

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

UNIVERSITE du 08 Mai 1945 de GUELMA
FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIERIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en
Hydro-écologie
Option : Santé, Eau et Environnement

Thème

**Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et
des sources de la région de Guelma
(Nord-Est de l'Algérie)**

Présenté par : Melle. Aouissi Amina
(Ingénieur d'état en Génie Biologique)

Devant le jury

PRESIDENT:	Dr. Kachi Slimane	M.C.A. (Université de Guelma)
ENCADREUR:	Dr. Houhamdi Moussa	Prof. (Université de Guelma)
EXAMINATEUR:	Dr. Benouareth Djameleddine	Prof. (Université de Guelma)

Année 2009/2010

Remerciements

*Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude, avant tout à **Dieu** le tout puissant qui m'a aidé et m'a donné le courage pour mener à terme ce modeste travail.*

*Je remercie profondément les deux personnes qui m'ont été pour un énorme soutien: Monsieur **Houhamdi Moussa**, Docteur d'état et Maître de conférences au département de Biologie à l'Université de Guelma, de m'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique, ses conseils ainsi que sa gentillesse qui m'ont permis de réaliser au mieux ce modeste travail, et mon frère **Aouissi Ali** qui m'a beaucoup encouragé et m'accompagné durant toutes mes sorties sur terrain.*

*Mes remerciements vont également à la commission d'examen :
Messieurs : **Kachi Slimane** Docteur d'état et Maître de conférences en hydrogéologie et **Benouareth Djameleddine** Docteur d'état et Professeur en biologie, tout deux enseignants au département de Biologie de l'Université de Guelma et qui m'ont fait l'honneur d'accepter de juger mon travail ; qu'ils soient assurés de ma profonde gratitude.*

Mes remerciements vont également à :

Melle Khadri Samira (magister en hydrogéologie), pour ces aides précieuses.

M. Ounissi Makhlof Docteur d'état et Professeur en biologie et responsable du Laboratoire de Biologie marine de l'Université d'Annaba pour son aide pratique.

M Kebieche Hacene, Chef service de laboratoire de la Direction de la santé de la wilaya de Guelma et Melle. Nadia, pour l'aide qu'ils m'ont apporté dans la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à remercier Melles. Asma, Siham et le groupe de laboratoire de Microbiologie de L'hôpital d'Oued Zenati pour l'aide qu'ils m'ont apporté dans la réalisation des analyses bactériologiques. Je les remercie aussi pour leur accueil et pour l'ambiance exceptionnelle.

Mes remerciements vont aussi à tous les personnels de la Direction d'hydraulique de la wilaya de Guelma qui m'ont facilité l'accès et l'acquisition des données nécessaires à la réalisation de ce travail.

Je ne saurais finir sans remercier tous les enseignants (es) du département de Biologie de l'université de Guelma qui ont contribué à ma formation et les responsables des laboratoires du département, surtout Melle. Rania, Mme. Houria et M. Bouchelaghem El-hadi qui dans les meilleures conditions ont mis à ma disposition tous le matériel nécessaire «réactifs et instruments» pour réaliser les analyses bactériologiques et physico-chimiques de l'eau ramené du site.

Ma reconnaissance va à tous les habitants qui m'ont autorisé à utiliser leurs puits pour effectuer les prélèvements d'eau et à toutes les personnes qui n'ont pas hésité un seul instant à m'encourager même avec un sourire je vous remercie de tous mon cœur.

Enfin, j'exprime également tous le bonheur du monde à mes collègues de promotion du magister Santé, Eau et Environnement.

Dédicaces

Je dédie ce travail à 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 mon grand père: Ahmed

A ma tante: Lynda

*A mes chères sœurs: Saliha, et ses fils : Zakaria, Taki Eddine, Nawal, et ses
filles: Hadil, Darine*

A mes chers frères: Sami et Ali

Et à mes chères amies

Aouissi Amina

SOMMAIRE

Introduction	1
Première partie : Etude bibliographique	
Chapitre 1 : Description de site	
1. Situation géographique	3
2. Géomorphologie et réseau hydrographique	3
3. Cadre géologique	5
4. Cadre hydrogéologique	8
4. 1. Nappe alluvionnaire de Guelma	8
4.1.1. La basse terrasse (terrasse actuelle)	8
4.1.2. La moyenne terrasse	8
4.1.3. La haute terrasse (terrasse ancienne)	9
5. Aspects sociaux économiques	10
6. Cadre biotique	11
6.1. La faune	11
6.2. La flore	11
7. Etude climatologique	11
7.1. Température	12
7.1.1. Températures moyennes mensuelles	12
7.2. Précipitation	13
7.2.1. Répartition des précipitations moyennes mensuelles	13
7.2.2. Répartition saisonnière des précipitations	15
7.2.3. Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles	16
7.3. La relation température – précipitation	17
7.3.1. Diagramme Ombrothermique	17
7.3.2. Synthèse climatique	18
7. 4. L'humidité	19
7. 5. Le vent	20
7. 6. Le bilan hydrique	20

7.6.1. Estimation de l'évapotranspiration	21
7.6.2. Estimation du ruissellement	23
7.6.3. Estimation de l'infiltration	24

Chapitre 2 : Maladies à transmission hydrique

1. Définition	25
2. Les agents bactériens des infections à transmission hydrique	26
2.1. La famille des Enterobactériaceae	26
2.1.1. Le genre <i>Escherichia</i>	27
2.1.2. Le genre <i>Salmonella</i>	31
2.1.3. Le genre <i>Shigella</i>	35
2.1.4. le genre <i>Yersinia</i>	37
2.2. La famille des Vibrionaceae	39
2.2.1. <i>Le genre Vibrio</i>	39
2.3. la famille des Pseudomonadaceae	45
2.3.1. Le genre <i>Pseudomonas</i>	46
2.4. la famille des Micrococaceae	48
2.4.1. Les genres <i>Micrococcus</i>	48
2.4.2. Le genre <i>Staphylococcus</i>	48
2.4.2.1. <i>S.aureus</i>	49
2.4.2 2. Les Staphylocoques à coagulase négatif (SCN)	50
3. Les agents fongiques des infections à transmission hydriques	51
3.1. Caractères généraux des champignons	51
3.2. Pouvoir pathogène	53
3.2.1. Les Candidoses	53
3.2.2. les dermatophytes	54
3.3. Traitement	55

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre 3 : Matériel et méthodes

1. Etude bactériologique	58
1.1. Introduction	58
1. 2. Prélèvement de l'eau	58

1.3. Précautions concernant l'échantillonnage	59
1.4. Méthodes d'analyse	59
1.4.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables	59
1.4.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale	60
1.4.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes	60
1.4.2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux	62
1.4.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)	64
1.4.4. Recherche bactérien et isolement des germes pathogènes	67
1.4.5. Recherche de <i>Candida albicans</i> et des champignons	71
2. Etude physico-chimique	72
2.1. Prélèvement de l'eau	72
2.2. Méthodes d'analyse	73
2.2.1. Paramètres physiques	73
2.2.1.1. La température (T)	73
2.2.1.2. La conductivité électrique (CE)	73
2.2.1.3. Le Potentiel Hydrogène (pH)	74
2.2.1.4. La turbidité	74
2.2.2. Paramètres chimiques	75
2.2.2.1. Oxygène dissous (O ₂)	75
2.2.2.2. Dureté de l'eau	75
2.2.2.3. Alcalinité	76
2.2.2.4. Minéralisation globale d'une eau (T.D.S)	78
2.2.2.5. Les éléments de la pollution	78
2.2.2.5.1. Les éléments majeurs	78
• Le Calcium (Ca ²⁺)	78
• Le Magnésium (Mg ²⁺)	79
• Les chlorures (Cl ⁻)	79
• Le Sodium (Na ⁺)	80
• Le Potassium (K ⁺)	81
• Les sulfates (SO ₄ ²⁻)	81
• Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	82
2.2.2.5.2. Cycle de l'azote	82
• Les nitrates (NO ₃ ⁻)	82

• Les nitrites (NO ₂ ⁻)	83
• L'ion ammonium (NH ₄ ⁺)	84
2.2.2.5.3. Eléments mineurs naturels	84
• L'ortho phosphate (PO ₄ ⁻)	84

Chapitre 4 : Résultats et discussion

1. Analyses bactériologiques	86
1.1. Résultats des dénombrements des micro-organismes de l'eau	86
1.1.1. Germes totaux	87
1.1.2. Coliformes totaux	87
1.1.3. Coliformes fécaux	89
1.1.4. Streptocoques fécaux	91
1.1.5. Les anaérobies Sulfito-réducteurs (ASR)	91
1.1.6. Résultats de l'identification des souches bactériennes	93
1.1.6.1. Caractères morphologiques et coloration de Gram	93
1.1.6.2. Résultats de l'identification biochimique	94
1.1.7. Levures et champignons	97
1.1.8. Identification des levures et des champignons isolés	97
1.1.8.1. Identification des levures	97
1.1.8.2. Identification des champignons	98
2. Analyses physico-chimiques	100
2.1. Les paramètres physiques	100
2.1.1. La température (T)	100
2.1.2. La conductivité électrique (CE)	100
2.1.3. Le Potentiel d'hydrogène (pH)	101
2.1.4. La turbidité	103
2.2. Paramètres chimiques	103
2.2.1. Oxygène dissous (O ₂)	103
2.2.2. Dureté de l'eau	103
2.2.3. Alcalinité	105
2.2.4. Minéralisation globale d'une eau (T.D.S)	105
2.2.5. La salinité	105
2.2.6. Les éléments de la pollution	107
2.2.6.1. Les éléments majeurs	107

• Le Calcium (Ca^{2+})	107
• Le Magnésium (Mg^{2+})	107
• Les chlorures (Cl^-)	107
• Le Sodium (Na^+)	109
• Le Potassium (K^+)	109
• Les sulfates (SO_4^{2-})	109
• Bicarbonates (HCO_3^-)	110
2. 2.6.2. Cycle de l'azote	111
• Les nitrates (NO_3^-)	111
• Les nitrites (NO_2^-)	112
• L'ion ammonium (NH_4^+)	112
2. 2.6.3. Eléments mineurs naturels	113
• L'ortho phosphate (PO_4^-)	113
2.3. Aptitude des eaux des puits à l'irrigation	114
2.4. Analyses en composantes principales (ACP)	117
Conclusion	119
Résumé	121
Abstract	122
ملخص	123
Références bibliographiques	124
Annexes	129

Liste des abréviations

°C :	Degré Celsius
CF :	Coliformes fécaux
CT :	Coliformes totaux
ECEH :	<i>E.coli</i> entérohémorragiques
ECEI :	<i>E.coli</i> entéroinvasives
ECEP :	<i>E.coli</i> entéropathogènes
ECET :	<i>E.coli</i> entérotoxiques
ES :	Epuisement du stock
D/C :	Double concentration
°F :	Degré Française
Fig :	Figure
g/l :	Gramme par litre
h :	Heure
I :	Infiltration
IND :	Indole
Km ² :	Kilomètre carré
L :	Litre
Md :	Mégadaltons
mg/l :	Milligramme par litre
ml :	Millilitre
m/s :	Mètre par second
MTH :	Maladies à transmission hydrique
n.m :	Nanomètre
N.P.P :	Nombre le plus probable
OMS :	Organisation mondiale de santé
Q ₂ :	Quotient pluviométrique d'Emberger
S/C :	Simple concentration
SF :	Streptocoque fécaux
TDA :	Tryptophane Désaminase
µS :	Micro siemens
VP :	Voges Proskawer

Liste des figures

Fig. 1.	Carte de situation géographique de la zone d'étude	4
Fig. 2.	Réseau hydrographique	5
Fig. 3.	Géomorphologie de la région de Guelma	6
Fig. 4.	Carte géologique de la région de Guelma	7
Fig. 5.	Coupe lithologique de la nappe alluviale de Guelma	10
Fig. 6.	Evolution des températures moyennes mensuelles. Station de Guelma (1994 – 2008)	13
Fig. 7.	Evolution des précipitations moyennes mensuelles. Station de Guelma (1994 – 2008)	14
Fig. 8.	Evolution des précipitations annuelles. Station de Guelma (1994 - 2008)	15
Fig. 9.	Distributions Inter-annuelles des précipitations mensuelles (Année plus sèche 1999/2000 et année plus humide 2002/2003)	16
Fig. 10.	Diagramme Ombrothrmique de la région de Guelma (1994-2008)	17
Fig. 11.	Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1994-2008)	18
Fig. 12.	Variations des moyennes mensuelles de l'humidité relative. Station de Guelma (1994-2008)	19
Fig. 13.	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Guelma (1994 - 2008)	23
Fig. 14.	Localisation des points de prélèvement	57
Fig. 15.	Recherche et dénombrement des germes révivifiables	61
Fig. 16.	Recherche et dénombrement des coliformes	63
Fig. 17.	Recherche et dénombrement des Streptocoque fécaux	65
Fig. 18.	Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfito-réducteurs (ASR)	66
Fig. 19.	Evolution du nombre de coliformes totaux dans les sources	88
Fig. 20.	Evolution du nombre de coliformes totaux dans les puits	88
Fig. 21.	Evolution du nombre de coliformes fécaux dans les sources	90
Fig. 22.	Evolution du nombre de coliformes fécaux dans les puits	90
Fig. 23.	Evolution du nombre des streptocoques fécaux dans les sources	92
Fig. 24.	Evolution du nombre de streptocoques fécaux dans les puits	92
Fig. 25.	Bâtonnets Gram (-)	93
Fig. 26.	Cocci Gram (+)	93
Fig. 27.	Profil biochimique de la souche <i>Klebsiella pneumoniae</i>	96
Fig. 28.	Profil biochimique de la souche <i>Serratia odorifera</i>	96

Fig. 29.	Profil biochimique de la souche <i>Aeromonas hydrophila</i> 1	96
Fig. 30.	Profil biochimique de la souche <i>Acinetobacter baumannii</i>	96
Fig. 31.	<i>Aspergillus fumigatus</i>	99
Fig. 32.	<i>Aspergillus flavus</i>	99
Fig. 33.	<i>Microsporum canis</i>	99
Fig. 34.	Evolution de la température dans les eaux des puits et des sources	102
Fig. 35.	Evolution de la conductivité électrique (CE) dans les eaux des puits et des sources	102
Fig. 36.	Evolution du pH dans les eaux des puits et des sources	102
Fig. 37.	Evolution de la turbidité dans les eaux des puits et des sources	104
Fig. 38.	Evolution de l'oxygène dissous dans les eaux des puits et des sources	104
Fig. 39.	Evolution de la dureté de l'eau dans les puits et les sources	104
Fig. 40.	Evolution des TAC dans les eaux des puits et des sources	106
Fig. 41.	Evolution des TDS dans les eaux des puits et des sources	106
Fig. 42.	Evolution de la salinité dans les eaux des puits et des sources	106
Fig. 43.	Evolution du taux de calcium dans eaux des puits et des sources	108
Fig. 44.	Evolution du taux de magnésium dans les eaux des puits et des sources	108
Fig. 45.	Evolution des chlorures dans les eaux des puits et des sources	108
Fig. 46.	Evolution du taux de sodium dans les eaux des puits et des sources	109
Fig. 47.	Evolution du taux de potassium dans les eaux des puits et des sources	110
Fig. 48.	Evolution du taux de sulfate dans les eaux des puits et des sources	110
Fig. 49.	Evolution de bicarbonate dans les eaux des puits et des sources	111
Fig. 50.	Evolution du taux des nitrates dans les eaux des puits et des sources	112
Fig. 51.	Evolution du taux des nitrites dans les eaux des puits et des sources	113
Fig. 52.	Evolution du taux d'ammonium dans les eaux des puits et des sources	113
Fig. 53.	Evolution du taux d'orthophosphate dans les eaux des puits et des sources	114
Fig. 54.	Diagramme de Richards	116
Fig. 55.	Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe F1 et l'axe F2.	117
Fig. 56.	Projection des individus sur le plan F1-F2.	118

Liste des tableaux

Tab. 1.	Coordonnés de la station météorologique de Guelma (ONM)	12
Tab. 2.	Température moyenne mensuelle de la station de Guelma (1994 - 2008)	12
Tab. 3.	Précipitations moyennes mensuelles (station de Guelma 1994 - 2008)	14
Tab. 4.	Répartition de précipitations moyennes saisonnières (station de Guelma 1994 -2008)	15
Tab. 5.	Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles (Année la plus sèche 1999/2000 et l'année la plus humide 2002/2003)	16
Tab. 6.	Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station de Guelma (1994 – 2008)	19
Tab. 7.	Moyenne mensuelle et moyenne annuelle de la vitesse des vents à la station de Guelma (1994- 2008)	20
Tab. 8.	Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Guelma (1994/2008)	22
Tab. 9.	Infections transmissibles par l'eau ou étroitement liées à l'eau	25
Tab. 10.	Caractères biochimiques d' <i>Escherichia</i>	27
Tab. 11.	Propriétés des <i>E.coli</i> responsables de diarrhées	30
Tab. 12.	Caractères biochimiques différentiels des différentes souches de <i>Shigella</i>	35
Tab. 13.	caractères distinctifs des biotypes de <i>Vibrio cholerae</i>	41
Tab. 14.	Présentation des points de prélèvement (Puits)	56
Tab. 15.	Présentation des points de prélèvement (Sources)	56
94	Caractères macroscopiques et microscopiques des colonies bactériennes isolées de l'eau des puits et des sources	Tab. 16.
95	Résultats de l'identification par la galerie API 20	Tab. 17.
97	Résultats de la recherche des levures et des champignons au niveau des différents sites	Tab. 18.
97	Résultats des tests d'identification des Candida	Tab. 19.
98	Aspect macroscopique de quelques espèces fongiques isolées	Tab. 20.
101	Relation entre la conductivité et la minéralisation	Tab. 21.
115	Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).	Tab. 22.

Etude bibliographique

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.

L'altération de l'environnement naturel, notamment le milieu aquifère est devenu progressivement une préoccupation mondiale. En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine, du fait de son exploitation relativement facile. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un problème énorme de détérioration de la qualité de cette source souterraine, souvent existante en quantité limitée. Le mécanisme de cette pollution des eaux souterraines est souvent un processus évolutif dans l'espace et dans le temps et il est difficilement maîtrisable.

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population (Roux, 1987).

Vue cette importance majeure, nous avons essayé d'étudier et de déterminer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de certains puits et sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie) et ceci dans le but d'apprécier l'évolution de sa qualité et son impact sur l'environnement et sur la santé publique.

Nous avons structurés 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 microbiologiques (recherche et

dénombrement de microorganismes) et physico-chimiques de l'eau de trois puits et de trois sources de notre wilaya.

- Le quatrième et le dernier chapitre, mentionne sous formes de graphes les différents résultats obtenus au cours de notre étude pratique. Il est esquissé par une conclusion finale.

Chapitre 1

1. Situation géographique :

La wilaya de Guelma est située au Nord-Est de l'Algérie à 60 km environ de la Méditerranée. Elle est limitée au Nord par la wilaya d'Annaba, au Nord-Ouest par la wilaya de Skikda, au Nord-Est par la wilaya d'El Tarf, à l'Ouest par la wilaya de Constantine et au Sud-Est par la wilaya de Souk Ahras et Oum-El Bouagui. Elle s'étend sur une superficie de 3686,84 Km². (DPAT, 2008).

La zone d'étude se situe dans la plaine de Guelma. Ses limites naturelles sont :

- Au Nord; les monts de Houara (932 m);
- Au Nord-Ouest Djebel Debar (1408 m);
- Et à l'Est, la chaîne de Beni-Mezline et Beni Salah. (Fig. 1).

2. Géomorphologie et réseau hydrographique :

La région de Guelma est un ancien bassin d'effondrement longtemps fermé où s'est entassé un ensemble varié de sédiments allant du miocène au quaternaire. Les mouvements tectoniques du plio-quaternaire ont joué un rôle important dans la morphogenèse de la région. En effet, au cours de cette période se sont produits de petits soulèvements donnant naissance à des terrasses et des cônes de déjection. L'extension de ces terrasses fluviales et leur discontinuité le long de la Seybouse témoignent de la complexité morphologique du bassin. Du point de vue morphométrique, le domaine étudié est constitué d'une plaine de faible altitude (environ 150 m à l'Est et 300 m à l'Ouest). (Zeddouri, 2003).

Le réseau hydrographique (Fig. 2) est très dense. Il est constitué principalement de l'Oued Seybouse (57,15 km) et ses majeurs affluents dont l'écoulement général est d'Ouest en Est pour l'Oued Bouhamdane (45,37 km) et du Sud vers le Nord pour l'Oued Cherf (36,46 m), l'Oued Zimba, l'Oued Maiz, l'Oued Skhoune, l'Oued Boussora, l'Oued Halia et l'Oued Melah. L'Oued Bouhamdane et l'Oued Cherf drainent respectivement des sous bassins de 1105 km² et 2845 km² à la station de Medjez Amar, point de confluence et de naissance de l'Oued Seybouse. (A.B.H-C.S.M, 2005).

Le réseau hydrographique emprunte surtout les axes des principaux plissements dans les couches marneuses facilement érodables. D'autres affluents suivent le sens des failles affectant les formations mio-pliocène. (Zeddouri, 2003).

