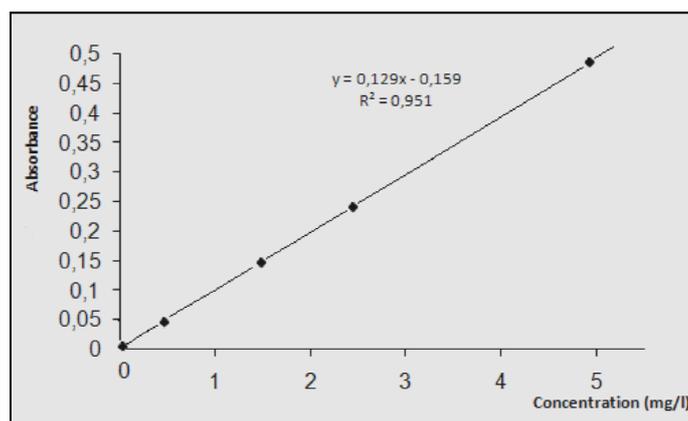


Figure 02 : la courbe d'étalonnage pour les nitrates.

- Mode opératoire

Introduire 10 ml d'eau dans une capsule de 60 ml (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/l, opérer une dilution). Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. Ajouter 1 ml de solution de salicylate de sodium puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage. Préparer de la même façon un témoin avec 10 ml d'eau bi-distillée. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

-Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement le teneur en azote nitrique

exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO₃), multiplier ce résultat par 4,43.

8. Les nitrites

- Méthode au réactif de Zambelli

- Principe

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium et de phénol, forme avec les ions NO₂⁻ un complexe coloré jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

- Réactifs

- Ammoniaque pure (A = 0,925).

- Réactif de Zambelli :

- Solution mère étalon de NO₂⁻ à 0,23 g/l :

- Solution fille étalon d'ion NO₂⁻ à 0,0023 g/l.

Amener 1 ml de la solution mère à 100 ml avec de l'eau distillée.

- Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées à 50 ml et numérotées introduire successivement en agitant après chaque addition :

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V
Solution fille étalon à 0,023 g/l de NO ₂ ⁻ (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau distillée (ml)	50	49	45	40	35	30
Réactif de Zambelli	2	2	2	2	2	2

Attendre 10 minutes et ajouter

Ammoniaque pure (ml)	2	2	2	2	2	2
Correspondance en mg/l de NO ₂ ⁻	0	0,046	0,23	0,46	0,69	0,92

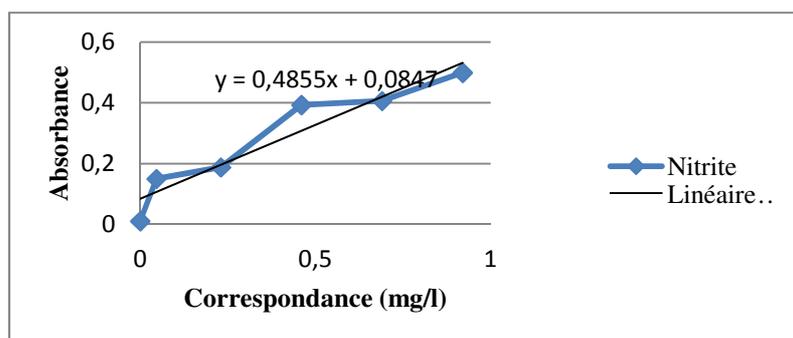


Figure 03 : La courbe d'étalonnage pour les nitrites.

Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 435 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

- Mode opératoire

Prélever 50 ml d'eau à analyser, ajouter 2 ml de réactif de Zambelli. Agiter et laisser au repos 10 minutes. Ajouter ensuite 2 ml d'ammoniaque pure; effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 435 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 50 ml, la courbe donne directement la teneur en NO_2^- , exprimée en milligrammes par litre d'eau. Cette valeur multipliée par 0,305 donne la teneur en azote nitreux, exprimée en milligrammes par litre d'eau.

8. Ammonium

- Méthode colorimétrique (méthode de Nessler)

- Principe

Le réactif de Nessler (iodo-mercurate de potassium alcalin) en présence d'ions ammonium est décomposé avec formation d'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions ammonium.

- Réactifs

- Solution de tartrate double de potassium et de sodium.

- Réactif de Nessler.

- Solution mère étalon à 1 g/l d'ammonium.

- Solution fille étalon à **0,010 g/l** d'ammonium

Amener à l'aide d'eau distillée **10** ml de solution mère à **1 000** ml dans une fiole jaugée

- Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans une série de fioles jaugées de 50 ml numérotées, introduire successivement en agitant après chaque addition :

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V	VI	VII
Solution d'ammonium à	0	1	2	5	10	15	20	25

0,010 mg/l (ml)								
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	40	35	30	25
Solution de tartrate (ml)	2	2	2	2	2	2	2	2
Réactif de Nessler	2	2	2	2	2	2	2	2
Correspondance en mg/l de NH₄⁺	0	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25

Laisser au repos pendant 10 mn. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 420 nm. Construire la courbe d'étalonnage.