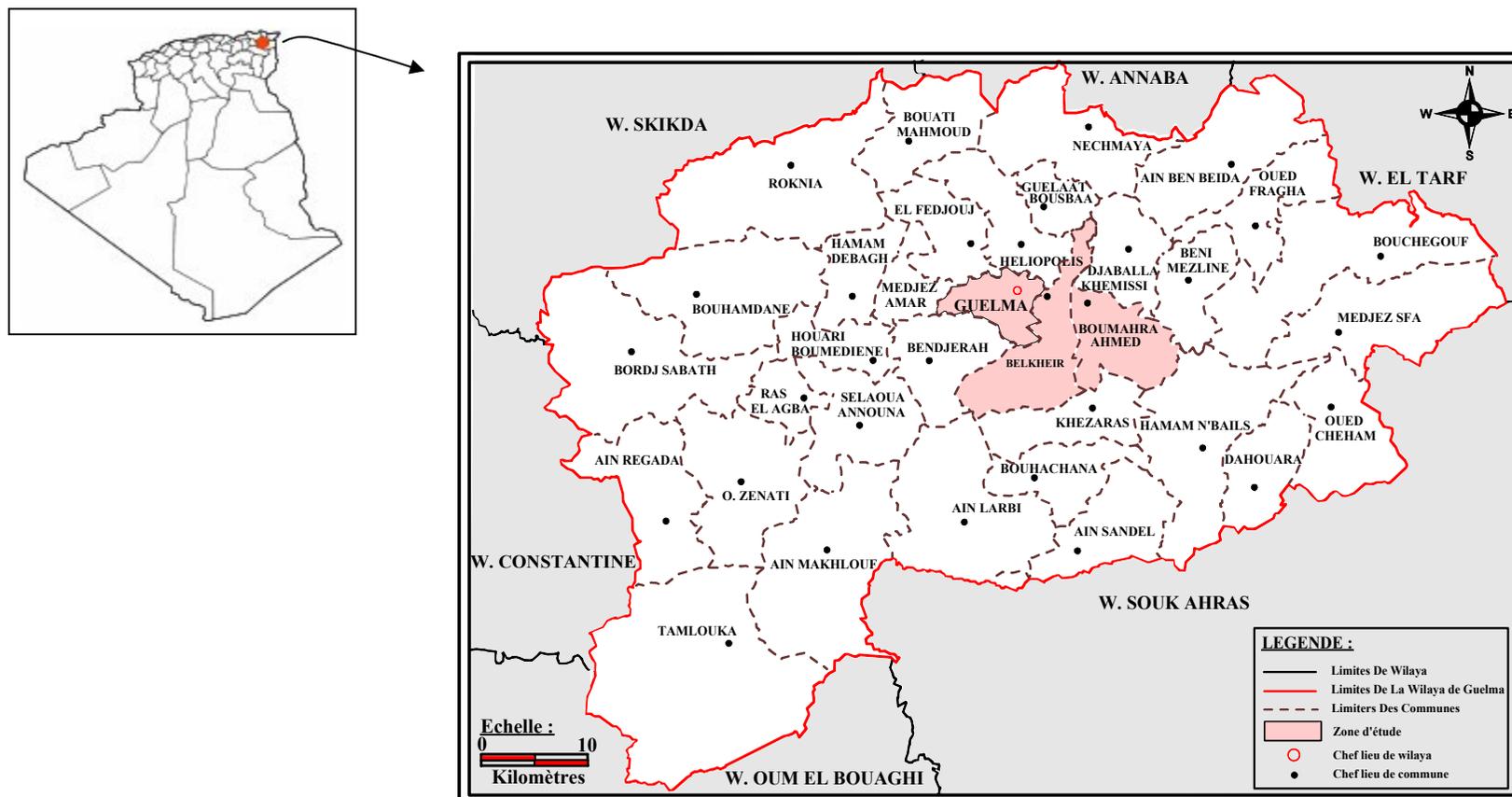


Fig.1. Carte de situation géographique de la zone d'étude (DPAT, 2008)

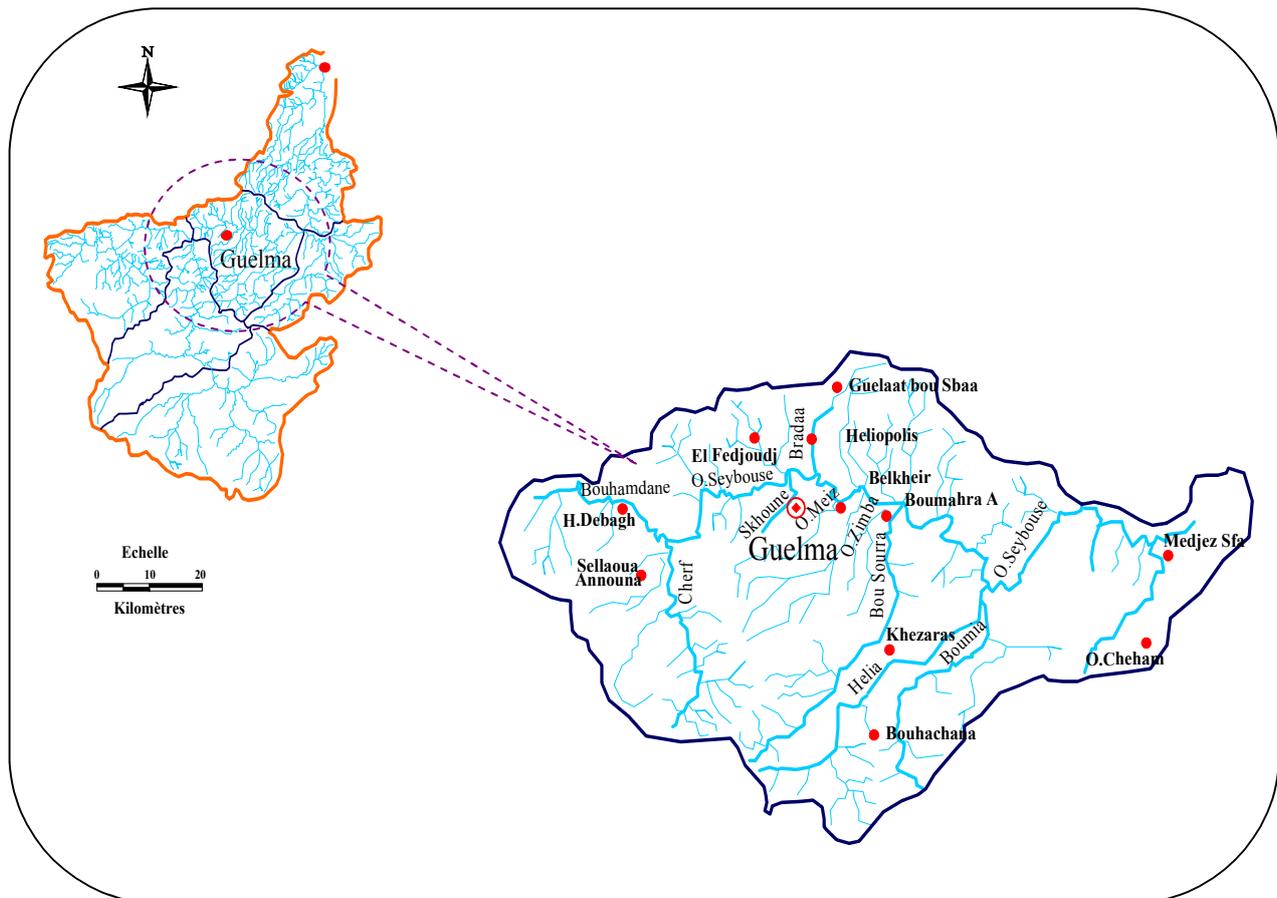


Fig. 2. Réseau hydrographique (A.B.H-C.S.M, 2005)

Le relief montagneux prédominant entoure trois dépressions importantes: la dépression de Tamlouka au Sud, celle de Guelma au centre et la dépression de Bouchegouf au Nord –Est (Fig. 3). (Benmarce, 2007).

3. Cadre géologique :

La géologie de la région de Guelma est caractérisée par des formations allant du Quaternaire au Trias, présentant ainsi une lithologie très variée qui comprend essentiellement: les alluvions (sable, gravier, cailloutis,...), les grès, les marnes, les argiles, les flyschs et les calcaires. La dépression qui forme le réservoir aquifère de la vallée de Guelma est remplie par les alluvions d'âge Plio-quaternaire. Ce remplissage constitue l'ancienne et l'actuelle terrasse de la vallée de la Seybouse. (Fig. 4). (Khadri, 2004, Brahmia et Kirratti, 2006).

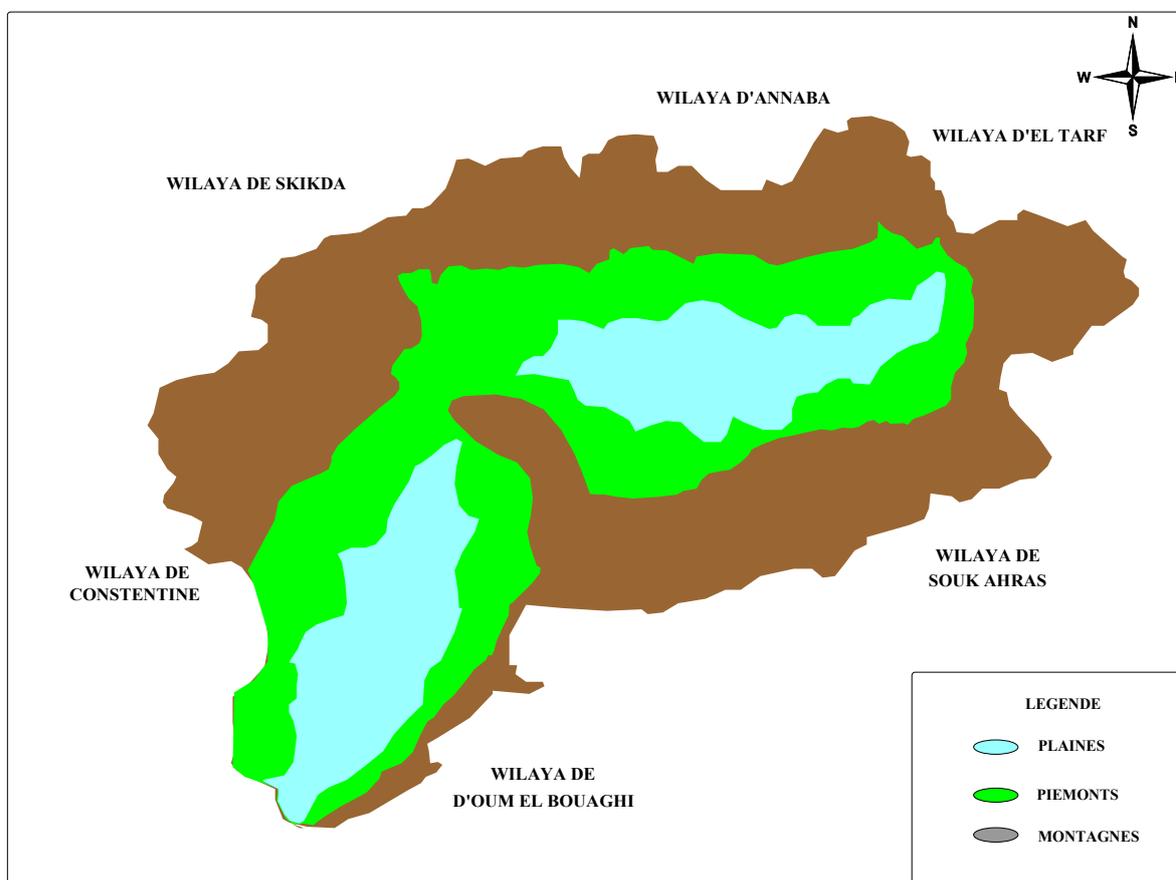


Fig. 3. Géomorphologie de la région de Guelma (Benmarce, 2007)

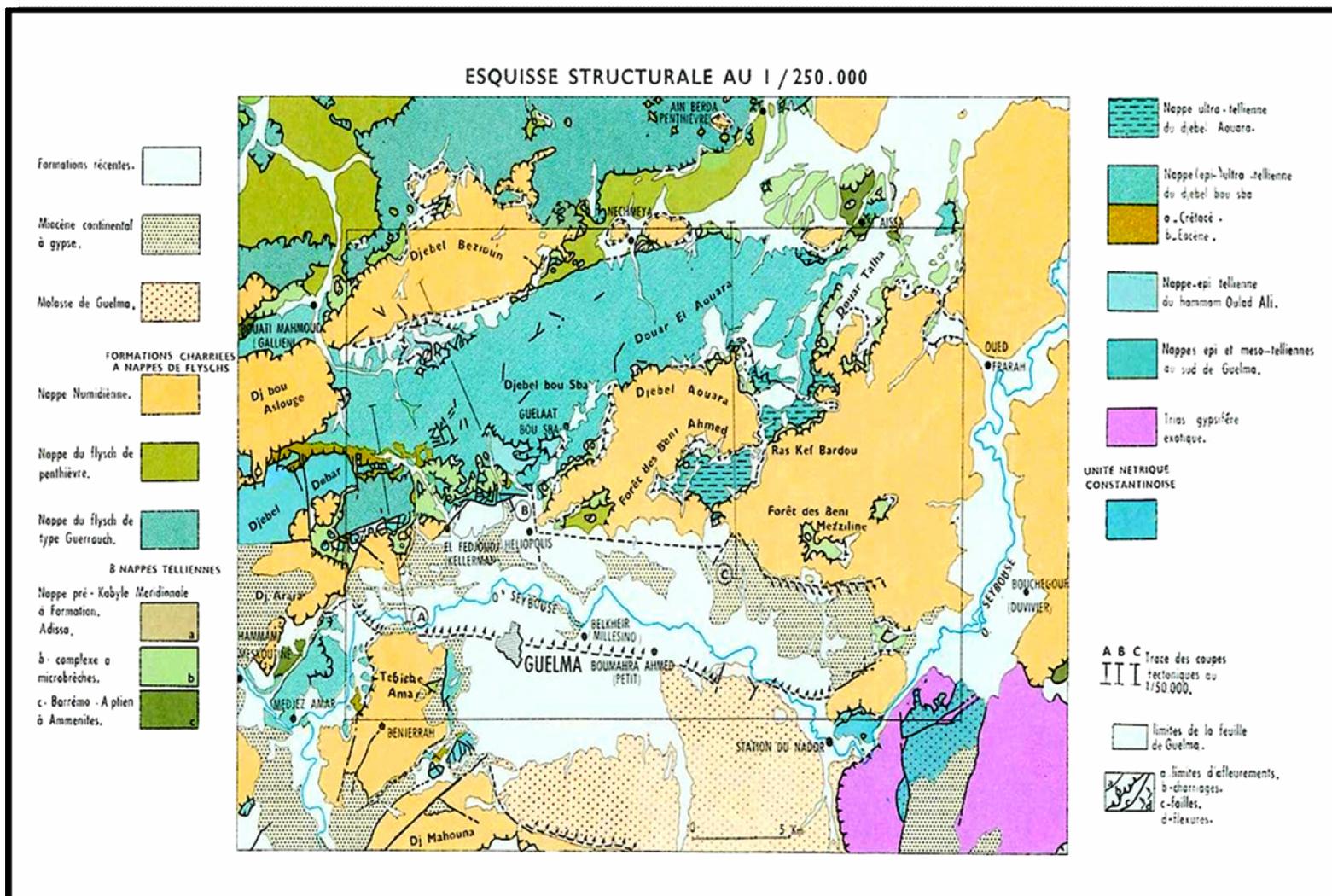


Fig. 4. Carte géologique de la région de Guelma. Extraite de la carte de géologie de Guelma (Vila, 1980)

4. Cadre hydrogéologique :

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique de la région de Guelma. D'après les études géophysiques (ENAGEO, 1971, Algéo, 1997 et C.R.A.A.G, 2004), le système hydrogéologique de la région renferme les six aquifères suivants:

- Nappe alluvionnaire de Guelma (située dans la zone d'étude);
- Nappe alluvionnaire de Bouchegouf;
- Nappe des calcaires néritiques et sénoniens d'Héliopolis;
- Nappe des calcaires éocènes de Ras El Agba- Sellaoua-Announa
- Nappe des calcaires de Bouhechena;
- Nappe des calcaires de Tamlouka.

4. 1. Nappe alluvionnaire de Guelma :

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. Elle est sillonnée par l'Oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador. (Djabri, 1996). C'est une zone d'effondrement comblée par des dépôts miocènes (argiles et marnes à gypses) et quaternaires (alluvions hétérogènes sous forme de terrasses). Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et des apports latéraux du bassin versant de la Seybouse. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute). (Fig. 5).

4.1.1. La basse terrasse (terrasse actuelle):

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

4.1.2. La moyenne terrasse :

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

4.1.3. La haute terrasse (terrasse ancienne):

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

La plus grande quantité en eau de la nappe est exploitée par le biais de forages de différentes profondeurs, de puits, et de captage de sources.

➤ **Les forages :**

D'après le bilan actuel de la D.H.W de Guelma, on a dénombré près de 23 forages répartis à travers la plaine, mobilisant annuellement un volume total de 12. 8 Hm³/an. Ils sont essentiellement destinés à l'alimentation en eau potable et aussi pour l'industrie et l'agricole.

➤ **Les puits :**

A travers la superficie de la zone d'étude, il existe un nombre considérable de puits, près de 32 captent les surfaces de la nappe superficielles, dont le rôle est limité uniquement à satisfaire les besoins domestiques et l'irrigation de quelques surfaces agricoles, les débits d'exploitations sont peu significants. Ces puits mobilisent annuellement un volume de 0.37 Hm³/an. (D.H.W.G, 2008).

➤ **Les sources :**

Près de 19 sources, dont la plus part sont captées. Le débit de ces sources généralement varie entre 0,1 à 3 l/s Ces sources mobilisent annuellement un volume de 0.57 Hm³/an. (D.H.W.G, 2008).

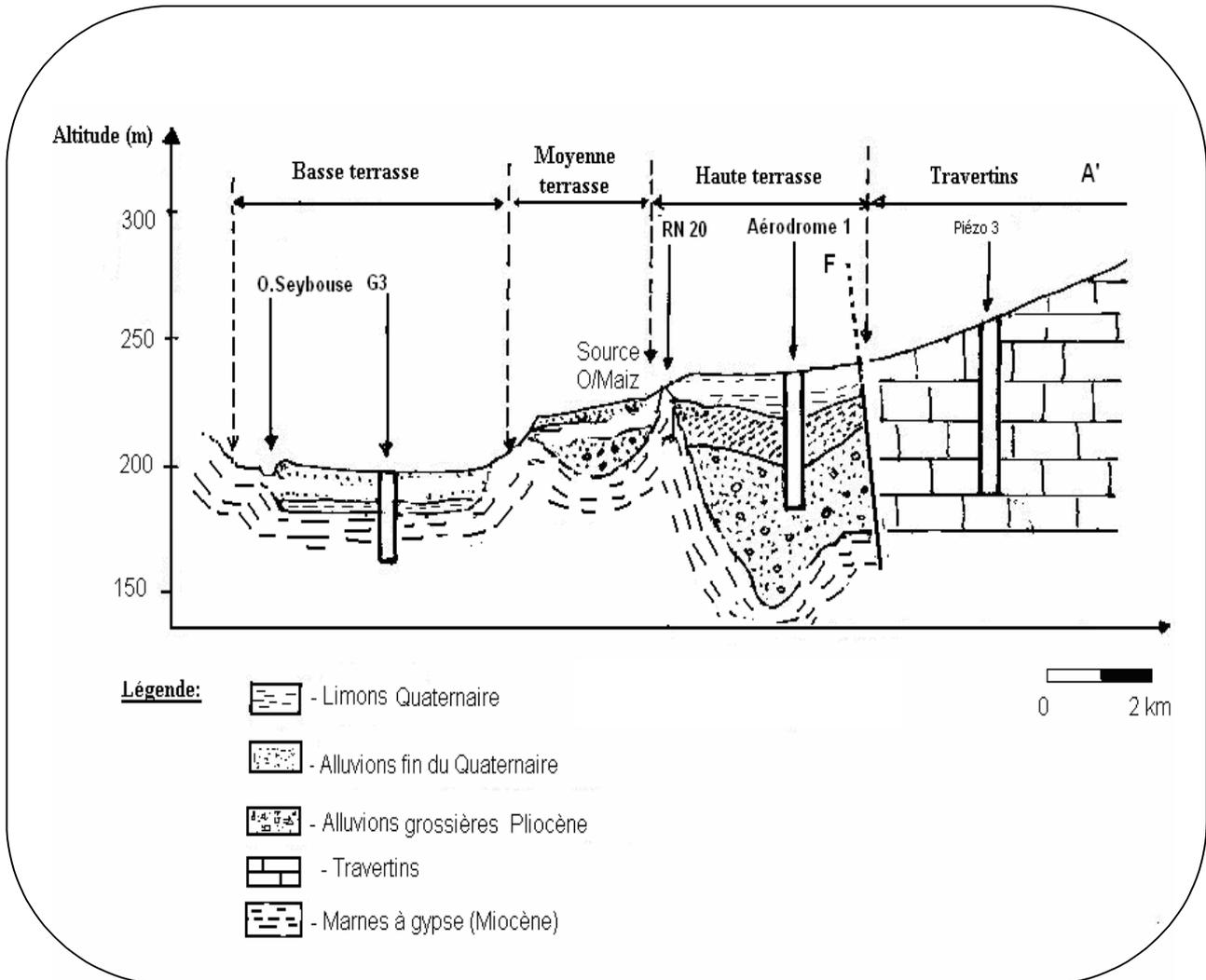


Fig. 5. Coupe hydrogéologique de la nappe alluviale de Guelma
(Gaud, 1974 in Benmarce, 2007)

5. Aspects sociaux économiques :

La région de Guelma est une région agricole connue par les cultures de céréales, de tomate, de pomme de terre et des agrumes. On signale aussi l'importance de l'élevage de bétail et de volailles. L'activité industrielle est à ne pas négliger. Plusieurs unités industrielles ont été implantées, à titre d'exemple : la Sucrierie, l'Unité du Céramique, la Sonacom (fabrication des cycles et cyclomoteurs), la Laiterie (Guelmoise), Unité de fabrication des pâtes, et la Conserverie de tomate industrielle (CAB Amor Benamor). En plus, il existe un nombre intéressant de mines et de carrières comme celles du Kaolin du djebel Debagh, de marbres utilisés par l'unité de l'ENAMARBRE de Boumahra Ahmed. (Zeddouri, 2003, Khadri, 2004, Brahmia et Kirratti, 2006).

6. Cadre biotique :

On ne peut pas parler de la végétation en occultant la faune, des lors que les espèces végétales et animales se regroupent suivant leurs affinités écologiques, précisément en des ensembles structurés appelés (biocénoses). La région de Guelma recèle des écosystèmes différents (Forêt, Oueds, couvert végétal,...), on y trouve une biodiversité significative.

6.1. La faune :

La faune dans cette région est très diversifiée, parmi les espèces existantes, on peut citer:

- **Les mammifères** : Loups, Sanglier, Chacal, Renard, Lièvre, Lapin, Gerboise, Cerf de Barbarie qui est une espèce protégée.
- **Les oiseaux** : Perdix gambara, Caille des blés, la Tourterelle, Chardonneret (espèce protégée), Moineau, Hibou, Palombe, la Cigogne blanche, le Héron garde-bœufs, le Héron cendré,....
- **Les reptiles** : Tortue, Lézard, Couleuvre.

6.2. La flore :

La couverture végétale est représentée par une dominance de peuplements forestiers qui occupent une superficie de 107.704 hectares avec un pourcentage de 28 % de la superficie de la wilaya. Cette étendue de végétation abrite des espèces floristiques représentées essentiellement par : le Chêne liège, le Chêne vert, l'Eucalyptus, le Cyprès, le Pin d'Alep, le Pin Maritime, le Bruyère, l'Arbousier, le Lentisque, le Filaire, le Myrte, le Genet, le Calicotum, et le Ronce. (DPAT, 2008).

7. Etude climatologique :

Les facteurs climatiques jouent un rôle déterminant dans le régime des cours d'eau, et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines, notamment les précipitations qui constituent le facteur essentiel intervenant par leurs répartitions annuelles et mensuelles et journalières. Ces différents aspects des précipitations plus ou moins modifiés par l'effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition), et climatique (température et évapotranspiration), permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique de la région d'étude. (Solter, 1999).

Les données météorologiques récoltés de la station de Guelma (ONM), sur 15 ans (1994 - 2008) dont les coordonnées sont résumées dans le Tableau 1, nous permettent de caractériser le climat de la région.

Tab. 1. Coordonnées de la station météorologique de Guelma (ONM)

Période d'observation	Longitude	Altitude (m)	Latitude
1994 - 2008	07° 28' E	227	36° 28'

7.1. 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 (Emsalem, 1986). Elle dépend de l'obscurité, de l'altitude, de l'exposition, de la présence d'une grande masse d'eau (l'influence des mers et des lacs sur la régulation des températures), du sol, des formations végétales en place (les végétaux amortissant les variations de températures).

L'étude des températures moyennes mensuelles et annuelles est primordiale, car c'est elle qui nous permet d'évaluer le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. (Emsalem, 1986).

7.1.1. Températures moyennes mensuelles :

Les données des températures disponibles sont des valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau de la station de Guelma, sur une période de 15 ans. Ces valeurs sont consignées dans le tableau 2, leur répartition est illustrée sur la (Fig. 6).

Tab. 2. Température moyenne mensuelle de la station de Guelma (1994 - 2008)

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

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.