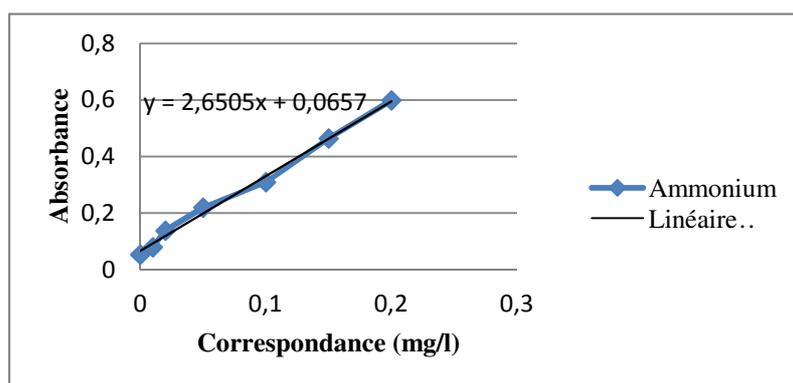


Figure 04 : la courbe d'étalonnage pour l'ammonium.

- Mode opératoire

Ajuster le volume du distillât à 250 ml et introduire 50 ml de distillât dans une fiole jaugée.

Ajouter 2 ml de solution de tartrate, mélanger, puis 2 ml de réactif de Nessler et mélanger.

Préparer un témoin à partir d'eau distillée contenant la même quantité d'acide borique que le distillât. Laisser au repos 10 mn. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 420 nm en tenant compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- Expression des résultats

La courbe donne la teneur en ammonium exprimée en milligrammes dans la prise d'essai de distillât.

9. Ortho-phosphate :

- Principe

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les ortho-phosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique.

- Réactifs

- Solution d'acide sulfurique ($d = 1,84$) à 15 % environ en volume.
- Solution de molybdate d'ammonium à 40 g/l.
- Solution d'acide ascorbique à 20 g/l.
- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium à 2,8 g/l.

-Réactif combiné :

- Solution d'acide sulfurique : 50 ml.
- Solution de tartrate double d'antimoine et de potassium : 5 ml.
- Solution de molybdate d'ammonium : 15 ml.
- Eau dé-ionisée *q.s.p.* 100 ml.

Conserver le réactif au réfrigérateur à 4 °C.

- Solution mère étalon à 50 mg/l de phosphore.
- Solution fille étalon à 1 mg/l de phosphore.

Diluer au 1/50 la solution précédente avec de l'eau dé-ionisée au moment de l'emploi.

- Établissement de la courbe d'étalonnage

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V
Solution étalon de SO_4^{2-} (ml)	0	1	5	10	15	20
Eau dé-ionisée (ml)	20	19	15	10	5	0
Correspondance en mg/l de SO_4^{2-}	0	0,001	0,005	0,010	0,015	0,020

Introduire dans chaque fiole 1 ml de solution d'acide ascorbique, agiter, puis ajouter 4 ml de réactif, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25 ml. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 700 ou 800 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

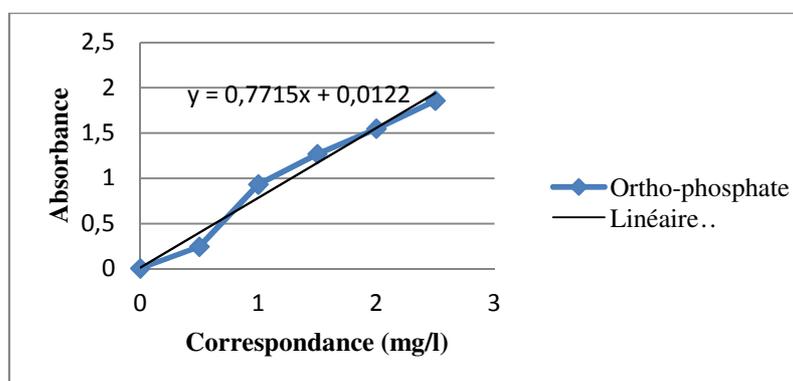


Figure 05 : La courbe d'étalonnage pour les ortho-phosphates.

- Mode opératoire

Vérifier le pH de l'échantillon qui doit être compris entre 2 et 7, l'ajuster si nécessaire. Introduire 20 ml d'eau dans une fiole jaugée de 25 ml, ajouter 1 ml de solution d'acide ascorbique puis poursuivre comme pour l'établissement de la courbe d'étalonnage. Tenir compte de la valeur lue pour le témoin. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

- Expression des résultats

La courbe donne la teneur en phosphore, exprimée en milligrammes pour la prise d'essai.