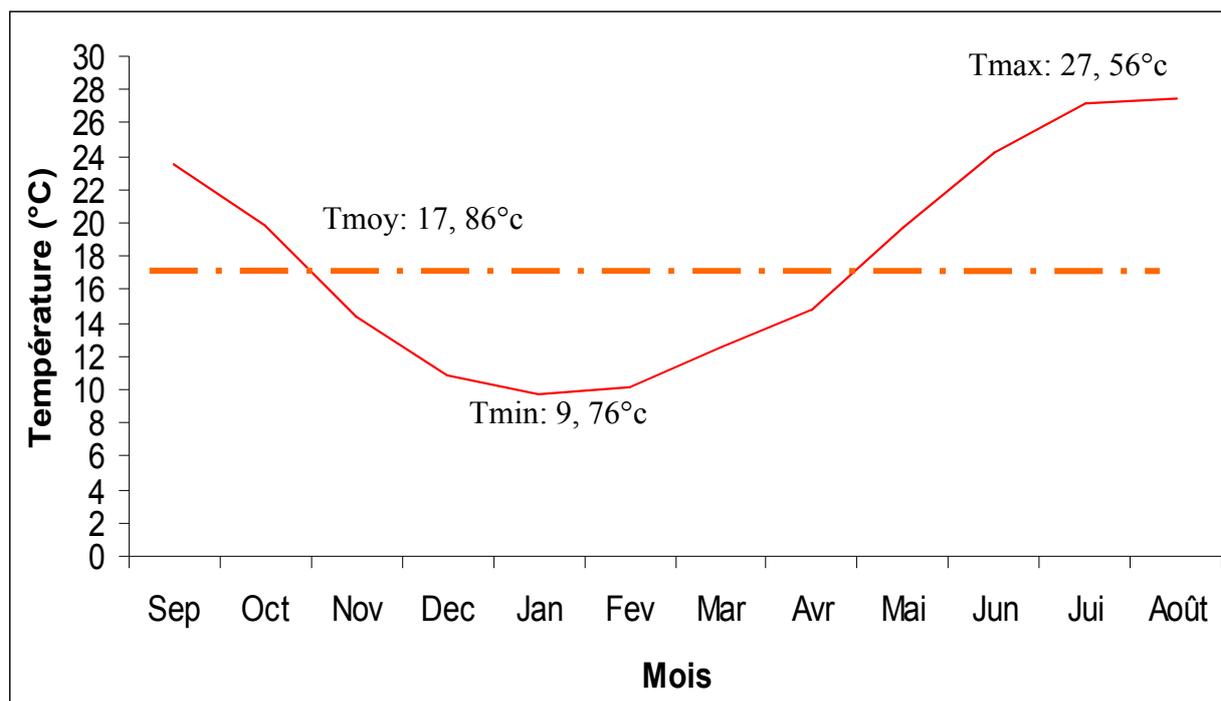


Fig. 6. Evolution des températures moyennes mensuelles. Station de Guelma (1994 – 2008)

7.2. Précipitation :

Avec la température, les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat. (Faurie *et al.*, 1983). Le terme de précipitation désigne tout type d'eau qui tombe du ciel, sous forme liquide ou solide. Cela inclut la pluie, la neige, la grêle, etc. Ces divers types de précipitations sont le plus souvent mesurés par le pluviomètre usuel, elles représentent l'épaisseur de la couche d'eau qui resterait sur une surface horizontale s'il n'y avait ni écoulement, ni évaporation. (Dajoz, 2000).

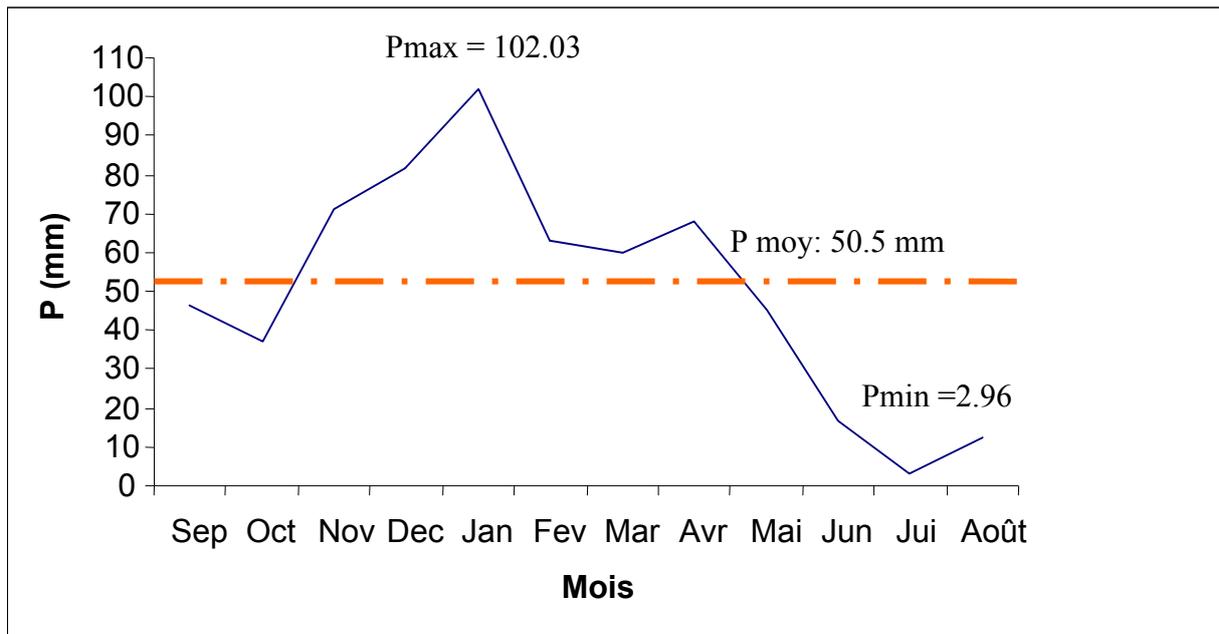
7.2.1. Répartition des précipitations moyennes mensuelles :

La répartition mensuelle des précipitations au cours de l'année est en relation étroite avec le régime thermique. Elle influe directement sur le régime des cours d'eau ainsi que sur les fluctuations des niveaux des nappes phréatiques.

Les précipitations mensuelles recueillies à la station météorologique de Guelma sur une période de 15 ans (1994 - 2008) sont récapitulées dans le Tableau 3, leur répartition est illustrée par la (Fig. 7). La valeur maximale est observée au mois de janvier avec, 102.03 mm et la valeur minimale au mois de juillet avec 2.96 mm.

Tab. 3. Précipitations moyennes mensuelles (station de Guelma 1994 - 2008)

Août	Jui	Jun	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	Mois
12.4 7	2.9 6	16.4 5	45.0 5	67.7 1	60.1 2	62.7 7	102.0 3	81. 8	71.2 5	37.0 5	46.4 1	P(mm))

**Fig. 7. Evolution des précipitations moyennes mensuelles. Station de Guelma (1994 – 2008)**

Cependant, l'analyse des variations inter-annuelles des précipitations nous montre une évolution en dents de scies dont les pics sont notés pendant les années 2002 - 2003 et 2007. (Fig. 8).

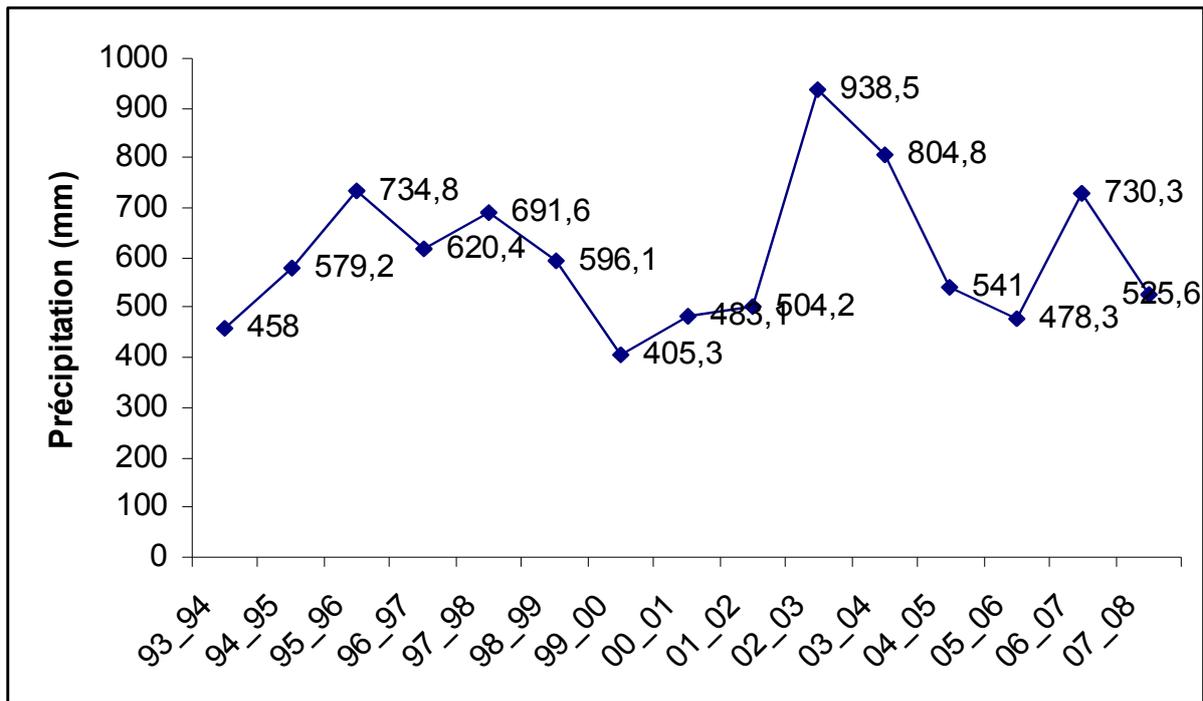


Fig. 8. Evolution des précipitations annuelles. Station de Guelma (1994 - 2008)

7.2.2. Répartition saisonnière des précipitations :

La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les quatre saisons agricoles :

- L'automne (septembre, octobre, novembre)
- L'hiver (décembre, janvier, février).
- Le printemps (mars, avril, mai).
- L'été (Juin, juillet, août).

Tab. 4. Répartition des précipitations moyennes saisonnières (station de Guelma, 1994 - 2008)

Eté			Printemps			Hiver			Automne			Saison
Août	Jui	Jun	Mai	Avr	Mar	Feb	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	Mois
12.47	2.96	16.45	45.05	67.71	60.12	62.77	102.03	81.8	71.25	37.05	46.41	P(mm)
10.63			57.63			82.20			51.57			Moy (mm)

Ce tableau montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 82.20 mm/mois, ce qui produit une recharge de la nappe et une dilution des éléments chimiques. Tandis que l'été est sec avec une faible recharge de 10.63 mm/mois, ce qui produit une évaporation et une concentration des éléments chimiques. Il en ressort que janvier est le mois le plus pluvieux et que juillet est le mois le plus sec.

7.2.3. Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles:

Les variations temporelles des précipitations montrent une grande différence entre l'année la plus humide: (2002 /2003) avec 938,5 mm/an et l'année la plus sèche (1999/2000) avec 405,3 mm (Tab. 5, Fig. 9).

Tab. 5. Distribution inter annuelle des précipitations mensuelles (Année la plus sèche 1999/2000 et l'année la plus humide 2002/2003)

Août	Jui	Jun	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	Mois Année
19.5	00	15.2	139.3	34.6	15.5	21.1	42.4	37.8	16.4	47	16.5	99-00
0.2	00	00	41.9	187.6	19.9	104.6	238.3	200.3	25.1	48.6	72	02-03

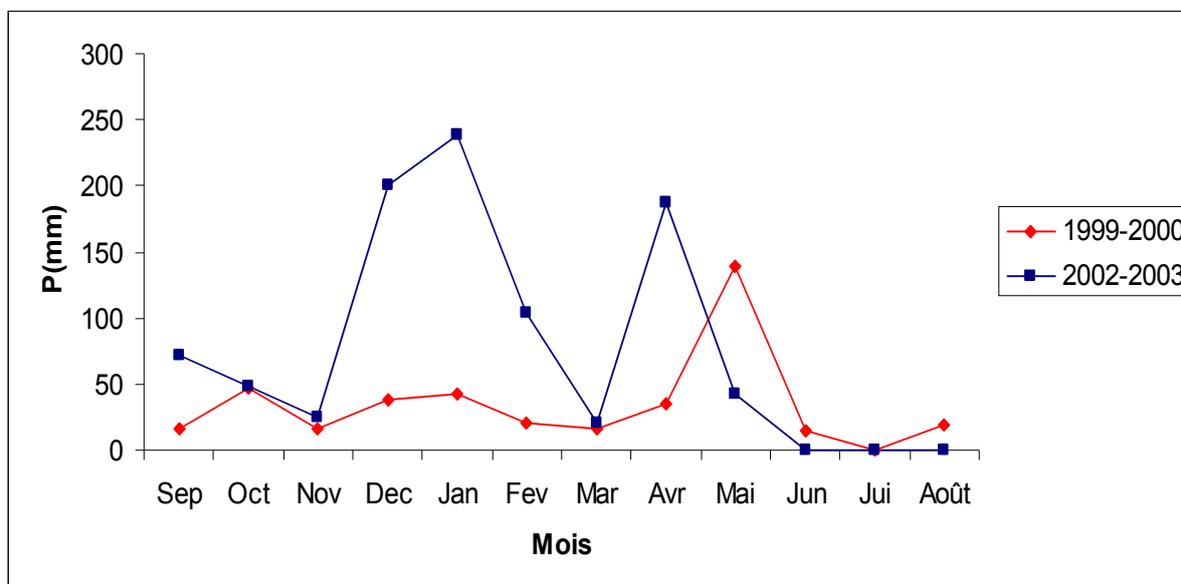


Fig. 9. Distributions inter-annuelles des précipitations mensuelles (Année plus sèche 1999/2000 et année plus humide 2002/2003)

7.3. La relation température – précipitation :

7.3.1. Diagramme Ombrothermique :

Selon Bagnouls et Gaussen, une période sèche est due au croisements des courbes de température et des précipitations. Cette relation permet d'établir un graphe pluviométrique sur le quel les températures sont portées à une échelle double des précipitations. (Fig. 10).

D'après ce diagramme établi à partir données des températures et des précipitations de la station de Guelma, on peut distinguer deux périodes;

- La première froide et humide qui s'étale sur 8 mois, du mois d'octobre jusqu'au mois de mai.
- La seconde chaude et sèche qui s'étale sur 4 mois, du mois de juin jusqu'au mois de septembre.

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

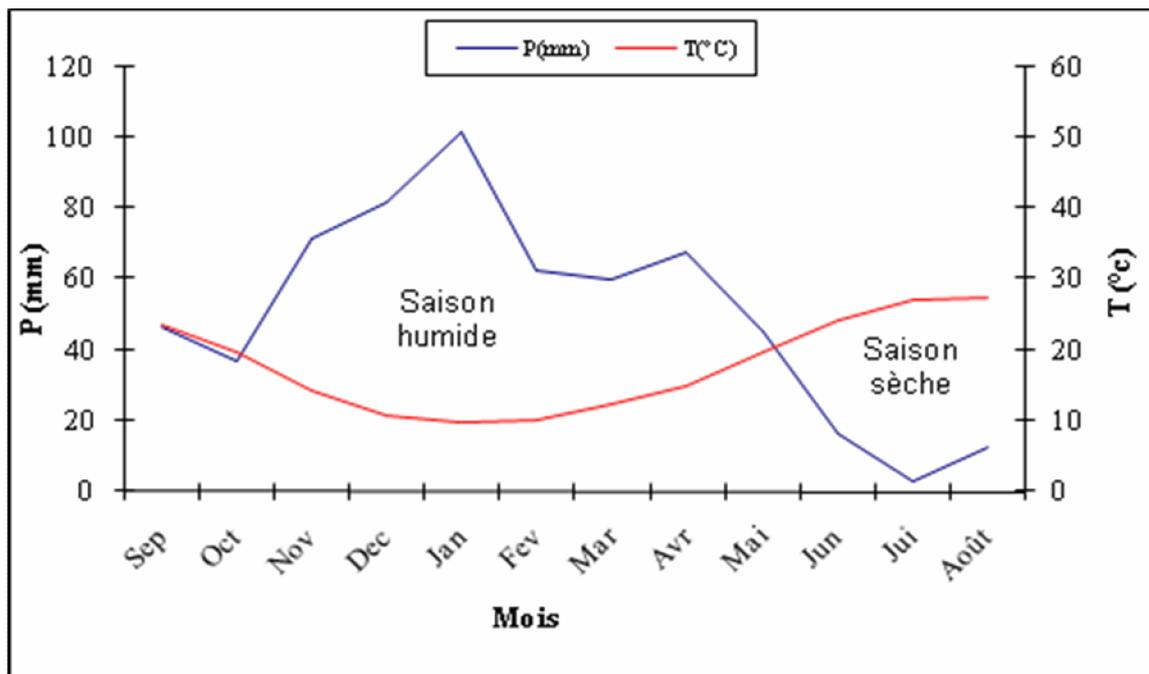


Fig. 10. Diagramme Ombrothermique de la région de Guelma (1994-2008)

7.3.2. Synthèse climatique :

Selon Emberger (1963), la région méditerranéenne est subdivisée en cinq étages bioclimatiques. Pour déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude (Guelma), il faut procéder au calcul du quotient pluviométrique d'Emberger (Q_2). (Dajoz, 2000).

$$Q_2 = 1000 \cdot P / \frac{(M+m) \cdot (M-m)}{2}$$

D'où :

M : Température maximale du mois le plus chaud ($M = 36,34^\circ\text{C} = 309,34 \text{ K}$).

m : Température minimale du mois le plus froid ($m = 4,62^\circ\text{C} = 277,62 \text{ K}$).

P : Précipitation moyenne annuelle $P = 606,1 \text{ mm}$.

Notre région (Guelma) présente un $Q_2 = 65,10$ ce qui la classe dans l'étage bioclimatique à végétation semi-aride à hiver frais. (Fig. 11).

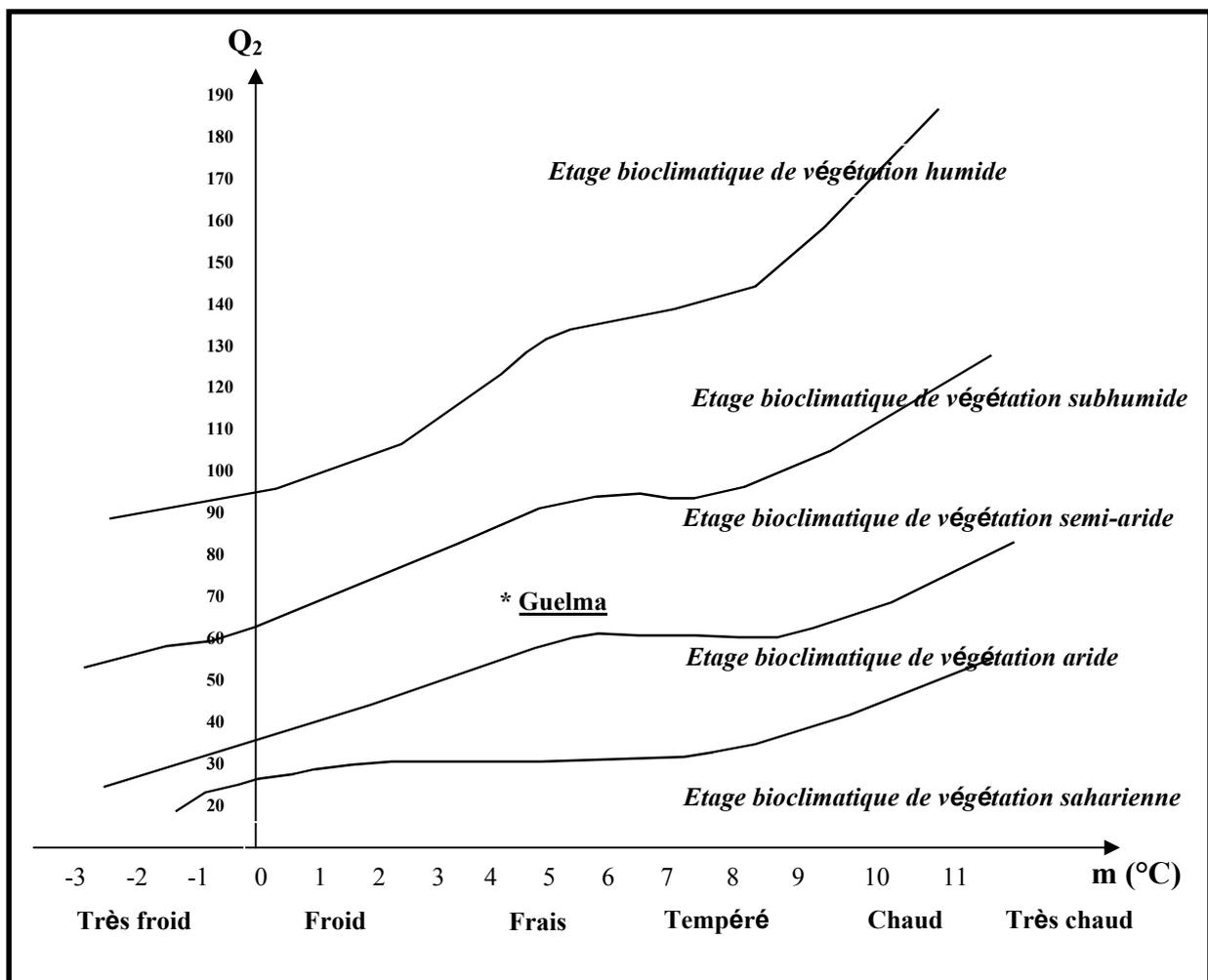


Fig. 11. Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger (1994-2008)

7. 4. L'humidité :

C'est la quantité de vapeur d'eau contenue dans un m³ d'air, exprimée en gramme (g), ou bien la tension de la vapeur d'eau contenue dans l'air exprimée en mm de mercure (mmhg). (Emsalem, 1986). Elle dépend de plusieurs facteurs, de la quantité d'eau tombée, du nombre de jours de pluie, de la forme de ces précipitations (orage, ou pluie tine), de la température, des vents et de la morphologie de la station considérée. (Bagnouls et Gaussien, 1953 in Bensaci, 2006). L'humidité relative moyenne mensuelle est donnée dans le tableau 6 et schématisée sur la figure 12.

Tab. 6. Moyenne mensuelle de l'humidité relative à la station de Guelma (1994 - 2008)

Dec	Nov	Oct	Sep	Août	Jui	Jun	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Mois
76,02	72,70	69,75	66,10	56,43	55,17	60,67	68,15	72,08	73,62	75,71	76,52	Humidité relative (%)

A la lumière de ces données, le mois le plus humide est celui de janvier avec une humidité de 76,52%, par contre le mois le moins humide est celui de juillet avec une valeur de 55,17%.

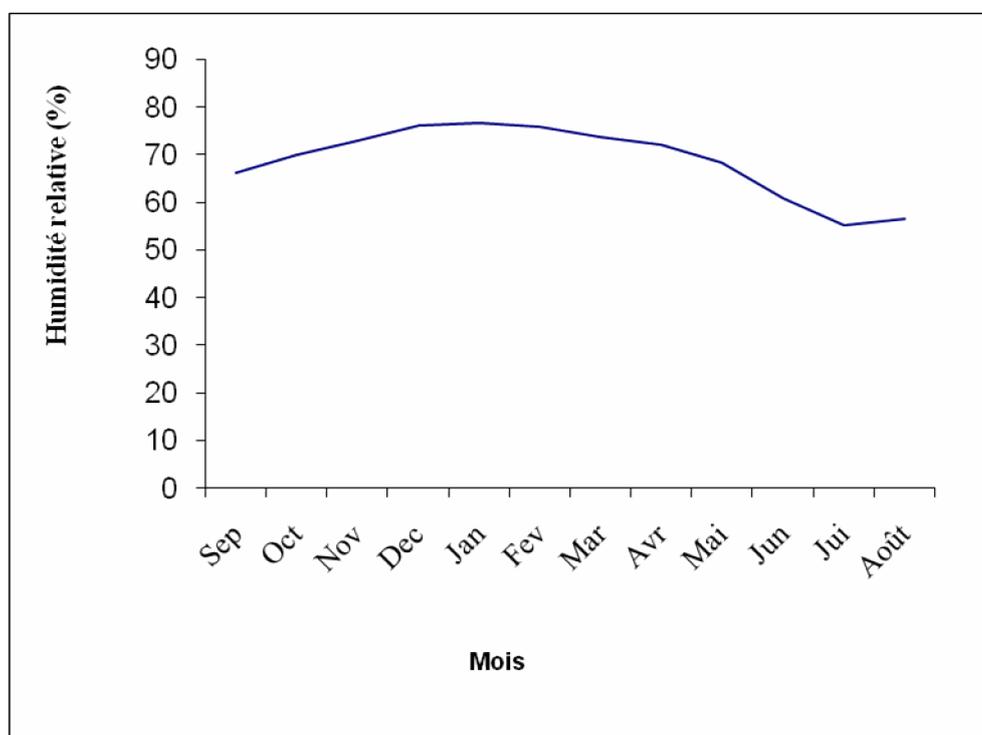


Fig. 12. Variations des moyennes mensuelles de l'humidité relative. Station de Guelma (1994 - 2008)

7.5. Le vent :

Le vent est l'un des éléments les plus déterminants des régimes pluvieux, de l'évaporation et par conséquent du climat. La direction du vent est indiquée par la girouette tandis que la vitesse est mesurée grâce à l'anémomètre. (Faurie *et al.*, 1985). Les résultats des calculs de la vitesse des vents sont récapitulés dans le tableau ci-dessous:

Tab. 7. Moyenne mensuelle et moyenne annuelle de la vitesse des vents à la station de Guelma (1994- 2008)

Vitesse moyenne annuelle	Août	Jui	Jun	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	Mois
1.91 m/s	3,10	1,89	1,93	1,77	1,94	1,79	1,89	1.81	1,88	1,73	1,4	1,71	Vitesse moyenne mensuelle m/s

Le Nord – Est Algérien est dominé par des vents de direction Nord à Nord – Est, Sud – Ouest à Nord. La vitesse des vents est violente en hiver alors qu'en été elle devient plus faible, avec quelques épisodes de Sirocco augmentant la température.

7.6. Le bilan hydrique :

Le bilan hydrique est l'étude comparée de la lame d'eau précipitée sur une surface donnée et des différentes formes de transfert de cette eau : soit par ruissellement, infiltration, ou évaporation.

Le bilan hydrique est calculé par la formule suivante :

$$P = ETR + R + I$$

Avec ; P : Précipitations moyennes annuelles (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle moyenne annuelle (mm).

R : Ruissellement moyen annuel (mm).

I : Infiltration moyenne annuelle (mm).

7.6.1. Estimation de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations. Elle résulte de la combinaison de deux phénomènes ; d'évaporation (processus physique) et la transpiration (phénomène biologique), on distingue ;

- Evapotranspiration potentielle (ETP).
- Evapotranspiration réelle (ETR).

7.6.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

C'est la quantité maximale d'eau pouvant s'évaporer et respirer sur une surface limitée et pendant une période bien définie. Pour l'estimation de l'Evapotranspiration on utilise la formule suivante :

Formule de C.W. Thornthwaite :

$$ETP = 16 (10 T / I)^a \cdot K$$

ETP: Evapotranspiration mensuelle (mm).

T : Température moyenne mensuelle (°C).

I: Indice thermique annuel; $I = \sum_1^{12} i$

i : Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression; $i = (T/5)^{5.14}$.

a : coefficient calculé par la formule ; $a = 1.6 (I/100) + 0.5$.

K : coefficient d'ajustement.

7.6.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement, la somme de l'évapotranspiration et de transpiration réelle pour une surface donnée.

Calcul de l'ETR:

Thornthwaite a considéré deux cas pour le calcul de l'ETR (Débieche, 2002):

1- Si pour un mois, $P \geq ETP$ on pose que l'ETP = l'ETR, la quantité d'eau qui reste ($P - ETR$) va alimenter la RFU jusqu'à son maximum 100 mm et si elle dépasse cette valeur il y aura un excédent (Ex) qui va partir soit sous forme d'infiltration efficace (Ie) vers la nappe, soit sous forme de ruissellement (R).

2- Si $P < ETP$, la valeur de $ETR = P + RFU$ jusqu'à égalisation avec l'ETP. Si la RFU est nulle, il va se produire un déficit agricole (Da) ; $Da = ETP - ETR$ qui représente alors le besoin des cultures à l'irrigation.

- Si $P \geq ETP \Rightarrow ETR = ETP$
- Si $P < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$

Donc: $ETR = ETP$ (si RFU est suffisante)

$ETP > ETR$ (RFU est insuffisante) $\Rightarrow Da = ETP - ETR$

$BH = P - ETP$

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau 8

Tab. 8. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Guelma (1994 -2008).

BH	DA	Exc	RFU	ETR	ETP	K	i	T (°C)	P (mm)	Mois
- 63.81	63.81	0	0	46.41	110.22	1.05	10.44	23.56	46.41	S
- 32.07	32.07	0	0	37.05	69.12	0.91	8.03	19.83	37.05	O
32.29	0	0	32.29	37.78	38.96	0.95	4.90	14.33	71.25	N
64.77	0	0	97.06	17.03	17.03	0.7	3.23	10.87	81.8	D
87.58	0	84.91	100	14.45	14.45	0.73	2.74	9.76	102.03	J
46.01	0	46.01	100	23.79	16.76	0.78	2.92	10.19	62.77	F
27.73	0	27.83	100	32.39	32.39	1.02	3.97	12.47	60.12	M
17.27	0	17.27	100	50.44	50.44	1.15	5.17	14.84	67.71	A
- 44.58	0	0	55.42	98.63	98.63	1.32	7.74	19.65	54.05	M
- 130.99	75.57	0	0	71.87	147.44	1.33	10.37	24.25	16.45	J
- 183	179.93	0	0	2.96	182.89	1.33	12.95	27.16	2.96	J
- 176.23	176.23	0	0	12.47	188.70	1.34	13.21	27.51	12.47	A
- 355.03	527.61	173.02		439.42	967.03		86.41	17.86	606.1	Total

La figure 13 illustre les résultats de tableau ci-dessus. L'observation de l'allure des courbes montre que : l'évapotranspiration atteint son maximum au mois d'août (188.7 mm), ce qui provoque un déficit agricole nécessitant une irrigation. A partir du mois d'octobre on assiste à une reconstitution du stock qui devient important entraînant une RFU maximale (SE), et ceci jusqu'au mois d'avril où l'épuisement du stock (ES) commence.

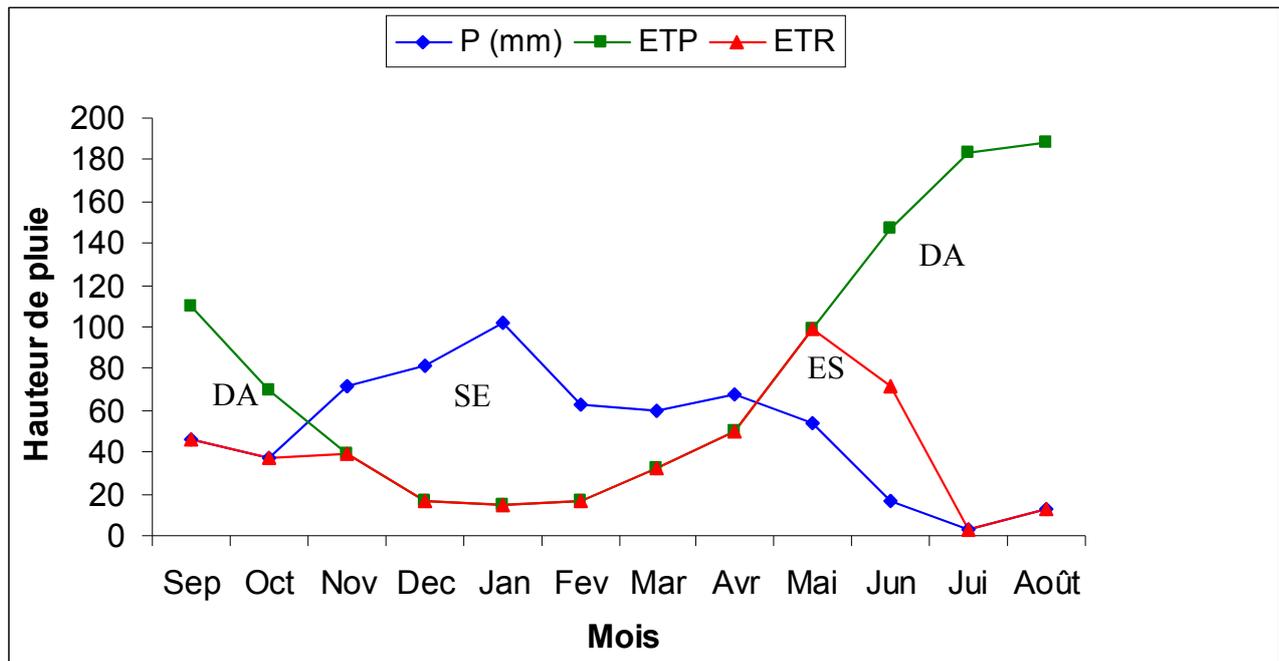


Fig. 13. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite. Station de Guelma (1994 -2008)

7.6.2. Estimation du ruissellement :

Le coefficient de ruissellement "R" renseigne sur la quantité d'eau ruisselée durant une période bien définie. Il est calculé par la formule de Tixeront-Berkaloff modifiée par Romantchouk pour $P > 600$ mm (Laborde, 1997 in Benmarce, 2007):

$$R = P^3 / 3$$

R : Ruissellement (mm)

P : Précipitation annuelle moyenne (mm)

$$R = 74.21 \text{ (mm)}$$

7.6.3. Estimation de l'infiltration :

L'infiltration, élément très important du bilan hydrologique, est définie comme étant le mouvement de l'eau dans un sol en passant par la surface. Elle est calculée à partir de la formule générale du bilan:

$$P = ETR + I + R$$

Donc:

$$I = P - ETR - R$$

Où; I : infiltration (mm).

P: Précipitation annuelle moyenne (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

R : Ruissellement (mm).

$$I = 92.47 \text{ mm}$$

D'après le bilan hydrique : pour une précipitation de 606.1 mm, nous notons une ETP très élevée de l'ordre de 967,03 mm et une ETR de l'ordre de 439,42 mm, contre des lames d'eau de 74.21 mm, ruisselées et 92.47 mm infiltrées.

Chapitre 2

1. Définition :

Les maladies à transmission hydrique (MTH) recouvrent un large éventail de manifestations pathologiques d'origine bactérienne, parasitaire ou virale dont l'élément commun est le mode de contamination: l'eau. (Tab. 9). (Kreisel, 1991).

Tab. 9. Infections transmissibles par l'eau ou étroitement liées à l'eau (Kreisel, 1991)

Origine de contamination	pathologies	microorganismes	classification
I	GE et syndromes cholériformes	<i>Aeromonas spp</i>	Bactéries
I	GE	<i>Campylobacter jejuni/ Campylobacter coli</i>	
I	GE	<i>Clostridium perfringens</i>	
I	GE et syndromes cholériformes	<i>E.coli</i> entéropathogènes, entérototoxiques, entéroinvasives	
Inhalation d'aérosols	Pneumopathie, fièvre	<i>Legionella pneumophila</i>	
C (baignade, eaux, aliments)	Leptospiroses ictérohémorragiques	<i>Leptospira spp</i>	
C	Infections cutanées, suppuratives, ou éruptives. Surinfections, pneumopathies	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
I (eaux, coquillages)	Fièvres typhoïdes	<i>Salmonella</i> typhiques et paratyphiques	
I	GE Infections systémiques	<i>Salmonella typhimurium Salmonella enteridis</i>	
I	GE et dysentérie	<i>Shigella dysenteriae</i>	
C (baignades)	GE	<i>Shigella sp</i>	
C	Infections cutanées suppuratives	<i>Staphylococcus aureus</i>	
I (eaux, coquillages) Coquillages, poissons	GE et cholera infections cutanées GE	<i>Vibrio cholerae ;Vibrio spp Vibrio parahaemolyticus</i>	
I	GE	<i>Yersinia enterocolitica</i>	
I C, piscines	GE Pharyngite, conjonctivite	Adénovirus	
I	Poliomyélite, affections neurologiques, respiratoires, cutanées, musculaires et cardiaques	Entérovirus	
I (eaux, coquillages)	Hépatites	Hépatite A virus (HAV) Hépatite E virus (HEV)	
C (en piscine)	verrues	Papilloma virus	
I	GE	Rotavirus	

I (kystes) C	Amibiase kératite	Amibes : <i>Naegleria, Entamoeba , Acanthamoeba, Balantidium</i>	Protozoaires
I	GE	<i>Cryptosporidium parvum</i>	
I (kystes)	GE giardiase	<i>Giardia lamblia, Giardia intestinalis</i>	
C (baignades en piscine) I	anguillulose	Anguillules	Helminthes
C (larves)	Ankylostomiase	<i>Ankylostoma duodenale Ankylostoma brasiliensis</i>	
I (larves)	Ascariidose	<i>Ascaris lumbricoides</i>	
C (voie transcutanée)	Bilharziose	<i>Schistosoma</i>	
I irrigation par eaux usées	Teniasus	<i>Taenia saginata Taenia solium</i>	
C (baignades en mer, piscines)	Candidose	<i>Candida albicans</i>	Fungi
C (eaux de mer, sable)	Mycoses cutanées	Dermatophytes : <i>Trichophyton, Microsporium Trichosporium</i>	

I : contamination par ingestion d'eau

C : contamination par contact avec l'eau contaminée

GE : gastro-entérites (se traduisant par douleurs abdominales, diarrhées, vomissements, fièvre à des degrés divers)

spp : diverses espèces

La liste des infections pouvant être transmises par voie hydrique étant très longue nous ne retiendrons que les grandes familles ainsi que les espèces responsables.

2. Les agents bactériens des infections à transmission hydrique :

2.1. La famille des Enterobacteriaceae :

La famille des Enterobactériaceae regroupe des bacilles Gram négatifs, mobiles (ciliature péritriche) ou immobiles, asporulés, aéro-anaérobies facultatifs, oxydase négatif, catalase positif (exception pour *S. dysenteriae* du sérotype 1), cultivant sur milieux ordinaires, fermentant le glucose avec ou sans production de gaz et possédant une nitrate réductase (exception pour certaines souches d'*Erwinia*). (Buchaman *et al.*, 1974, Leminor et Veron, 1989).

Comme leur nom l'indique, les bactéries de cette famille colonisent majoritairement le tube digestif de l'homme et des animaux, mais cette localisation n'est pas exclusive et de nombreux taxons sont des hôtes de l'environnement aquatique ou terrestre (sol et plantes) tels que: *Enterobacter agglomerans* et *Erwinia*. (Leminor et Veron, 1989).

Les membres appartenant à cette famille peuvent être saprophytes, pathogènes opportunistes ou pathogènes spécifiques responsables notamment d'infection à transmission hydrique. Il s'agit de : *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* et *paratyphi*, *Shigella dysenteriae* et *Yersinia enterocolitica*. (Leminor et Veron, 1989).

2.1.1. Le genre *Escherichia* :

Le genre *Escherichia* comprend cinq espèces: *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii*, *E. vulneris*, et une espèce très rare isolée des blattes: *E. blattae*. Ces espèces sont différenciées sur la base de l'hybridation ADN/ADN et par leurs caractères biochimiques respectifs. (Tab.10). (Leminor et Veron, 1989).

Tab. 10. Caractères biochimiques d'*Escherichia*

<i>E.fergusonii</i>	<i>E. vulneris</i>	<i>E.hermannii</i>	<i>E.coli</i>	Souches Caractères
-	d	+	-	Pigment jaune non diffusible
+	-	+	+	Indole
+	+	-	(+)	LDC
+	-	+	d	ODC
-	-	+	-	TTR
-	+	D	-	B-xylosidase
-	-	-	(+)	B-glucuronidase
-	-	-	+	Sorbitol
-	+	-	-	Malonate
+	-	-	-	Adonitol

LDC : Lysine décarboxylase.

ODC : Ornithine décarboxylase.

TTR : Tetrathionateréductase.

(+) : positif avec la majorité des souches.

D : différent selon les souches.

2.1.1.1. *E. coli* :

2.1.1.1.1. Habitat et physiologie :

L'espèce *E.coli* est une hôte constante de l'intestin de l'homme et de l'animal qu'il colonise dès les premières heures après la naissance. A ce titre, cette espèce est considérée comme le témoin le plus spécifique de contamination fécale, lorsqu'elle est rencontrée dans l'eau ou les aliments. (Berche *et al.*, 1988).

L'espèce *E.coli* se présente sous forme d'un bacille Gram négatif, le plus souvent mobile par cils péritriches (dans 70% des cas), gazogène lorsqu'il fermente les glucides, avec une température optimale de croissance située à 37°C. (Leminor et Veron, 1989).

2.1.1.1.2. Structure antigénique :

On distingue chez *E.coli* différents types d'antigènes (AG):

- Les Ag O (lipopolysaccharidiques) sont les plus nombreux (plus de 100 spécificités), mais d'après F. Orskov, 10 groupes représentent à eux seuls près de 60% des souches isolées (O: 2, 4, 6, 75, 9, 8, 18, 7, 22, 1).
- Les Ag H sont au nombre de 56 et sont de nature protéique.
- Les Ag K, de nature polysaccharidique, sont également très nombreux (80) et présentent la particularité d'être constamment associés à un petit nombre d'Ag O (O : 8, 9, 20, 101). Les plus fréquents sont K: 1, 2, 5, 12, 13, on leur attribue un rôle anti-phagocytaire.
- Les Ag protéiques de surfaces sont de trois sortes:
 - Les pilis communs (type 1) qui induisent l'agglutination des globules rouges de poule, de cobaye ou de cheval.
 - Les pilis sexuels, codés par des plasmides.
 - Les adhésines qui jouent un rôle important dans l'implantation des souches sur la muqueuse intestinale ou urinaire. (Berche *et al.*, 1988).

2.1.1.1.3. Pouvoir pathogène :

Certaines souches d'*E.coli* sont virulentes et sont capables de déclencher spécifiquement chez l'homme des infections spontanées des voies digestives (Entérites), urinaires ou encore des méningites néo-natales. (Berche *et al.*, 1988). Une attention particulière sera accordée aux infections des voies digestives en raison de leur transmission hydrique.

a. Les Entérites :

Les *E.coli*, agents d'entérites, forment un groupe hétérogène au regard des mécanismes de pathogénicité impliqués. Ils représentent une cause importante de diarrhée, particulièrement chez le jeune enfant, dans les régions sous développés. Selon les facteurs de virulence exprimés et le mode d'interaction cellulaire (adhésion, invasion, production de toxine), la maladie revêt divers aspects: syndrome cholériforme, syndrome dysentérique, diarrhées sanglantes, diarrhées aiguës ou persistantes. (Sansonetti, 1989, Forestie *et al.*, 1998, Germani et Sansonetti, 1999).

Six classes d'*E.coli* entérovirulentes ont été définies, en fonction de critères cliniques et de facteurs de pathogénicité exprimés par la bactérie: Les *E.coli* entéro-pathogènes (ECEP), entérotoxigènes (ECET), entéro-invasifs (ECEI), entéro-hémorragiques (ECEH), entéro-aggrégatifs (ECEAg) et à adhésion diffuse (ECAD). (Prescott *et al.*, 2003).

- Les **ECET** sont après les Rotavirus, les principaux micro-organismes responsables de diarrhées dans les pays en voie de développement notamment chez les enfants de moins de 3 ans, et sont également responsables de la diarrhée du voyageur. La contamination est principalement due à l'ingestion d'eau souillée. Les bactéries se multiplient au niveau de l'intestin grêle des sujets infectés et entraînent l'apparition d'une aqueuse, accompagnée de crampes abdominales. L'intensité de l'infection peut se traduire par un simple désordre transitoire ou un syndrome cholériforme.
- Les **ECEP** sont également à l'origine de diarrhées aqueuses profuses, souvent accompagnées de vomissement et parfois de fièvres avec une période d'incubation relativement courte (3 heures lors d'expériences chez des volontaires sains). Ces infections surviennent essentiellement chez les nourrissons (moins de 6 mois) dans les pays en voie de développement.
- Les **ECEI** se caractérisent par un syndrome dysentérique. En effet, ces bactéries induisent une importante réaction inflammatoire au niveau du colon, ce qui se traduit par l'apparition de selles sanglantes, muqueuses et renfermant quelque fois du pus.
- Les **ECEH** reconnus comme pathogènes pour l'homme qu'au début des années 80, engendrent diverses manifestations cliniques: diarrhées aqueuses, parfois suivies de colites hémorragiques, caractérisées par des crampes abdominales sévères et une diarrhée sanglante. L'état général peut s'aggraver et évoluer vers un syndrome d'urémie hémolytique (SHU) caractérisé par une insuffisance aiguë. L'alimentation d'origine animale semble être la source principale de contamination humaine.

- En ce qui concerne les deux autres classes d'*E.coli* : ECEAg, ECAD, décrit en 1987 par Nataro, leur implication réelle dans l'apparition de syndromes diarrhéiques reste largement controversée.

Tab. 11. Propriétés des *E.coli* responsables de diarrhées (Avril *et al.*, 2000)

Entéroinvasifs ECEI	Entérotoxiques ECET	Entérohémorragiques ECEH	Entéropathogènes ECEP	<i>E.coli</i>
Dysentérique	liquide	sanglante	Aigüe et chronique	Diarrhée
Adultes et intoxication alimentaire	Enfants et voyageurs	Intoxication alimentaire	Enfants moins de 1 an	Cible
O26,O112,O124, O136,O143,O144, O147,O152,O164	O5,O6,O15,O20, O25,O27,O63,O78, O80,O85,O115,O128, O148,O159	O157	O26,O55,O66, O111,O114,O19, O125,O126,O127, O128,O142	Sérotypes
Envahissement	attachement	Pas invasif	adhérence	Mécanisme
Oui	Oui	Oui	Oui	Plasmide
Dysentérique	LT/ST	Dysentérique	Dysentérique	Toxines
140 Md	/	30-75 Md	55-72 Md	Taille

LT: Toxine thermolabile

ST: Toxine thermo- sensible

b. Diagnostic :

Identifier une souche *E.coli* entérovirulente au sein de la flore commensale du tube digestif lors d'une coproculture représente encore à l'heure actuelle un challenge pour les microbiologistes. En effet les caractères morphologiques, culturels et biochimiques d'*E.coli* ne permettent pas la distinction d'une souche pathogène d'un *E.coli* commensal. Cette distinction est liée à la présence de facteurs de pathogénicité, mais actuellement il n'existe pas de méthodes de diagnostic applicables en routine permettant de détecter la présence de ces facteurs. La détermination de sérotype constitue encore le moyen le plus utilisé pour l'identification de ces souches, mais cette méthode est de plus en plus controversée dans la mesure où la relation

pouvoir pathogène-appartenance à un sérotype donné n'est pas strictement corrélée. (Forestie *et al.*, 1998)

c – Antibiothérapie :

L'espèce *E.coli* reste dans l'ensemble sensible aux principaux antibiotiques tels que l'ampicilline, les céphalosprines, les aminosides, la colestine, les tétracyclines et le triméthoprime-sulfaméthoxazole. Cependant un certain nombre de souches peuvent acquérir de multiples résistances aux antibiotiques. (Berche *et al.*, 1988).