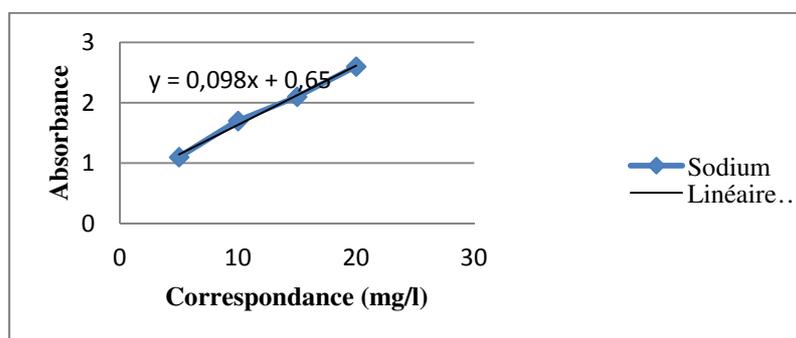
- Courbes d'étalonnage pour le Sodium et Potassium :

Figure 06 : Courbe d'étalonnage pour le Sodium.

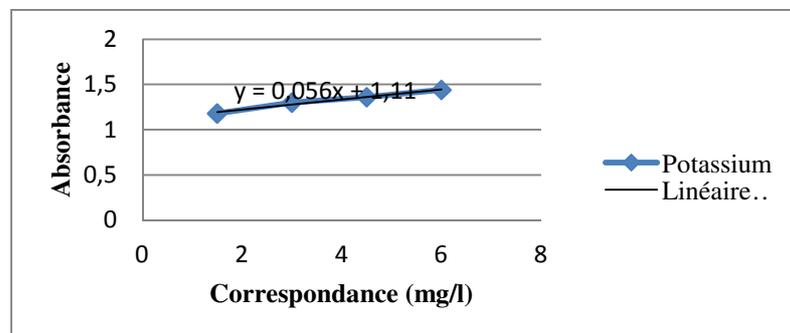


Figure 07 : Courbe d'étalonnage pour le Potassium.



Résumé

Résumé :

L'eau des puits et des forages provenant des nappes d'eau souterraine est naturellement alimentée par la surface, grâce aux précipitations, aux cours d'eau et aux infiltrations, cette eau peut être vulnérable à la contamination qui est liée principalement à l'activité humaine.

Dans cette étude, des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été suivis durant le mois de mars et avril, sur quatre prélèvements provenant des eaux des deux puits et des deux forages, destinés à la consommation humaine. Les résultats des analyses chimiques sont montrés que la variation de la concentration des éléments est étroitement liée à l'interférence de plusieurs facteurs (pluies, substrat géologique, activités anthropiques.) alors que les résultats des analyses microbiologiques nous exposent une contamination fécale des eaux de la région; signalée par les fortes concentrations en coliformes totaux, anaérobies sulfito-réducteurs. Cette pollution affecte l'environnement et constitue une menace majeure sur la santé de ces habitants.

Mots clés : eau de puits, eau de forage, eau souterraine, paramètres physico-chimiques et bactériologiques, contamination fécale.

Abstract:

Waters of wells and drillings, resulting from tablecloths of underground waters is naturally fed by the surface, thanks to the precipitation, to the streams and to the infiltrations; this water can be vulnerable by the contamination which is mainly connected to the human activity.

In this study, physic-chemical and bacteriological parameters were followed during March and April, on four takings resulting from waters of both wells and from both drillings intended for the human consumption.

The results of the chemical analyses are shown that the variation of the concentration of elements is closely linked in the interference of several factors (Rains, geologic substratum, Anthropological activities.) While the results of microbiological analyses expose a fecal contamination waters of the region; indicated by the strong concentrations of total coliforms, Anaerobic Sulfito-reducers. This pollution affects the environment and establishes a major threat on the health of these inhabitants.

Word Keys: Well water, water of drilling, underground water, physic-chemical and bacteriological parameters, fecal contamination.

الملخص:

مياه الابيار ومياه الآبار النابعة من المياه الجوفية تتغذى طبيعيا من المياه السطحية بفعل التساقط, المجاري المائية والمياه المترسبة إلى داخل التربة وهي قابلة للتلوث بفعل الإنسان. في هذه الدراسة المعايير الفزيوكيميائية والبكتريولوجية التي أجريت على أربعة عينات من مياه الابيار ومياه الآبار المخصصة للشرب في منطقة "تاملوكة", خلال شهر مارس و افريل. نتائج التحليل الكيميائي أوضحت أن الاختلاف في تركيز العناصر يرتبط ارتباطا وثيقا بتدخل العديد من العوامل (سقوط الأمطار, الركازة الجيولوجية و الأنشطة البشرية بينما النتائج المتحصل عليها من التحاليل الميكروبيولوجية بينت لنا وجود تلوث لمياه هذا النظام البيئي المائي و التي تظهر من خلال التركيز العالي للعقديات البرازية و بكتيريا المكورات السبحية البرازية . هذا التلوث يؤثر على البيئة ,ويشكل خطرا كبيرا على صحة السكان .

الكلمات المفتاحية : مياه الآبار , المياه الجوفية, المعايير الفزيوكيميائية والبكتريولوجية , التلوث البرازي.