2.1.2. Le genre *Salmonella* :

2.1.2.1. Habitat et physiologie :

Les *Salmonella* sont essentiellement des parasites intestinaux de l'homme et des animaux vertébrés. Elles peuvent cependant être disséminées dans l'environnement par les excréta. Si elles ne peuvent s'y multiplier, elles peuvent y survivre en particulier dans le sol pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois si les conditions de température, de pH et d'humidité sont favorables. (Leminor et Veron, 1989).

Les *Salmonella typhi* et *paratyphi*, sont strictement adaptées à l'homme et ont pour unique réservoir l'homme malade ou le porteur sain. Ces derniers jouent un rôle particulièrement important dans la diffusion de ces germes. Les porteurs chroniques de *S.typhi* hébergent le germe dans la vésicule biliaire; et peuvent excréter jusqu'à 10^{11} bactéries/ grammes de matières fécales, pendant très longues périodes. (Berche *et al.*, 1988).

Les *Salmonella* présentent tous les caractères de la famille des Enterobactériaceae: bacilles Gram négatifs, aéroanaérobies facultatifs, mobiles, asporulées, catalase (+), oxydase (-), réduisant les nitrates en nitrites, fermentant le glucose avec production de gaz (à l'exception de *S.typhi*) mais ne fermentent pas le lactose. Elles ne produisent pas d'uréases, de désaminases, de gélatinases ni d'indole. En revanche la plupart des souches produisent de l'hydrogène sulfuré et une lysine décarboxylase. (Buchaman *et al.*, 1974), (Leminor et Veron, 1989).

2.1.2.2. Structure antigénique :

Les *Salmonella* peuvent posséder trois types d'antigènes d'intérêt diagnostic. Leur détermination permet de caractériser actuellement plus de 2000 sérovars:

- L'antigène somatique O déterminé par la structure des polysaccharides de la paroi bactérienne.
- L'antigène H flagellaire, présent chez les souches mobiles.

- L'antigène Vi, peu fréquent chez les Salmonelles et qui peut masquer Ag O rendant les bactéries " O-inagglutinables". L'Ag Vi n'est connu que chez trois sérovars: *S.typhi*, *S.paratyphi* et *S.dublin*.

La famille antigénique de chaque souche de Salmonelles isolées à partir d'un produit pathologique peut être déterminée par l'utilisation d'antisérums monospécifiques des déterminants génétiques O, H et Vi. Il est ainsi possible de classer la souche étudiée parmi différents groupes sérologiques selon la classification de Kaufman-White et de lui attribuer un nom précis.

2.1.2.3. Substances élaborées :

Salmonella typhi possède une endotoxine thermostable (libérée à partir de la paroi du bacille par la lyse bactérienne) de nature glucido-lipido-protéique et qui représente l'antigène pariétal de la bactérie. Cette endotoxine de poids moléculaire très élevé possède des propriétés biologiques qui se traduisent dans l'organisme par la production d'effets physio-pathologiques très divers. (Leminor et Veron, 1989).

- Un effet pyrogène, caractérisé par la production de fièvre avec modification de la formule sanguine et stimulation de nombreux systèmes hormonaux et enzymatiques, en particulier le système hypophyso-surrénal.
- Un effet léthal avec des lésions cellulaires graves et des réactions hémorragiques pouvant provoquer un état de choc irréversible.

Les *Salmonella* produisent rarement de bactériocines, mais certains lysotypes de *S.typhi* élaborent un salmonelline analogue en partie à la cloicine B des *E. coli*. (Leminor et Veron, 1989).

2.1.2.4. Pouvoir pathogène :

Les *Salmonelles* sont responsables d'un certain nombre de pathologies dont les plus graves sont: les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes. (Berche *et al.*, 1988).

2.1.2.4.1. Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes :

Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes sont dues à un nombre très limité de sérotype de Salmonelles: *Salmonella typhi* ou bacille d'Eberth et *Salmonella paratyphi A, B* et *C*. (Pilet *et al.*, 1987), (Berche *et al.*, 1988), (Masschelein, 1999).

a- Physiopathologie :

Le mécanisme de la fièvre typhoïde est mal connu car il n'y a pas de modèle expérimental de cette infection strictement humaine. Le modèle décrit provient, pour l'essentiel, d'extrapolation à partir de souris infectées par *Salmonella typhimurium*. La dose infectante est estimée à 10^5 bactéries/ ml, mais elle est plus faible en cas d'achlorhydrie gastrique. Après avoir franchi la barrière intestinale, les Salmonelles parviennent au niveau des ganglions lymphatiques mésentériques où elles vont se multiplier avant d'essaimer lentement vers le sang: cela explique l'installation insidieuse de la période septicémique. Les germes sont ensuite ingérés par les macrophages, mais ils poursuivent leur multiplication. La survie des Salmonelles à l'intérieur des macrophages serait due à leur capacité d'atténuer l'acidification des phagosomes mais également à la présence d'une capsule très mince qui pourrait expliquer leur résistance vis-à-vis de l'action bactéricide des macrophages. La phagocytose effective des Salmonelles n'est effectuée qu'après activations des macrophages par des lymphokines libérées par des lymphocytes T spécifiques. (Marchon, 1996).

b- Mode de transmission :

L'homme malade ou le porteur sain représentent la source de contamination. Les bacilles s'éliminent surtout dans les selles; il s'agit d'une contamination fécale directe ou le plus souvent indirecte par ingestion de produits contaminés: eau, aliments surtout ceux absorbés non cuits. (Marchon, 1996).

c - Signes cliniques :

Après une période d'incubation asymptomatique de durée variable 5 à 21 jours, en fonction de l'importance de l'inoculum. La typhoïde débute par des signes majoritairement extra-digestifs regroupés sous le terme de 1^{er} septénaire: fièvres, céphalées, vertiges, asthénies, anorexies et constipation, plus rarement des épistaxis. A ce stade, l'examen clinique montre un abdomen sensible et dans un tiers des cas une splénomégalie accompagnée d'une leucopénie marquée. Des formes brutales, évoquant une gastro-entérite ou une appendicite sont possibles. La phase d'état suivante correspond au 2^{ème} septénaire est plus riche en symptômes digestifs avec douleurs abdominales et diarrhée en " jus de melon". La fièvre est à 40 °C en plateau et l'examen clinique démontre régulièrement une splénomégalie et dans certains cas une hépatomégalie. 30% des patients présentent également un rash maculeux prédominant à la partie supérieure du tronc (taches rosées lenticulaires). (Marchon, 1996).

En l'absence de traitement, la fièvre typhoïde évolue en 3 semaines à 1 mois vers la guérison avec un taux de létalité de 15 à 20 %. L'antibiothérapie a permis de réduire ce taux à moins de 1 %. La fréquence des rechutes est étroitement liée au choix de l'antibiotique. Un portage chronique défini par une persistance d'une excrétion de Salmonelles dans les selles ou l'urine au-delà de 1 an augmenterait le risque de cancer hépatobiliaire, mais le cancer du colon, du pancréas et des poumons. (Ivanoff et Levine, 1997).

d- Diagnostic :

- **Diagnostic direct :**

Il repose sur l'isolement et l'identification de *S. typhi* ou *paratyphi* à partir d'hémoculture et de coproculture. L'examen direct des selles montre une flore monomorphe à bacilles Gram négatif associée à des polynucléaires et des hématies. Néanmoins, compte tenu du caractère disséminé de l'infection, l'analyse d'urine, le prélèvement de sécrétion duodénale et une ponction de la molle peuvent être utiles pour le diagnostic. De même, la biopsie cutanée d'un élément du rash permet d'isoler les Salmonelles responsables de l'infection. En pratique, les examens de 1^{ère} intention restent l'hémoculture et la coproculture, les autres examens sont pratiqués secondairement si la suspicion est forte. (Marchon, 1996).

- **Diagnostic indirect :**

Les tests sérologiques, tels que le sérodiagnostic de Widal et Félix contribuent au diagnostic des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes lorsque la bactérie n'a pas pu être isolée. Ils sont principalement fondés sur la mise en évidence des anticorps anti-O et anti- H dans le sérum. Ces tests sérologiques sont d'une spécificité imparfaite du fait des réactions immunologiques croisées qui peuvent avoir lieu notamment avec des Salmonelles non-typhoïdique voir des Entérobactéries. (Marchon, 1996).

e- Antibiothérapie :

Les phénicoles (tel que le chloramphénicol), les aminopénicillines (tel que l'ampicilline) et le cotrimoxazole restent les antibiotiques de référence dans les pays en voie de développement. Néanmoins, l'émergence de Salmonelles multirésistantes a conduit de nouveaux schémas thérapeutiques privilégiant les céphalosporines parentérales et les fluoroquinolones. L'activité de ces produits permet d'envisager une durée de traitement abrégée. (Berche *et al.*, 1988).

2.1.3. Le genre *Shigella* :

2.1.3.1. Habitat et physiologie :

Les *Shigella* sont des bactéries strictement humaines et ne sont pas retrouvées dans la nature en dehors de l'environnement humain. Se sont des bacilles Gram-, aéro-anaérobies facultatifs, cultivant sur milieux ordinaires, fermentent le glucose sans gaz; possédant une nitrate réductase et sont oxydase (-). (Tab. 12).

Le genre *Shigella* est divisé en 4 espèces et chaque espèce est subdivisée en plusieurs sérotypes: *S. dysenteriae* (10 sérotype), *S. flexneri* (8 sérotype), *S. boydii* (15 sérotype) et *S. sonnei* (1 sérotype). (Berche *et al.*, 1988).

Tab. 12. Caractères biochimiques différentiels des différentes souches de *Shigella*

<i>S. sonnei</i>	<i>S. boydii</i>	<i>S. flexneri</i>	<i>S. dysenteriae</i>	Espèces Caractéristiques
+	+	(+)	-	Mannitol
+	(-)	-	-	ODC
d	(-)	-	(+)	ONPG
-	d	d	d	Indole
-	(-)	(-)	(+)	Dulcitol
-	d	(-)	d	Xylose
+	(-)	d	d	Rhamnose

(-) négatif pour la majorité des souches.

ONPG: Orthonitrophenyl-B galactosidase.

2.1.3. 2. Substances élaborées :

Les *Shigella* peuvent élaborer diverses toxines. Le rôle de la toxine de Shiga ou toxine dysentérique, est à ce jour le mieux connu. Seule *S.dysenteriae* le produit en grande quantité cette toxine, qui possède un rôle entérotoxine, cytotoxique et neurotoxique ce qui la rend responsable des formes les plus graves de la maladie. (Germani et Sansonetti, 1999).

2.1.3. 3. Pouvoir pathogène :

Les Shigelles sont des germes à tropisme exclusivement digestif. Se sont des bactéries invasives pour la muqueuse colique et déclenchent des entérites inflammatoires fébriles dont la forme la plus grave est la dysenterie bacillaire. (Berche *et al.*, 1988).

2.1.3. 3.1. La dysenterie bacillaire :

La dysenterie bacillaire est une maladie qui sévit à l'état quasi endémique dans les pays chauds. Sa diffusion est favorisée par les mauvaises conditions d'hygiène. Chaque année dans le monde, on estime que 200 millions de cas dysenteries bacillaires causent 650 000 décès. L'incidence est 50 à 100 fois plus élevée dans les pays en voie de développement de la zone intertropicale, du fait des conditions sanitaires précaires, que dans les pays occidentaux où l'incidence annuelle est voisine de 1 pour mille. La dysenterie se caractérise par des troubles gastro-intestinaux sévères (douleurs abdominales, diarrhée, nausées) et un état fébrile oscillant autour de 39°C. Le syndrome dysentérique, observé surtout en régions tropicales et caractéristiques des infections par *S.dysentriae1*, se traduit par l'émission de selles afécales, glaireuses et sanglantes; ces émissions sont fréquentes accompagnées de douleurs abdominales vives et de contractions douloureuses du sphincter anal (ténésme). (Germani et Sansonetti, 1999)

a- Mode de transmission :

Bactéries essentiellement associées à l'homme, les *Shigella* ne sont pas retrouvées dans la nature en dehors de l'environnement humain. La contamination féco-orale s'effectue par contact direct avec des sujets malades ou des porteurs asymptomatiques, ou par contact indirect à partir de l'eau et d'aliments ou objets contaminés par les selles de malades. (Berche *et al.*, 1988).

b- Physiopathologie :

Les *Shigella* adhèrent à la muqueuse intestinale (colon), puis pénètrent dans les cellules épithéliales de la muqueuse; elles s'y multiplient et provoquent des ulcérations et des abcès: elles ne pénètrent qu'exceptionnellement dans le tissu conjonctif chorionique sur lequel repose l'épithélium. Ces bactéries élaborent la toxine de Shiga qui provoque la mort cellulaire par inhibition de la synthèse protéique. Cette infection, dominée par le pouvoir de pénétration puis de multiplication intra-cellulaire, est dite de type invasif. (Germani et Sansonetti, 1999).

c - Signes cliniques :

Quelle que soit l'espèce responsable, la période d'incubation varie entre 1 et 4 jours. Elle est marquée par l'apparition d'une fièvre (39 à 40 °C), un malaise général et une asthénie, associée à de violentes douleurs abdominales (crampes, ténésme et épreintes). Les selles, très nombreuses, émises de façon quasi incessante sont glaireuses, afécales et sanglants. La durée

moyenne de la symptomatologie est d'une semaine après cessation de la diarrhée. (Germani et Sansonetti, 1999).

d- Diagnostic :

Le diagnostic de la dysenterie bacillaire repose avant tout sur l'isolement et l'identification de *Shigella* au cours de la coproculture. La sérologie n'a pas d'intérêt pour le diagnostic, car la montée des anticorps est tardive et il existe de réactions croisées entre les antigènes somatiques des *Shigella* et ceux des autres Enterobacteries. Elle peut cependant être utilisée, dans le cadre d'enquêtes épidémiologiques, pour évaluer l'incidence de la maladie dans une population. (Germani et Sansonetti, 1999).

e- Antibiothérapie :

Le traitement doit être d'abord corrigé les pertes hydriques et électrolytiques si elles existent, puis détruire la bactérie. Le traitement antibiotique n'est pas toujours indiqué dans les cas isolés. Les guérisons spontanées étant fréquentes chez les patients immunocompétents. En revanche, au sein d'une collectivité, dans les formes sévères, chez l'enfant, l'immunodéprimé, l'antibiothérapie est de règle.

Les *Shigella* isolées en Europe de l'Ouest restent sensibles aux antibiotiques actifs sur les bacilles Gram négatifs. Dans les pays de la zone intertropicale où les antibiotiques sont en ventes libres, les *Shigella* deviennent rapidement multirésistantes. Dans certaines régions, seules les fluorquinolones demeurent efficaces. L'émergence de souches multirésistantes par l'acquisition de plasmides est fréquente chez *Shigella*. (Germani et Sansonetti, 1999).

2.1.4. Le genre *Yersinia* :

Le genre *Yersinia* comprend trois espèces : *Y. pseudotuberculosis* (responsable de la pseudotuberculose), *Y. pestis* (agent de la peste) et *Yersinia enterocolitica*. (Leminor et Veron, 1989).

2.1.4.1. *Y. enterocolitica* :

2.1.4.1.1. Habitat et physiologie :

Certaines souches de *Yersinia enterocolitica* sont exclusivement rencontrées chez l'homme ou l'animal, elles sont dites « adaptées ». D'autre au contraire, sont largement ré pondues dans les sols, les eaux, les légumes et les micromammifères qui les hébergent dans leur tube digestif. Elles sont dites « non adaptées ». (Leminor et Veron, 1989).

L'espèce *Yersinia enterocolitica* est un bacille Gram négatif, asporulée, acapsulée, polymorphe : cocoïde sur milieu solide, formant des chaînettes en milieu liquide et mobile grâce à une ciliature péritriche. Cette espèce tolère : des pH compris entre 4-10 avec un optimum à 7.2, des températures comprises entre 0 et 42°C avec un optimum à 29°C et cultive en présence de 0 à 5% d'NaCl. (Berche *et al.*, 1988, Leclerc, 1994).

2.1.4.1.2. Structure antigénique :

L'espèce *Y. enterocolitica* possède différents types d'Ag somatique O (34) et flagellaire H (16). Sur la base de la constitution de l'Ag O une trentaine de sérogroupes ont été décrits, et dont les sérogroupes O : 3 et O : 9 semble les plus adaptés à l'espèce humaine. (Leminor et Veron, 1989).

2.1.4.1.3. Substances élaborées :

Les *Y. enterocolitica* ne présentent pas d'activités hémolytiques ni protéolytiques. Cependant certaines souches peuvent produire une lécithinase, et une entérotoxine thermostable (sécrétée chez la plupart des souches responsables d'infection humaines) comparable par son activité à celle d'*E. coli*. La production de cette toxine gouvernée par des gènes chromosomiques a lieu à une température inférieure à 30°C (optimum situé à 26°C) et par conséquent, son rôle dans la physiologie de l'infection digestive n'est pas prouvé. (Leminor et Veron, 1989).

2.1.4.1.4. Pouvoir pathogène :

Chez l'homme, *Y. enterocolitica* provoque principalement des gastro-entérites caractérisées par des douleurs abdominales évoquant le syndrome appendiculaire et qui s'observe le plus souvent chez l'enfant de moins de 5 ans. (Avril *et al.*, 2000).

2.1.4.1.5. Diagnostic :

L'isolement des *Yersinia* est aisé lorsqu'il s'agit de produits monomicrobiens (sang, liquide céphalo-rachidien...), par contre leur recherche est plus délicate dans les produits polymicrobiens comme les selles. Cette recherche peut être facilitée par un enrichissement préalable et une incubation à 4°C pendant 2 semaines. Le diagnostic sérologique peut être établi par la mise en évidence d'Ac spécifiques dans le sérum du malade par séro-agglutination. Le sérum suspect est examiné vis-à-vis d'une gamme de sérogroupes (O : 3, O : 9, O : 5, et O : 27). (Berche *et al.*, 1988).

2.1.4.1.6. Antibiothérapie :

Les souches de *Y. enterocolitica* présentent une résistance à l'ampicilline, la carbénicilline et aux céphalosporines de première génération (celafotine et cefalexine). En revanche, les tétracyclines, les aminosides et les céphalosporines de troisième génération sont très actifs in-vitro. A noter qu'il n'est pas certains que l'antibiothérapie ait un quelconque intérêt dans les formes entériques : elle peut en effet accroître la fréquence ou la durée du portage d'*Y. enterocolitica* dans les selles. (Berche *et al.*, 1988).

2.2. La famille des Vibrionaceae :

La famille des Vibrionaceae comporte des bacilles Gram négatif, mobiles (ciliature polaire ou mixte) ou immobiles ; ils sont aéro- anaérobies facultatifs, croissent sur milieux ordinaires, réduisant les nitrates en nitrites, oxydase (+) et dégradant les glucides par métabolisme fermentatif. Classiquement, quatre genres bactériens sont rassemblés dans cette famille : *Vibrio* (genre type), *Photobactérium*, *Plesiomonas* et *Aeromonas*. (Berche *et al.*, 1988).

2.2.1. Le genre *Vibrio*:

Le genre *Vibrio* comprend plus de 30 espèces qui sont toutes d'habitat aquatique; les uns sont halophiles stricts, d'autre non. L'espèce la plus importante du genre est *Vibrio cholerae*. (Leclerc, 1994).

2.2.1.1. *Vibrio cholerae* :

2.2.1.1.1. Habitat et physiologie :

L'habitat intestinal a été très longtemps considéré comme le seul habitat possible du vibron cholérique. Mais à partir de ce dernier, les vibrions peuvent être ensuite disséminés dans le milieu extérieur. Ils contaminent préférentiellement les estuaires, les étangs salés saumâtres, les eaux douces, les eaux de mer recevant un apport d'eau douce, les eaux polluées, les sols ainsi que certains aliments (huîtres, moules...etc). (Berche, 1994).

Le vibron cholérique présente tout les caractères biochimiques définissant le genre *Vibrio*. Germe aéro- anaérobie facultatif, oxydase (+), sa croissance est favorisée par un pH neutre ou alcalin (pH 9-10), une température comprise entre 20 et 40°C avec un optimum entre 30 et 37°C et par une concentration d'NaCl comprise entre 1-3%. (Leminor et Veron, 1989).

2.2.1.1.2. Structure antigénique :

L'espèce *V.cholerae* possède quatre types principaux d'antigènes (Ag) :

- Un Ag H thermolabile, correspondant à la flagelline ou au core du flagelle.
- Un Ag M de surface, thermolabile et inconstant, il peut former une microcapsule autour de la bactérie et la rendre O- inagglutinable.
- Des Ag protéiques thermolabiles, correspondant à des protéines de la membrane externe, dont certaines pourraient jouer un rôle d'adhésine.
- Un Ag O thermostable, localisé dans la membrane externe, porté par la partie polysaccharidique du lipopolysaccharide (LPS) et associé à des protéines membranaires. (Prescott *et al.*, 2003).

L'étude antigénique des souches de *V.cholerae* a révélé que toutes les souches responsables d'épidémies de choléra appartiennent aux sérogroupes O : 1 (biovar classique ou EL Tor) ou O : 139. Les souches appartiennent aux autres sérogroupes sont dites non agglutinables par le sérum O : 1 (NAG) et peuvent provoquer des diarrhées sporadiques, des abées ou des septicémies, mais ne provoquent pas d'épidémies de choléra.

Parmi les souches du séro groupe O : 1 on distingue trois sérotypes différents subdivisés sur la base de trois facteurs anté géniques du LPS, A, B, et C :

- Ogawa (AB)
- Inaba (AC)
- Hikojima (ABC) (Prescott *et al.*, 2003).

Le dernier sérotype correspond à une forme de transition entre les deux premières. Les souches de séro groupe O : 1 peuvent aussi être classées selon leur biotypes en fonction de quelque caractères phénotypiques (Tab. 13) :

- Le biotype « classique »
- Le biotype El Tor
- Le biotype Proteus
- Le biotype Albensis

Tab. 13. Caractères distinctifs des biotypes de *Vibrio cholera*

Albensis	Eltor	Proteus	Cholerae	Espèces Caractéristiques
1 ou plus	1	1	1	Nombre de flagelle
-	d	+	-	Hémolysine
-	-	-	-	Fermentation de l'arabinose
-	+	+	+	Fermentation du Mannose
+	+	+	+	Fermentation du saccharose
+	+	d	-	VP à 22° C
+	+	d	d	VP à 37°C
-	d	d	+	RM à 22°C
D	+	d	+	RM à 37°C
+	+	-	+	Réduction de Nitrates en Nitrites
(+) ⁸	+	+	+	Production d'indole à 22°C
-	d	(+)	d	Production d'indole à 37°C
-	+	-	+	RM
+	+	-	+	Lysine décarboxylase
-	-	+	-	Croissance à 5°C
+	+	+	+	Croissance à 37°C
+	d	-	d	Croissance à 42°C
+	+	-	+	Croissance en présence de NaCl 0%
+	+	+	+	Croissance en présence de NaCl 4%
-	d	+	d	Croissance en présence de NaCl 7%
-	-	(+)	-	Croissance en présence de NaCl 8%
+	+	+	+	Croissance à PH 10
-	d	+	d	Croissance à PH 11
-	+	-	+	Agglutination du O : 1 antiseum
+	-	-	-	luminescence

Les souches de *V.cholerae* du nouveau séro groupe (O : 139) identique au *V.cholerae* O : 1 par les formes cliniques du choléra qu'elle entraîne, par ses caractères biochimiques et par ses facteurs de virulences, dont la toxine cholérique, ne présente en revanche d'immunité induite à la suite d'un contact avec *V.cholerae* O : 1. Une autre caractéristique des souches O : 139 est la présence d'une capsule polysaccharidique visible en microscopie électronique. Cette capsule pourrait accroître leur virulence. (Leclerc, 1994).

2.2.1.1.3. Substance élaborées :

Le *V. cholerae* sécrète de nombreuses enzymes extracellulaires (lécithinases, protéases, mucinases, neuraminidases... etc), qui pourrait avoir un rôle important dans la pénétration de la couche muqueuse protégeant les cellules intestinales. De plus, certains constituants de la bactérie, tel que lipopolysaccharide (Ag O) et le glycocalix interviendraient dans la fixation et l'adhésion du *Vibron* sur les Entérocytes. (Leclerc, 1994). Le *V.cholerae* sécrète également une exotoxine, thermolabile, de poids moléculaire de 84000 daltons, et qui joue un rôle capital dans la physiologie du cholera.

2.2.1.1.4. Pouvoir pathogène :

Le choléra :

Le choléra est une maladie infectieuse strictement humaine, à caractère épidémique, d'origine bactérienne. Maladie de la misère, de la malnutrition et de la surpopulation, elle est caractérisée avant tout par une diarrhée aqueuse qui s'accompagne par une déshydratation extrême, d'où son caractère de gravité en l'absence de traitement de réhydratation. (Leclerc, 1994, Prescott *et al.*, 2003).

a- Historique :

Le choléra est connu depuis très longtemps, comme le témoigne son étymologie la plus probable qui signifie, en grec, écoulement de bile. Mentionnée dès la plus haute antiquité dans le delta du Gange, la maladie semble s'être maintenue localisée dans l'Asie du sud-est jusqu'au début XIX^{ème} siècle. C'est à partir de ce foyer indien que se sont développées, durant un demi-siècle, de 1817 à 1923, les six grandes pandémies qui portèrent, ce fléau dans le reste du monde.

- ✓ 1817 -1823 : 1^{ère} pandémie cholérique qui envahit, l'Asie, le moyen- orient et l'est de l'Afrique.
- ✓ 1829 -1851 : 2^{ème} pandémie qui envahit, l'Asie, le moyen- orient, l'Europe, l'Afrique et le moyen du nord.

- ✓ 1852 -1859 : 3^{ème} pandémie qui outre les régions déjà touchée par la 2^{ème} pandémie atteignit aussi l'Amérique latine.
- ✓ 1863- 1879 : 4^{ème} pandémie qui bénéficia de l'ouverture du canal de Suez. pour faciliter sa progression.
- ✓ 1881- 1896 : 5^{ème} pandémie qui envahit tous continents sauf l'Australie. Cette pandémie fut marquée par la découverte de l'agent responsable du choléra, le *Vibrio cholérique*, par Robert Koch en 1883.
- ✓ 1899- 1923 : 6^{ème} pandémie qui envahit l'Asie, le moyen- Orient et l'Europe. Cette pandémie n'atteignit pas les pays de l'Europe de l'Ouest et l'Amérique qui avaient commencé à élever leur niveau d'hygiène.
- ✓ A partir de 1961 :7^{ème} pandémie actuelle qui fut caractérisée par l'émergence d'une nouvelle souche O : 1 présentant un nouveau biovar dit « El Tor ». cette souche responsable d'un choléra endémique aux îles célèbres (Indonésie), un foyer d'endémicité permanente reconnu depuis 1937, comme étant le point de départ de la 7^{ème} pandémie.

Au cours des années qui suivirent de nouveaux foyer ont été recensés dans de nombreux pays de l'Asie du sud-Est et il se manifesta en 1970 au Moyen-Orient et en Afrique, dans des secteurs géographiques que le choléra avait jusqu'alors toujours épargné réalisant une véritable endémie mondiale, privilégier dans les pays à bas niveau d'hygiène. (Leminor et Veron, 1989).

Alors que la 7^{ème} pandémie cholérique poursuit son expansion, il est possible qu'une 8^{ème} pandémie ait déjà commencé. En effet, fin 1992, en Inde et en Bangladesh, sont apparus des épidémies de choléra provoquées par une souche différente de la souche responsable de la 7^{ème} pandémie : il s'agit de la souche *Vibrio Cholerae* O : 139, en 1994, cette souche envahit onze pays d'Asie et bien que sa progression semble s'être localisée en 1995, il est difficile d'en prévoir l'évolution. (Rejesk, 2002).

b- physiopathologie :

Le choléra résulte de l'absorption par voie orale, du vibron cholérique contaminant l'eau ou les aliments. Les doses infectieuses, sont relativement enlevées, de l'ordre de 10^8 à 10^{11} bactéries/ml. Cela est dû au fait que le *Vibrio cholérique* est sensible à l'acidité gastrique. Ce qui explique la baisse de la dose infectante lorsque les *Vibrio cholériques* sont inclus dans des aliments qui les protègent pendant leur passage dans l'estomac. (Leminor et Veron, 1989). Après leur passage dans l'estomac, les *Vibrio* se fixent dans la partie proximale de l'intestin grêle. Grâce à la mobilité de leur flagelle polaire, ils traversent la couche de mucus et l'adhèrent aux

entérocytes par les pilis. Ils sécrètent la toxine cholérique principale toxine produit par le *Vibron*, ainsi que d'autres toxines (Toxine de ZOT). (Fournier, 1996).

La toxine cholérique est composée d'une sous- unité A et de cinq sous- unités B. ces sous- unités B se fixent à leurs récepteurs intestinaux, les gangliosides GM₁ exposées à la surface des entérocytes et permettent l'entrée dans la cellule de la sous unité A qui active une Adényl- cyclase entraînant une production accrue d'adénosine monophosphate cyclique (AMPc) qui modifient les échanges d'eau et d'électrolytes en empêchant la pénétration du sodium à l'intérieur de la cellule. Il en résulte un passage dans la lumière intestinale d'eau et d'électrolytes en quantité tels excédant la capacité de la réabsorption du côlon. Une diarrhée plus ou moins grave est alors déclenchée entraînant dans les formes les plus graves une déshydratation, un choc hypovolémique, une acidose métabolique pouvant provoquer la mort. (Leminor et Veron, 1989, Fournier, 1996).

c- Signes cliniques :

Après incubation de quelques heures à quelques jours, le choléra se manifeste par des violentes diarrhées et des vomissements, sans élévation de la température. Les selles fécaloïdes au début deviennent rapidement aqueuses, blanchâtres, d'aspect d' « eau de riz ». Ces selles ne sont jamais sanglantes, sauf lors d'association avec d'autres pathologies tel que les shigelloses. Cette importante fuite d'eau et d'électrolytes entraîne des crampes musculaires très douloureuses, un amaigrissement extrême, une torpeur profonde et une forte asthénie. En l'absence de traitement la mort survient en 1 à 3 jours dans 25 à 50% des cas par collapsus cardiovasculaire. La mortalité est plus importante chez les enfants, les personnes âgées ainsi que chez les sujets carencés. (Fournier, 1996).

A coté de cette forme clinique classique, il existe une forme plus grave appelée choléra « Sidérant » ou « sec » dans lequel une chute brutale de la tension entraîne la mort par collapsus cardiovasculaire très rapide, avec un peu d'évacuations intestinales. Une autre forme de choléra appelée « Choférine » plus difficile à diagnostiquer, mais dont l'évolution moins grave, présente tous les signes du choléra mais sous forme atténuée d'évaluation plus lente. La déshydratation est moins importante et la guérison survient spontanément en quelques jours. (Fournier, 1996).

d- Diagnostic :

Le diagnostic du choléra dans sa forme classique est d'abord clinique : une diarrhée sévère suivie des vomissements est presque toujours due au cholera. (Leminor, Veron, 1989).

Le diagnostic bactériologique est essentiellement basé sur la mise en évidence du germe dans les selles est plus rarement dans les vomissements. La recherche est complétée par des épreuves d'agglutination avec des sérums anti-O:1 ou anti-O :139. (Fournier, 1996). A coté du diagnostic bactériologique, un diagnostic sérologique basé sur la recherche d'anticorps vibriocides dans le sérum peut être également réalisé. Ces anticorps vibriocides lysent le *vibron* cholérique. Ce diagnostic sérologique est surtout réalisé comme diagnostic rétrospectif du choléra dans le cas où la souche n'a pas pu être isolée. (Leminor et Veron, 1989).

e- Antibiothérapie :

L'antibiothérapie dans le traitement du choléra fait l'objet de nombreuses discussions. En effet le traitement du choléra repose essentiellement sur une compensation des pertes d'eau et d'électrolytes par réhydratation orale ou intraveineuse, selon la gravité de la réhydratation. Hors en situation d'urgence, le problème du choix d'un antibiotique se pose en raison de l'augmentation progressive de la résistance du *Vibrio cholerae* à de nombreux antibiotique. Actuellement, beaucoup de souche de *V.cholerae* O : 1 sont résistantes aux cyclines et au triméthoprim- sulfaméthoxazole. L'OMS recommande l'utilisation de l'érythromycine ou des dérivés du nitrofurane, mais de nombreuses souches de *V.cholerae* O : 139 isolées en Asie sont résistantes à ces dérivés de même que plusieurs souches des *V.cholerae* O : 1 isolées en Afrique. Aujourd'hui deux catégories d'agents antibactériens sont encore actifs sur toutes des souches de *Vibron* cholérique : les fluoroquinolones et un antiseptique intestinal, le tiliquinol- tilbroquinol. (Fournier, 1996).

2.3. La famille des Pseudomonadaceae :

La famille des Pseudomonadaceae renferme des bacilles Gram négatif, mobiles par une ciliature polaire (rarement immobile), chimio- organotrophes et aérobies stricts. 5 genres sont actuellement inclus dans cette famille : *Pseudomonas* (genre type), *Xanthomonas*, *Frateuia*, *Zoogloea* et *comamonas*. Le genre *Xanthomonas* renferme des espèces phytopathogènes isolées uniquement en association avec des plantes. Les genres *Frateuria* et *Zoogloea* ne sont constitués que d'une seule espèce respectivement *F. aurantia* et *Z. ramigera* (isolée des eaux usées et des boues). Les souches appartenant à ces deux genres semblent être uniquement saprophytes. (Berche *et al.*, 1988).

2.3.1. Le genre *Pseudomonas* :

2.3.1.1. Habitat et Physiologie :

La plupart des *Pseudomonas* sont ubiquistes et vivent librement à l'état saprophytique dans l'eau douce ou le sol ou bien en association avec des plantes (de nombreuses souches sont phytopathogènes). Une seule espèce rarement rencontrée, *P.mallei*, est un parasite strict des animaux. La plupart des *Pseudomonas* sont peu fréquent au contact de l'homme ou des animaux (on les rencontre rarement sur la peau ou les muqueuses mais plus souvent dans la flore intestinale), cependant, de nombreuses espèces peuvent dans des conditions favorables coloniser l'homme ou l'animal et provoquer des infections de type nosocomiales. (Leminor et Veron, 1989).

2.3.1.2. Substances élaborées :

La production de pigments hydrosolubles diffusibles dans le milieu de culture est l'une des caractéristiques du genre *Pseudomonas*. Cependant c'est une propriété qui ne concerne pas l'ensemble des espèces et qui, de plus, varie selon les conditions de culture. Deux pigments sont particulièrement fréquents et utiles pour la reconnaissance des espèces :

- La pyocyanine, pigment phénazinique, soluble dans l'eau et de chloroforme, spécifique de l'espèce *P. aeruginosa* ou bacille pyocyanique.

La pyoverdine, ou pigment fluorescent, soluble uniquement dans l'eau et élaboré par les espèces du groupe fluorescent en particulier *P. aeruginosa* et *P. fluorescens*. (Leminor et Veron, 1989).

2.3.1.3. Pouvoir pathogène :

Le genre *Pseudomonas* est très hétérogène et le nombre d'espèces est important. A l'exception de *P. aeruginosa*, qui est très souvent rencontrée en bactériologie clinique et dont le pouvoir pathogène ne fait pas de doute, ainsi que *P.mallei* et *Pseudomallei* responsables respectivement de la morve et de la mélioïdose (actuellement rarement rencontrée), les autres espèces ont un pouvoir plus discutable. Elles peuvent cependant être responsables d'infections nosocomiales chez des sujets immuno- déprimés. (Leminor et Veron, 1989).

a- *P.aeruginosa* :

Sur le plan médical *P.aeruginosa* est présentée comme une bactérie « pathogène opportuniste » qui ne détermine des maladies que chez des sujets immuno- déprimés ou bien après inoculation agressive. Les infections à *P.aeruginosa* sont remarquablement polymorphes

dans leur expression clinique et dans leur localisation. Ce sont principalement : des otites externes ou internes, des méningites, des infections urinaires, pulmonaires, digestives, des septicémies survenant comme complication de maladies diverses chez des sujets particulièrement carencés...etc. La recrudescence actuelle des pathologies à *P.aeruginosa* est due à de nombreux facteurs :

- Une antibiothérapie sélective, qui entraîne un déséquilibre de la flore bactérienne normale et permet le développement massif de bacille pyocyanique résistant à de nombreux antibiotiques.
- L'application de nombreux traitements immuno- dépresseur, qui diminuent la résistance de l'organisme
- La pratique courante en milieu hospitalier de diverses investigations (soudages, endoscopies, perfusions...etc), exigent l'emploi de divers instruments difficilement stérilisable et souvent souillés par le bacille. (Leminor et Veron, 1989).

b- Autres *Pseudomonas* :

Les pathologies induites par les autres espèces de *Pseudomonas* sont proche de celle provoquée par *P.aeruginosa* : infection cutanées de plaies chirurgical, infections urinaires ou vasculaires, bactériémies, endocardites...etc. les espèces les souvent isolées sont : *P.putida*, *P.cepacia*, *P.maltophilia*, *P.paseudoalcaligenes* et *P.strutzeri*. (Leminor et Veron, 1989).

2.3.1.4. Diagnostic :

Le diagnostic des infections à *Pseudomonas* repose sur l'isolement du germe à partir des échantillons cliniques. Cependant, dans les échantillons de l'environnement ou dans des produits polymicrobiens, il est recommandé d'utiliser des milieux d'enrichissements spécifiques tels que le milieu cétrimide de Lowbury et collins.

L'étude sérologique est rarement effectuée, car la mise en évidence du germe est plus utile pour le diagnostic. Cette étude consiste néanmoins en des épreuves d'agglutination d'Ac anti- antigène O, anti- protéase alcalines ou anti- élastases. (Berche *et al.*, 1988).

2.3.1.5. Antibiothérapie :

Les *Pseudomonas* possèdent une résistance naturelle à de nombreux antibiotiques tels que les pénicillines du groupe A (ampicilline et dérivés), les céphalosporines de 1^{ère} et 2^{ème} génération, le chloramphénicol, les tétracyclines et le triméthoprim. A cette résistance naturelle,

s'ajoute une résistance acquise dont le support est surtout plasmidique et concerne principalement les aminosides.

A l'heure actuelle les antibiotiques considérées comme actif sur les *Pseudomonas* sont : les carboxypénicillines (carbénicilline et ticarcilline), les acyluréidopénicillines (pipéracillines), certaines céphalosporines de 3^{ème} génération (cefsulodine, ceftazidine) et récemment les monobactams (aztréonam) et les carbapénems (imipenem). (Leminor et Veron, 1989, Avril *et al.*, 2000).

2.4. La famille des Micrococaceae :

La famille des Micrococaceae comporte 3 genres de cocci Gram négatif, plus ou moins regroupée en amas ou en tétrades et qui diffèrent par leur G+C% : *Staphylococcus* (30- 39%), *Micrococcus* (65- 75%) et *Planococcus* (48- 52%). Ce dernier genre n'est pas rencontré qu'en bactériologie marine. Les espèces appartenant à ces trois genres sont aérobies facultatifs, Catalase (+), mobiles ou immobiles, asporulés et présentant toutes les tendances à l'halophilie (toutes cultivent en présence de 5% d'NaCl et beaucoup en présence de 10 à 15%). (Berche *et al.*, 1988).

2.4.1. Les genres *Micrococcus* :

Les *Micrococcus* sont des hôtes du sol, des poussières, des eaux, ainsi que de la peau et des muqueuses de l'homme ou des animaux. On les retrouve également dans certains produits alimentaires (laitages, conserves salées). Ils sont considérés comme non pathogènes, cependant des septicémies et endocardites ont été décrites, provoquées essentiellement par *M.luteus* et *M.lylae*. (Berche *et al.*, 1988).

2.4.2. Le genre *Staphylococcus* :

Les staphylocoques représentent un habit similaire aux Microcoques. Néanmoins leur pouvoir pathogène est très important et sont responsables d'un très grand nombre d'infections chez l'homme et l'animal. Ces bactéries survient et prolifèrent du fait de leur particulière résistance aux conditions hostiles de l'environnement, telle que la chaleur (résistent une heure à 60°C), la sécheresse (survivent plusieurs mois dans des produits pathologiques desséchés) ou à la salinité de l'eau.

Leurs caractères ubiquistes et saprophytes expliquent que ces germes soient aussi des commensaux occasionnels ou permanents de la peau et la muqueuse de l'homme ou de l'animal. Ainsi près de 50% des sujets sains sont porteurs de différents espèces de staphylocoques (nez,

gorge, mains...etc). Cette vie commensale associée à la virulence de certaines espèces qui sécrètent de nombreuses toxines et enzymes extracellulaires (*S.aureus*), explique que ces bactéries représentent l'une des causes majeures d'infections humaines. (Leminor et Veron, 1989). Actuellement 27 espèces appartiennent à ce genre dont l'espèce type est *S.aureus*. (Berche *et al.*, 1988).

2.4.2.1. *S. aureus* :

2.4.2.1.1. Habitat et physiologie :

Espèce ubiquiste adaptée à diverses niches écologiques et différents biotypes, le *S.aureus* présente un aspect de coques isolées en petits amas, en diplocoques ou en courtes chaînettes. Sur milieu solide, il se dispose le plus souvent en grappes de raisins et certaines souches peuvent former des colonies mucoïdes dues à une pseudocapsule. Aéroanaérobie facultatif, oxydase, catalase (+), il est actif sur les hydrates de carbone (notamment le mannitol), réduit le téllurite de potassium, les nitrates en nitrites et tolère de concentrations en sel de 7.5g% d'NaCl. Sa température optimale de croissance se situe à 37°C, mais il conserve toute sa vitalité sur milieu gélosé à 4°C la plupart des souches se caractérisent par la production d'un pigment jaune doré ou jaune citron dont le rôle physiologique reste méconnu. (Berche *et al.*, 1988, Leclerc, 1994).

2.4.2.1.2. Substances élaborées :

Toutes les souches de *S.aureus* produisent des protéines douées soit d'une activité toxique ou enzymatique. Ces protéines sont plus souvent à caractère extracellulaire, cependant certaines d'entre elles restent fixées à la membrane cytoplasmique. Ces substances produites par *S.aureus* sont de deux types:

- Les toxines Staphylococciques.
- Les enzymes.

2.4.2.1. 3. Pouvoir pathogène :

Les infections staphylococciques dues à *S. aureus* occupent en pathologie infectieuse une place importante par leur caractère polymorphe, mais également par leur gravité et leur fréquence en milieu hospitalier où des souches souvent résistantes à de multiples antibiotiques sont fréquemment sélectionnées par des traitements antibiotiques et propagées à l'occasion de soins infirmiers chez des malades immunodéprimés. (Leminor et Veron, 1989). Chez l'homme, les infections à *S. aureus* peuvent être de trois types :

- Les infections cutané- muqueuses qui sont les plus fréquentes et qui peuvent représenter à la fois une porte d'entrée et une forme initiale à des infections plus sévères.
- Les septicémies aiguës ou chroniques et qui sont la conséquence d'une dissémination du genre à partir d'un foyer localisé et en cela elles succèdent généralement à une infection cutané- muqueuse passée inaperçue.

Ces infections sont favorisées par des traumatismes locaux, la pose de corps étrangers (sonde, cathélier), interventions chirurgicales, brûlures étendues...etc. Ces septicémies débutent avec fièvre à 40°C et frissons et s'accompagnent souvent de métastases septiques atteignant le poumon, la rate, le foie, les os (ostéomyélites), les articulations, l'endothélium vasculaire (endocardite, phlébites)...etc. Les endocardites *S.aureus* sont fréquentes et particulièrement redoutables (20 à 30% de mortalité) malgré le traitement antibiotique.

- Les infections digestives qui se traduisent par des intoxications alimentaires qui surviennent après ingestion d'aliments contaminés.

2.4.2. 2. Les Staphylocoques à coagulase négatif (SCN) :

Les Staphylocoques dits coagulase négatif les plus impliqués chez l'homme sont : *S. epidermis*, *S. saprophyticus*, *S. haemolyticus*, *S. warneri*, *S. capitis*, *S. lugdunensis*, et *S. shleiferi*. (Leminor et Veron, 1989).

2.4.2.2. 1. Habitat et physiologie :

L'habitat et la physiologie des staphylocoques dépourvus de coagulase sont proches de ceux de *S. aureus*. Dont ils sont différenciés par un certain nombre de propriétés métaboliques. (Berche *et al.*, 1988).

2.4.2.2.2. Substances élaborées :

Les SCN élaborent un certain nombre d'enzymes tels que les hémolysines α , β , γ , δ , mais moins fréquemment que *S. aureus*. Parfois une fibrinolyse, une geucocidine ou une Dnase sont également élaborées chez les souches isolées d'infections. (Leminor et Veron, 1989).

2.4.2.2. 3. Pouvoir pathogène :

Les SCN sont le type même de bactéries opportunistes responsables d'infections nosocomiales leur importance en milieu hospitalier est grande. Et le risque infectieux par ces staphylocoques est d'autant plus élevé chez des sujets présentant une immuno – dépression,

soumis à des opérations chirurgicales comportant la mise en place de prothèses. (Leminor et Veron, 1989).

2.4.2.2.4. Diagnostic :

Le diagnostic d'une infection à staphylocoques repose essentiellement sur la mise en évidence du genre responsable dans les produits pathologiques. L'isolement est réalisé sur milieu ordinaire ou bien sur milieu sélectif (Chapman ou Baird – Parker). Et l'identification est basée sur la morphologie du germe en microscopie après coloration de Gram. L'individualisation de *S. aureus* reste fondée sur la mise en évidence de la coagulase libre. Mais il est recommandé de compléter ce test par la recherche d'autres caractères notamment biochimiques. Le diagnostic sérologique reste indispensable lors de culture négative (traitement antibactérien) ou lors d'atteinte d'organes profonds (prélèvement impossible). Ce procédé repose principalement sur le titrage des anti-staphylolysines α et γ et la détection d'anticorps anti- acide teichoïque. (Leminor et Veron, 1989).

2.4.2.2.5. Antibiothérapie :

Les infections à Staphylocoques posent des problèmes thérapeutiques parfois difficiles du fait de la fréquence des souches polyrésistantes aux antibiotiques. Près de 90 % des souches de *S. aureus* sont résistantes à la pénicilline G et un nombre important de souches résistent à d'autres antibiotiques tels que les Tétracyclines (60 à 80 %). Ces résistances sont en règle générale de nature plasmidique, mais des résistances d'origine chromosomique sont également observées. C'est le cas de la résistance à la méticilline (20 à 30 % des souches de *S. aureus* qui entraîne une résistance croisée in-vivo avec toutes les pénicillines et céphalosporines (Berche *et al.*, 1988).

A l'heure actuelle, peu d'antibiotiques présentent une sensibilité constante vis-à-vis de *S. aureus*. C'est le cas de la pristinamycine, de la rifampicine et de la vancomycine. Cette dernière reste l'antibiotique de recours pour le traitement des septicémies et des endocardites dues à des souches de *S. aureus* multirésistantes. (Leminor et Veron, 1989).

3. Les agents fongiques des infections à transmission hydriques :

3.1. Caractères généraux des champignons :

Les champignons constituent un groupe d'organismes extrêmement vaste (de l'ordre d' 1. 5 millions d'espèces dont 69000 identifiées) et très diversifié. On les rencontre dans de multiples habitats terrestres ou aquatiques. Ce sont des protistes supérieurs, eucaryotes, cryptogames à structure généralement filamenteuse, présentant une croissance cénocytique sous forme de

mycélium dont les filaments ramifiés sont appelés hyphes. (Grigori *et al.*, 1986). Ils constituent avec les algues et les lichens le groupe des thallophytes dont l'appareil végétatif est un thalle formé de filament ramifiés très grêle et dont l'ensemble constitue le mycélium. Ce dernier peut être soit continu (monocénocytaire) soit cloisonné (polycénocytaire). Dans ce cas les séparations cellulaires sont percées de plasmodesmes. (Fassatiouva, 1986).

Les champignons sont des organismes hétérotrophes incapables de synthétiser leurs molécules carbonées à partir du dioxyde de carbone atmosphérique, ce qui leur impose un mode de vie en relation étroite avec les milieux organiques préformés la majorité d'entre eux est capable de se développer sur des milieux très simple, contenant une source de carbone, d'azote et de sels minéraux. Cependant quelques espèces nécessitent pour leur croissance l'apport de vitamines telle que la thymine ou la biotine. (Fassatiouva, 1986).

Généralement aérobie leur métabolisme peut être toute fois oxydatif ou mixte. Le métabolisme fermentaire peut être également aérobie avec production d'acide organiques divers (citrique, gluconique, furamique...etc.), souvent intéressant au point de vue industriel, ou semi-anaérobie (fermentation alcoolique ou lactique). (Guiraud et Galzy, 1980).

Les champignons se développent à des températures variables (selon l'espèce) allant de 0 à 50°C, avec un optimum situé généralement entre 20 et 37°C. Une atmosphère humide et un pH légèrement acide sont également favorables à leur croissance, mais une large gamme de pH comprise entre 3 et 7 est généralement tolérée. (Koenig, 1995). Leur reproduction et leur dissémination s'effectuent grâce à la formation de cellules particulières appelées spores. Chez les formes les plus simples, la masse protoplasmique toute entière peut se transformer en unité reproductrice, mais dans la plupart des cas, celle-ci provient d'éléments spécialisés du thalle, qui constituent des organes de fructifications parfois hautement différenciés. Deux types fondamentaux de reproduction sont représentés :

- Une reproduction végétale assurée soit par des éléments issus directement du thalle: conidies, soit par des sporangiospores différenciés à l'intérieur d'une cellule spécialisée: le sporocyste.
- Une reproduction sexuée résultant de la fusion de deux éléments protoplasmiques uninucléés en seul zygote.

La majorité des champignons sont saprophytes, d'autres au contraire sont parasites de l'homme, des animaux et des plantes. Dotés de propriétés lytiques importantes, qui en font des agents de dégradation dangereux mais parfois des alliés utiles (production d'enzymes), les champignons jouent un rôle important dans l'équilibre biologique. (Guiraud et Galzy, 1980).

3.2. Pouvoir pathogène :

La plus grande partie des champignons responsables d'infections chez l'homme sont des pathogènes opportunistes et en ce sens ne provoquent de maladie que dans des conditions particulières. Il s'agit principalement de champignons levuriformes (*Candida*, *Torulopsis*, *Cryptococcus*) ou de champignons filamenteux (*Aspergillus*, *Mucor*, *Fusarium*, *Geotrichum*...etc). (Grigori *et al.*, 1986). Ces champignons peuvent être endogènes comme *C.albicans*, hôte banal du tube digestif et du vagin alors que d'autres espèces de *Candida* (*tropicalis*, *parapsilosis*, *guilliermondi*...etc) ainsi que *Torulopsus glabrta* ou *Deotrrichum candidum* sont à la fois endogènes (hôte des muqueuses digestive, bronchiques ou génitales, voir même de la peau) et exogènes (répandus dans la nature) ; d'autres enfin vivent exclusivement en saprophytes dans le milieu extérieur, c'est le cas : d'*Aspergillus*, des mucorales (*Mucor*, *Rhizopus*, *Absidis*), de *Cephalosporium*, de *Fusarium*, d'*Alternaria*, des *Dermotophytes*...etc. (Grigori *et al.*, 1986). Ces champignons déterminent chez l'homme des mycoses dont les principales sont :

- Les mycoses superficielles: Candidoses, Dermatophytes, Pitryosporoses.
- Les mycoses systémiques: Candidoses, Aspergillose, Cryptococoses favorisées par une immunodépression congénitale ou acquise.

Des agents autre fois plus rare : *Mucorales*, *Torulopsis*, *Trichosporon*...etc sont de plus en plus isolés. De même que les mycoses de type exotiques dont la plus fréquente étant l'Histoplasmose. (Bouree, 1983).

3.2.1. Les candidoses :

Les Candidoses sont des infections localisées ou généralisées dues au genre *Candida*, dont l'espèce *C.albicans* est très loin de l'espèce la plus importante. (Bouree, 1983).

a- Epidémiologie :

Les levures du genre *candida* sont les plus fréquentes en pathologie humaine. Elles représentent près de 83% des levures isolées chez l'homme. L'espèce *C.albicans* végète à l'état saprophyte dans les cavités buccales, le tube digestif ou plus rarement dans les voies génitales de l'homme. (Bouree, 1983).

b- Clinique :

Les Candidoses peuvent être généralisées ou superficielles. Ces dernières étant plus fréquemment isolées.

▪ Les candidoses superficielles :

Trois localisations sont particulièrement fréquentes :

- Les Candidoses bucodigestives telles que : le muguet, les entérocolites... etc.
- Les Candidoses urogénitales : valvovaginites, urétrites ...etc.
- Les Candidoses de la peau glabre et des ongles : l'intertrigo, peri-onyxis et onyxis. (Laurans et Koepfel, 1995).

▪ Les Candidoses profondes ou systémiques :

Ce sont les manifestations les plus graves, et qui se traduisent par des :

- Septicémies, dont l'agent responsable est essentiellement *C.albicans* mais également plusieurs autres espèces considérées jusqu'ici comme inoffensives : *C.parapsilosis*, *C.krusei* et *C.guilliermondii*.
- Candidoses viscérales dont les formes les plus graves sont : la forme méningée ou endocarditique. (Laurans et Koepfel, 1995).

3.2.2. Les dermatophytes :

Les dermatophyties désignent l'ensemble des manifestations pathologiques humain ayant pour facteur commun le groupe des dermatophytes. Ce dernier comprend de nombreuses espèces réparties à l'intérieur de trois genres : *Trichophyton*, *Microsporum* et *Epidermophyton*. (Grigori *et al.*, 1986).

a- Epidémiologie :

Le réservoir naturel des dermatophytes est généralement le sol et la kératine qu'il contient ; ils y vivent en saprophytes, cependant certains d'entre eux sont strictement adaptés à la vie parasitaire et ne se rencontrent pas à l'état saprophytique. (Grigoriu *et al.*, 1986).

b- Clinique :

Les dermatophytes sont caractérisées par leur incapacité à franchir la barrière cutanée (absence de toute localisation profonde), et sont responsables des mycoses superficielles dont :

- L'épidémiomycose de la peau glabre.
- Les teignes du cuir chevelu.
- Les Onyxis.

3.3. Traitement :

Le traitement des mycoses a connu ces dernières années un progrès considérable. En effet, si le traitement des mycoses cutanéomuqueuses et des phanères ne présente guère plus de problèmes notamment par l'introduction de traitements antiseptiques tels que : l'ammonium quaternaire et le violet de gentiane, le traitement des mycoses profondes n'était guère résolu. La découverte d'un certain nombre d'antifongiques très efficaces in vivo sur un certain nombre de champignon tel que : la Natistadine, l'amphotéricine B, la griseofulvine... etc. a permis l'amélioration des mauvais pronostics notamment chez les sujets immunodéprimés. La durée du traitement peut varier de un à trois mois en fonction de la localisation de l'infection et l'état immunitaire du sujet. (Bouree, 1983).

Étude expérimentale

D
E
S
X
I
E
M
E
P
A
R
T
I
E

Chapitre 3

Pour contribuer à l'étude de l'évolution de la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux souterraines de la région de Guelma, nous avons choisis six points d'eau (puits et sources), qui sont localisés dans les communes de Guelma, Belkhier, et Boumahra Ahmed (Fig. 14).

Notre étude concerne essentiellement l'exposition de ces points d'eau aux pollutions liées à l'activité humaine, ainsi l'influence de la nature lithologique sur la composition chimique de ces eaux. Ces sources et puits sont tous situés sur les principaux axes routiers et dans des agglomérations. Ils sont donc à usage quotidien d'où la nécessité d'un suivi rigoureux de leur qualité microbiologique et chimique, et leur degré de potabilité ou de pollution. Pour cette étude, 10 prélèvements sont effectués dans une période allant du mois de septembre 2008 jusqu'au mois de juin 2009.

Tab. 14. Présentation des points de prélèvement (Puits)

Caractéristiques	Utilisation	Niveau d'eau (m)	Point de prélèvement
Puit individuel, cimenté, ni équipé d'une margelle.	- Alimentation en eau potable	3,85	Puit 1 (P1)
Puit individuel, cimenté, équipé d'une margelle.	- Irrigation - Dosage domestique - Alimentation en eau potable	3,65	Puit 2 (P2)
Puit collectif, traditionnel non protégé, pas cimenté, ni équipé d'une margelle.	- Irrigation - Dosage domestique	1,70	Puit 3 (P3)

Tab. 15. Présentation des points de prélèvement (Sources)

Caractéristiques	Point de prélèvement
Equipée d'un tuyau	Source 1 (S1)
Jaillissante	Source 2 (S2)
Jaillissante	Source 3 (S3)

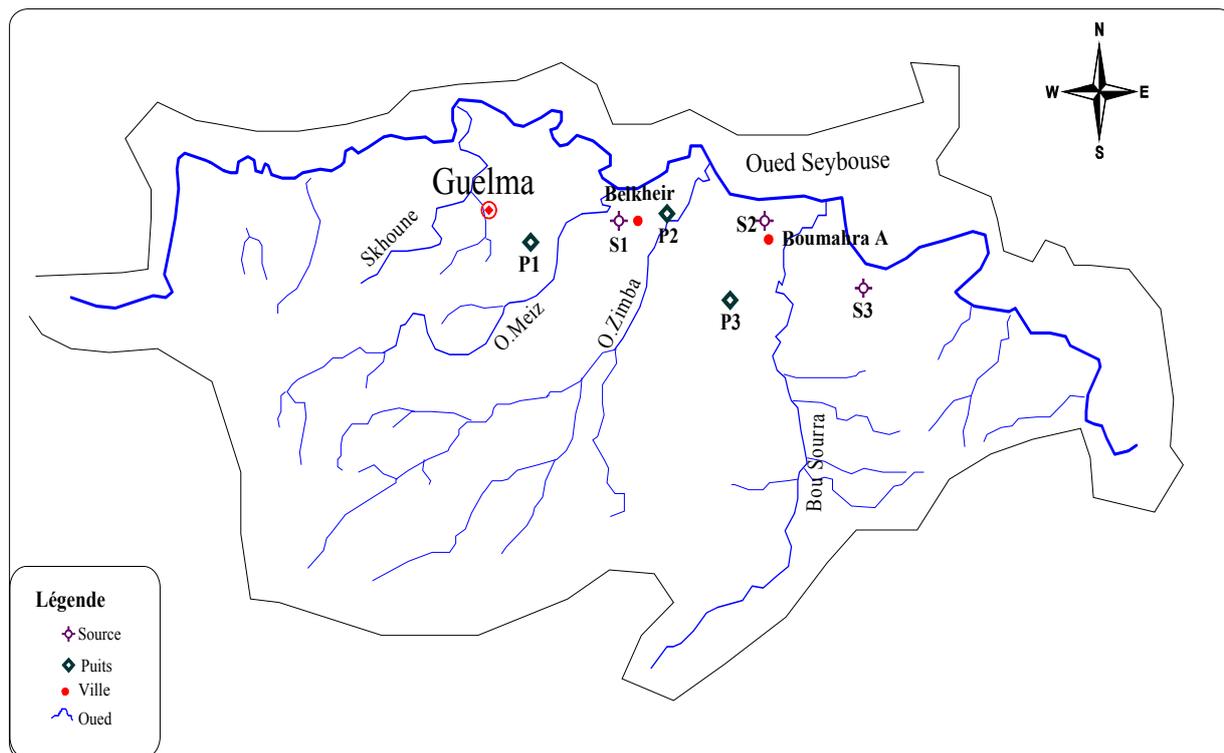


Fig. 14. Localisation des points de prélèvement

1. Etude bactériologique :

1.1. Introduction :

La capacité de survie des bactéries dans les eaux souterraines est limitée (Gerba *et al.*, 1975). Les études menées ont démontrées entre autre que la survie des virus dans les eaux souterraines est plus importante que celle des indicateurs bactériens (Keswish *et al.*, 2000 in Mejdoub *et al.*, 2003). D'après G. McFeters, la réduction de 50 % des coliformes, dans l'eau des puits se fait pendant 17 heures (Gerba *et al.*, 1975).

Les eaux d'irrigations répandues sur les sols contiennent des microorganismes pathogènes qui rencontrent dans le sol des conditions de survie défavorables et qui conduisent à leur destruction progressive (Stengel *et al.*, 1998). De plus, la grande taille des microorganismes pathogènes, comparativement aux contaminants chimiques, réduit leur déplacement au sein de la matrice de sol et par conséquent leur transport en profondeur vers les eaux souterraines, lorsqu'il y'a un déplacement vertical, celui-ci tend à s'effectuer le long des voies d'écoulement préférentiel. Cependant en cas d'élimination insuffisante ces pathogènes peuvent être à l'origine de la contamination des eaux souterraines. En dépit de leurs faibles taux de survie et de déplacement dans l'environnement des microorganismes pathogènes ont été détecté dans les eaux souterraines (Mejdoub *et al.*, 2003). Il est relativement facile d'évaluer ce risque microbiologique par la mise en évidence des germes tests d'origine fécale.

1.2. Prélèvement de l'eau :

Les prélèvements pour analyse bactériologique nécessitent de nombreuses précautions de façon à ne pas contaminer l'échantillon lors de sa prise. Il faut utiliser de préférence des flacons en verre pyrex munis d'un large col et d'un bouchon à visse métallique. Le mode de prélèvement varie suivant l'origine de l'eau à analyser.

- Eau de puit :

Le prélèvement est effectué à l'aide d'un flacon stérile muni d'un cordon. Au moment de prélèvement nous ouvrons un peu le flacon et nous l'introduisons dans le puit en prenant soin de ne pas contaminer l'échantillon. En suite nous retirons le flacon rempli d'eau nous détachons le cordon et le flacon est refermé aseptiquement. De toute façon, il faut éviter de toucher les bords et le fond de puit et il faut prélever à au moins 30 cm au dessous de la surface (Guiraud, 1998).

- Eau de source jaillissante :

Le prélèvement est effectué le plus près possible de l'émergence, nous débouchons le flacon et nous le plaçons dans une position où l'ouverture tournée dans la direction d'où provient le flux puis nous rebouchons soigneusement (Thierrin *et al.*, 2001).

- Eau de source équipée d'un tuyau :

L'eau est recueillie directement dans le flacon stérile. Il ne doit, en aucun cas, avant le prélèvement, débarrasser le goulot de ses éventuels dépôts de calcaire ou d'algue. Le goulot d'une eau courante ne contamine pas l'échantillon (effet "autonettoyant" du jet). (Thierrin *et al.*, 2001).

Les prélèvements sont effectués entre 8:30 h et 11:30h.

1.3. Précautions concernant l'échantillonnage :

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 les 24 heures. En principe, la température de l'eau ne doit pas être modifiée jusqu'à son traitement au laboratoire. Si le transport doit dépasser une heure, il faut utiliser une boîte isotherme munie d'éléments réfrigérants (Guiraud, 1998).

1.4. Méthodes d'analyse :**1.4.1. Recherche et dénombrement des germes revivifiables :**

La recherche et le dénombrement des germes revivifiables se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les microorganismes à tendance psychrophiles soit à 22°C et ceux mésophiles soit 37°C. (Rejsek, 2002).

Mode opératoire :

A partir de l'eau à analyser (solution mère), porter aseptiquement 1 ml en double dans le fond de deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique la (Fig. 15). Compléter en suite avec environ 15 à 20 ml de gélose TGEA fondue, maintenue à 45°C. Agiter doucement par un mouvement circulaire et de va-et-vient en forme "8" pour assurer un mélange homogène de l'eau et de la gélose, sans faire de bulles d'air et sans mouiller les bords de la boîte. Le milieu doit être coulé 10 minutes au plus tard après reproduction de l'eau à analyser, laisser solidifier sur la palliasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose

Retourner les boîtes et incuber le premier lot à 37°C pendant 48 heures et le second à 22°C pendant 72 heures avec:

- Une première lecture à 24 heures
- Une deuxième lecture à 48 heures,
- Et une troisième lecture à 72 heures.

Lecture :

Les germes revivifiables se présentent dans les deux cas sous formes de colonies lenticulaires poussant en masse.

Dénombrement :

Il s'agit de dénombrer toutes les colonies, en tenant compte des deux remarques suivantes:

1. Dénombrer les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies.
2. Les résultats sont exprimés en nombre de micro-organismes revivifiables par ml d'eau à analyser à 22°C et 37°C.

1.4.2. Recherche et dénombrement des germes témoins de contamination fécale:

1.4.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes :

La colimétrie consiste à déceler et dénombrer les germes coliformes dont les coliformes fécaux, "notamment d'origine fécale". Elle se réalise en deux étapes :

- La recherche présomptive des coliformes.
- La recherche confirmative des coliformes et coliformes fécaux.

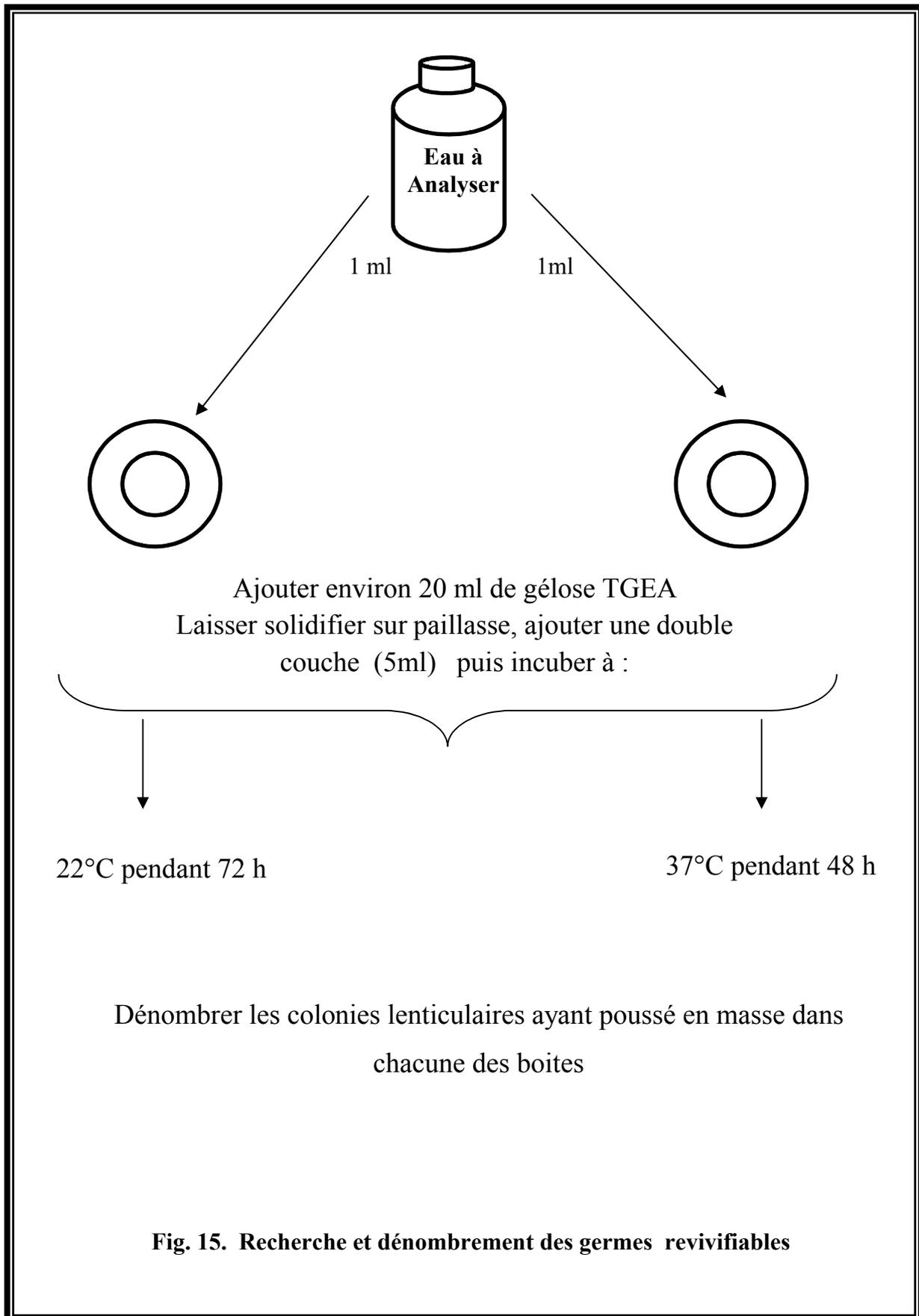
Mode opératoire :

a. Test présomptif :

Il est effectué en utilisant le bouillon Lactosé au Bromocrésol Pourpre (BCPL). Tous les tubes sont munis de cloches de Durham pour déceler le dégagement éventuel du gaz dans le milieu.

A partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement:

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu BCPL D/C.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL D/C.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu BCPL S/C. (Fig. 16).



- Chassez l'air éventuellement présent dans les cloches de Durham et mélanger bien le milieu et l'inoculum. L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures. (Lebres, 2006).
- Les tubes présentant un aspect trouble de couleur jaune et du gaz dans la cloche, sont considérés comme positif autrement dit pouvant contenir des coliformes totaux.
- Noter le nombre de tubes positifs dans chaque série et se reporter à la table de Mac Grady (Méthode 1.5.5) pour obtenir le nombre de coliformes totaux présents dans 100 ml d'eau à analyser.

b. Test confirmatif :

A partir de chaque tube de BCPL positif, ensemercer deux ou trois gouttes dans un tube de milieu indole mannitol (milieu Schubert) muni d'une cloche de Durham. L'incubation se fait à $44^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 24 - 48 heures comme la montre la (Fig. 16). Dans les tubes montrant un trouble et un dégagement gazeux dans la cloche de Durham, ajouter quelques gouttes de réactif Kowacks. Une réaction considérée positive correspond à la formation d'anneau rouge à la surface de tube autrement dit présence de coliformes fécaux *E.coli*.

Noter le nombre des tubes positifs et exprimer le résultat selon la table de Mac Grady (Méthode 1.5.5) pour déterminer le nombre le plus probable (N.P.P) de coliformes fécaux par 100 ml d'échantillon.

1.4.2.2. 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.

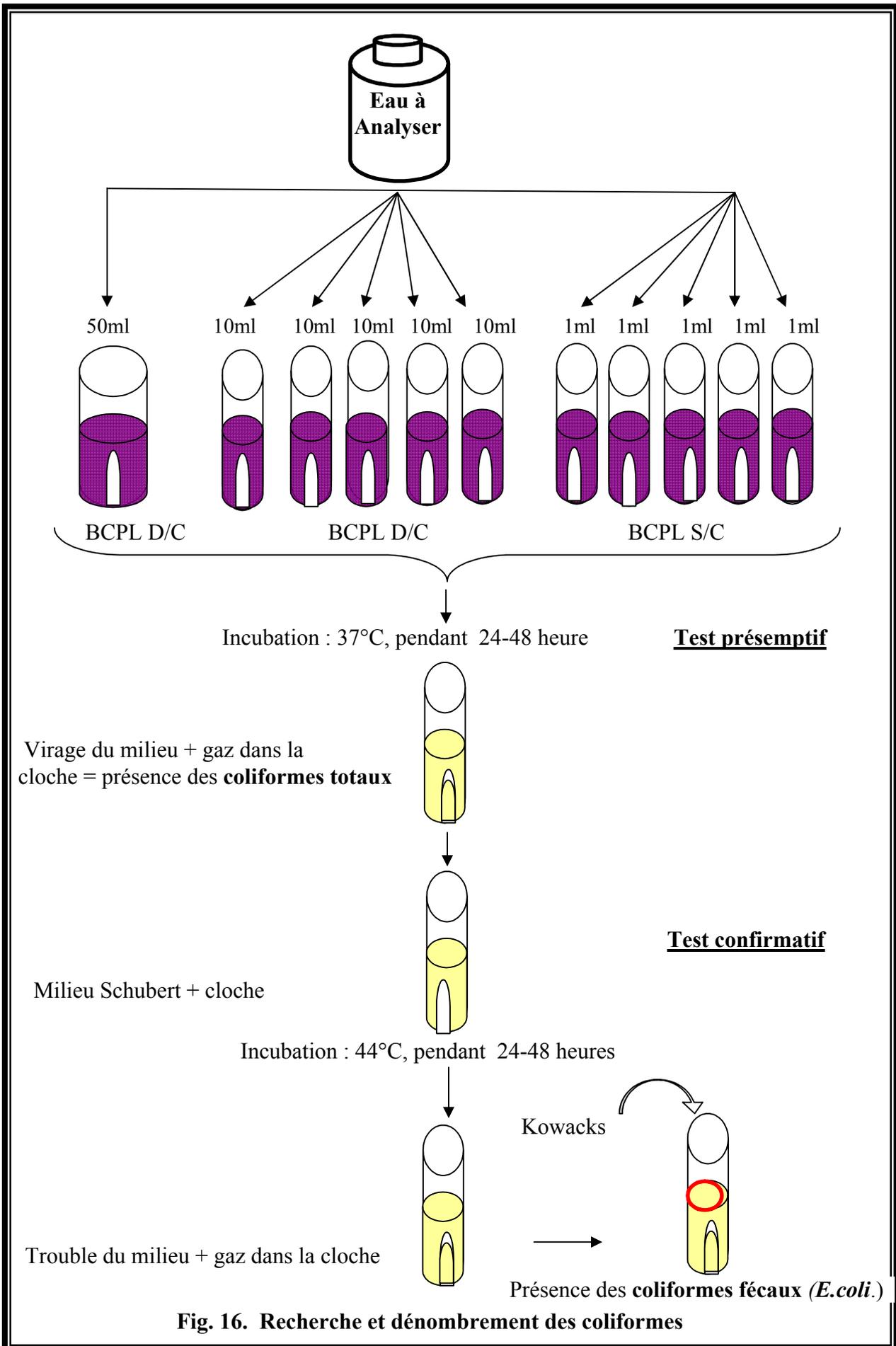
Mode opératoire :

a. Test présomptif :

A partir de l'eau à analyser bien homogénéisé, ensemercer :

- 50 ml dans un flacon contenant 50 ml de milieu Rothe D/C.
- 5 fois 10 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe D/C.
- 5 fois 1 ml dans 5 tubes contenant 10 ml de milieu Rothe S/C. (Fig. 17)

Incuber les tubes à 37°C pendant 24 à 48 heures. Les tubes présentant un trouble microbien pendant cette période seront considérés comme susceptibles de contenir un



streptocoque fécal, ils seront obligatoirement soumis au test confirmatif. Noter le nombre de tubes positifs dans chaque série (Fig. 17). (Lebres, 2006).

b. Test confirmatif :

A partir des tubes de bouillon positif, ensemercer 2 ou 3 gouttes dans un bouillon à l'éthyle violet et acide de sodium (Eva – Litsky). Incuber les tubes à 37°C pendant 24 heures (Fig. 17). Considérés comme positif les tubes pour les quels nous observons un trouble due au développement bactérien, avec ou sans dépôt violet.

Compter les tubes positifs dans chaque série et se reporter à la table de Mac Grady (Méthode 1.5.5) pour obtenir le nombre de streptocoques fécaux présent dans 100 ml d'eau à analyser.

1.4.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) :

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram+, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie (VF) en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. (Rejsek, 2002).

Mode opératoire :

Après l'avoir homogénéiser soigneusement, introduire 25 ml d'eau à analyser dans un tube stérile et placer celui-ci dans un bain d'eau à 80°C pendant 10 minutes dont le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes, puis refroidir rapidement sous l'eau de robinet. Répartir ensuite le contenu de ce tube, dans 4 tubes stériles, à raison de 5 ml par tube.

- Couler dans chacun d'eux 20 ml de gélose VF, fondue puis refroidir à $45 \pm 1^\circ\text{C}$, additionnée 1 ml de la solution de sulfite de sodium et 4 gouttes de la solution d'alun de fer. Mélanger doucement sans incorporer de bulles d'air.

- Laisser solidifier sur la paillasse pendant 30 minutes environ, puis incuber à 37°C pendant 24 à 48 h (Fig. 18). (Lebres, 2006).

Lecture et expression des résultats :

Considérer comme résultat d'une spore de bactérie anaérobie sulfito-réductrice toute colonie noire entourée d'un halo noir. Exprimer le résultat en nombre de spore par 20 ml d'eau à analyser. (Rejsek, 2002).

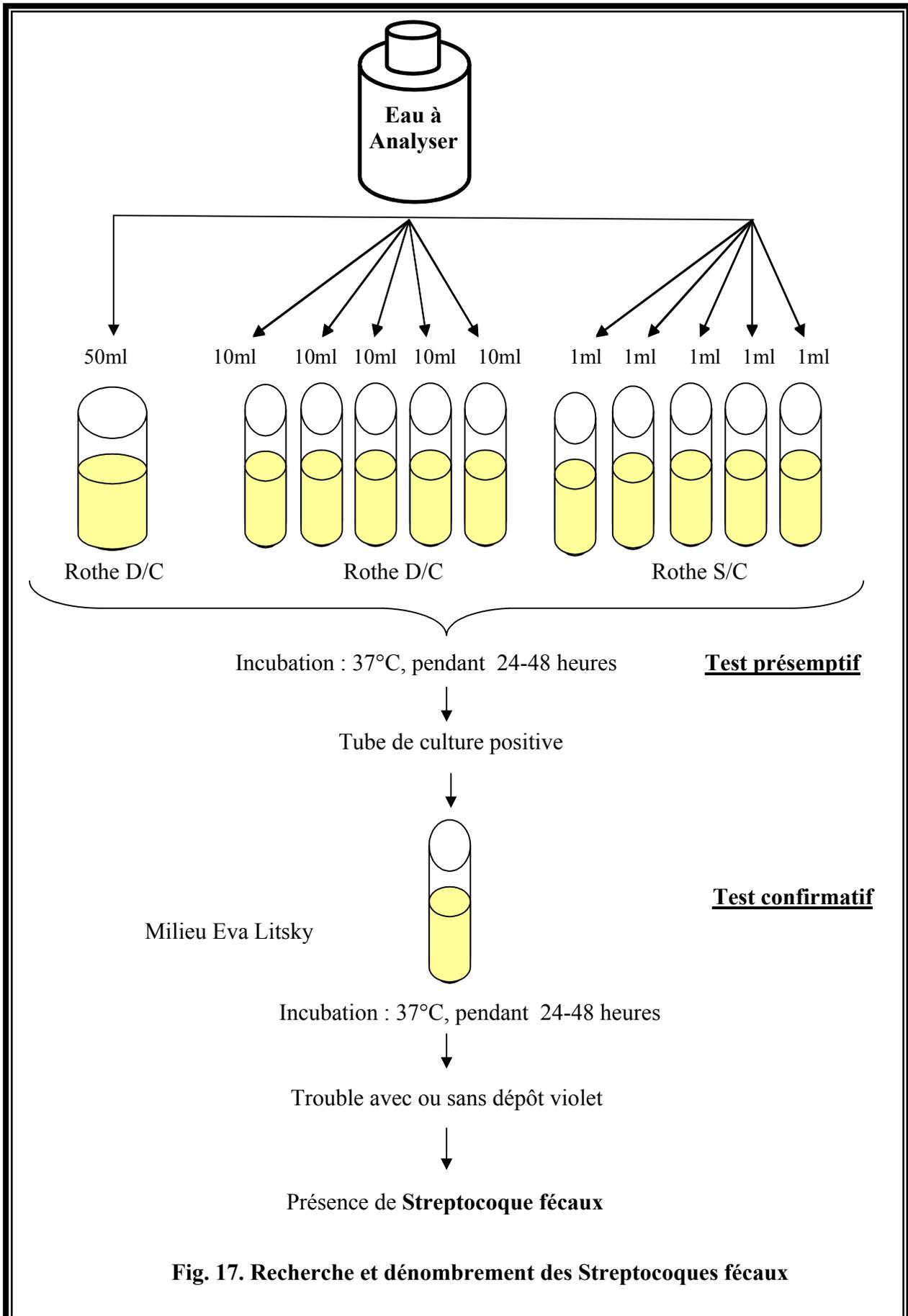


Fig. 17. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

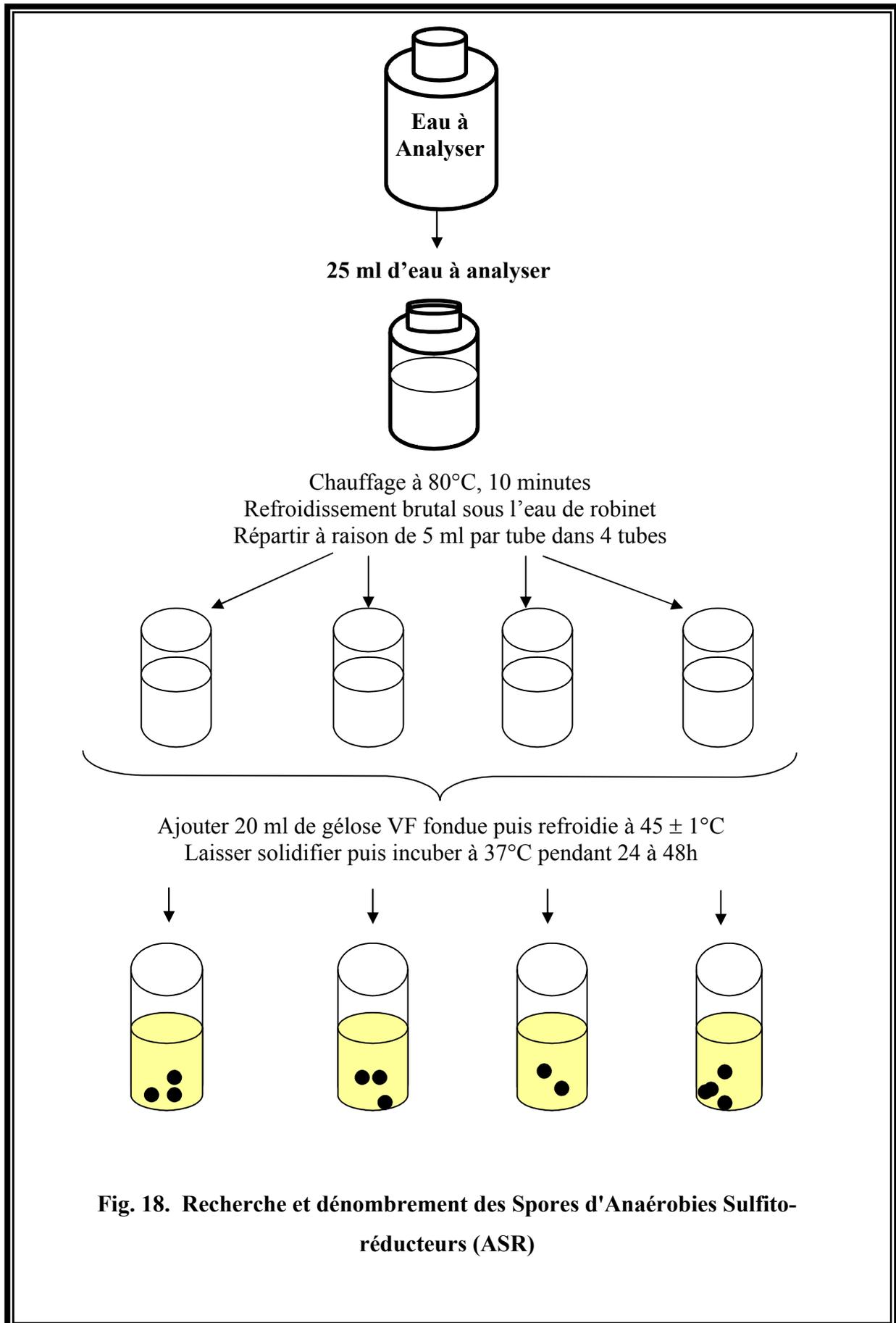


Fig. 18. Recherche et dénombrement des Spores d'Anaérobies Sulfite-réducteurs (ASR)

1.4.4. Recherche bactérien et isolement des germes pathogènes :

1.4.4.1. Méthode d'ensemencement sur gélose :

Les géloses employées sont : Mac Conkey, Hektoen, Salmenelles-Schigelles (SS), Chapman, et gélose nutritive (GN). L'ensemencement par stries sur boîtes de Pétri est pratiqué le plus souvent dans un but d'isolement. L'inoculum est prélevé directement à partir de l'eau à analyser est déposé sur un point périphérique de la gélose puis disséminé par stries sur toute la surface. Les boîtes sont codées puis incubées à 37°C pendant 24-48 heures.

1.4.4.2. Isolement et purification des souches :

Sur les géloses Mac Conkey, Hektoen, Chapman, gélose Nutritive, qui sont mises en culture, nous avons choisi les colonies suspects ou désirées et les repiqué dans des nouvelles boîtes gélosés afin de vérifier la pureté des souches. Ces milieux gélosés sont ensemencés par stries et incubés à 37°C pendant 24 heures.

1.4.4.3. Identification :

1.4.4.3.1. Caractéristiques morphologiques :

Dans les conditions données, chaque espèce bactérienne développe une colonie de taille, de forme, de couleur et de consistance caractéristiques. (Singleton, 1999). Nous avons noté pour chaque type des colonies distinctes les caractéristiques suivants: (diamètre, contour, élévation, couleur, surface).

1.4.4.3.2. Examen microscopique :

- **Examen microscopique à l'état frais :**

L'état frais permet d'observer des bactéries vivantes et apporte des renseignements sur la morphologie, le mode de groupement, la mobilité et la quantité approximative de bactéries. (Delarras *et al.*, 2003).

Technique :

- A partir d'une culture en milieu liquide, déposer sur une lame propre bien dégraissée une goutte de la culture à étudier à l'aide d'une anse de platine préalablement stérilisée.
- A partir d'une culture sur milieu solide, déposer tout d'abord sur une lame une goutte d'eau distillée stérile. Puis apporter et dissocier dans l'eau un inoculum bactérien.
- Recouvrir d'une lamelle, puis luter la préparation avec de la paraffine ou de la vaseline.

- Observer au microscope à l'objectif moyen $\times 40$. Pour mettre en évidence certains détails de structure, utiliser alors l'objectif $\times 100$ à immersion. (Delarras *et al.*, 2003).

- **Examen microscopique après coloration de Gram :**

A partir des colonies suspectes isolées sur les milieux de cultures précédents, nous avons réalisé une coloration Gram.

Principe :

La coloration de Gram ou coloration différentielle s'effectue de la manière suivante :

- Préparation d'un frottis bactérien.
- Coloration par le violet : laisser agir la solution de cristal violet pendant 1mn et laver à l'eau.
- Mordançage : laisser agir le Lugol pendant 1mn et laver à l'eau.
- Décoloration : laisser agir l'alcool pendant 30 secondes et laver à l'eau.
- Recoloration : laisser agir la solution de Fuschine pendant 30 à 40 secondes, laver à l'eau et sécher. (Bourdon et Marchal, 1973; Delarras *et al.*, 2003).

1.4.4.3.3. Identification biochimique :

- **La Galerie API 20 E :**

But :

La galerie API 20 E est un système pour l'identification des Enterobacteriaceae et autres bacilles Gram (-), utilisant 20 tests biochimiques standardisés et miniaturisés, ainsi qu'une base de données.

Principe :

La galerie API 20 E comporte 20 micro-tubes contenant des substrats sous forme déshydratée. Les tests sont inoculés avec une suspension bactérienne. 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 selon le profil numérique à l'aide du catalogue analytique API 20 E.

Mode opératoire :

L'opération s'effectue selon les étapes suivantes :

- Réunir fond et couvercle d'une boîte d'incubation et répartir environ 5 ml d'eau distillée dans les alvéoles pour créer une atmosphère humide.
- Remplir tubes et cupules des tests : CIT, VP, GEL, avec la suspension bactérienne.
- Remplir uniquement les tubes (et non les cupules) des autres tests.
- Créer une anaérobiose dans les tests : ADH, LDC, ODC, URE, H₂S en remplissant leur, cupules avec l'huile de paraffine.
- Refermer la boîte d'incubation, coder et placer à 37°C pendant 18-24 heures.

Lecture :

- Noter sur la fiche de résultats toutes les réactions spontanées.
- Si le glucose est positif et / ou si 3 tests ou plus sont positifs : révéler les tests nécessitant l'addition de réactifs.
 - Test VP : ajouter une goutte de réactifs VP1 et VP2. Attendre au minimum 10 minutes. Une couleur rose franche ou rouge indique une réaction positive.
 - Test TDA : ajouter une goutte de réactif TDA. Une couleur marron foncée indique une réaction positive.
 - Test IND : ajouter une goutte de réactif de Kowacks. Un anneau rouge obtenu en 2 minutes indique une réaction positive.
- La lecture doit se faire selon le profil numérique à l'aide du catalogue analytique API 20 E.

1.4.4. 4. Profil biochimique pour *Staphylococcus aureus* :

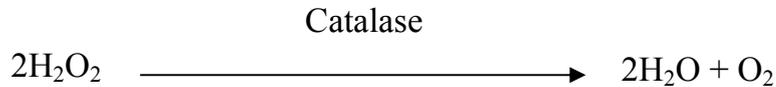
Les tests qu'on pu réaliser pour les staphylocoques sont:

- **Recherche de la catalase :**

La recherche d'une catalase est un test important pour différencier les staphylocoques des streptocoques. Les staphylocoques donnent des réactions positives alors que les autres donnent des réactions négatives.

Principe :

La catalase est une enzyme qui dégage l'eau oxygène (issus de la voie respiratoire Oxydative directe) en eau et oxygène libre qui se dégage sous forme gazeuse selon la réaction suivante:

**Technique :**

Déposer sur une lame une goutte d'eau oxygénée à 10 volumes et y ajouter directement un peu de culture à étudier prélevée sur milieu Chapman.

- Si la souche examinée possède une catalase, nous observons un dégagement immédiat de bulles gazeuses. (Delarras, 2003).

- **Dégradation du mannitol :**

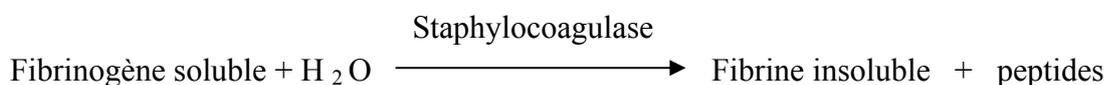
Nous avons ensemencé chaque tube du milieu mannitol par piqûre centrale à partir du milieu d'isolement Chapman. Après 24 heures d'incubation, le test positif (dégradation du mannitol) se traduit par virage au jaune du milieu.

- **Recherche de la staphylocoagulase :**

Ce test a pour but de mettre en évidence la pathogénécité d'un staphylocoque. Les staphylocoques pathogènes secrètent une enzyme dite "la staphylocoagulase" qui a la propriété de coaguler le plasma. (Leminor, 1994).

Principe :

La staphylocoagulase est une enzyme qui permet de catalyser la transformation du fibrinogène (soluble) en fibrine (insoluble) selon la réaction suivante:

**Technique :**

A partir des colonies suspectes sur le milieu Chapman, ensemencer un bouillon cœur-cerveille (ou Brain Heart Infusion Broth = BHI Broth). Incuber les tubes à 37°C pendant 20 – 24 h. Mélanger ensuite dans un tube stérile à hémolyse 0,1 ml de la culture obtenue en BHIB avec 0,3 ml de plasma de lapin. Porter à l'étuve à 37°C et examiner les tubes 2h, 6h puis 24 h après.

On considère qu'il y a une réaction positive lorsque le plasma est coagulé et qu'on peut retourner le tube même si cela s'accompagne d'un léger écoulement (Bourgeois et Leveau, 1980).

1.4.5. Recherche de *Candida albicans* et des champignons :

- **Principe :**

Un milieu sélectif est ensemencé en surface, les colonies développées après incubation seront confirmées par des tests d'identification complémentaires.

1- Isolement :

L'isolement des levures peut être pratiqué sur le milieu Sabouraud. Ce milieu est rendu sélectif par addition de chloramphénicol (0.5 mg/ml) ou de gentamicine (0.04 mg/ml).

- **Technique :**

Étaler 0,5 ml d'eau, en surface du milieu. Incuber à 37°C pendant 24 à 48h, ensuite prolonger l'incubation à la température ambiante du laboratoire.

- **Lecture :**

La lecture se fait au bout de 48 heures, et peut aller jusqu'à 7 jours. Les colonies de *Candida albicans* apparaissent bombées, crémeuses et blanchâtres. Elles sont lisses et peuvent se plisser en vieillissant.

2- Identification :

La technique d'identification classique repose sur la blastère : filamentation en sérum, exclusive à l'espèce *Candida albicans*.

- **Technique :**

Incuber 1 ml de suspension de la souche de levure suspecte avec 1 ml de sérum humain pendant 3 heures à 37°C.

- **Lecture :**

Observer au microscope entre lame et lamelle. *Candida albicans* montre des tubes germinatifs, qui sont minces et plus longs que les cellules mères.

2. Etude physico-chimique :

Les caractéristiques physico-chimiques des eaux souterraines dépendent d'un certain nombre de facteurs tels que la composition chimique et minéralogique des terrains traversés, la structure géologique, les conditions d'écoulement, les conditions physico-chimiques locales. D'éventuelles pollutions peuvent modifier les caractéristiques naturelles de l'eau. Nous déterminons ces caractéristiques à l'aide de mesures et d'analyses différentes. (Thierrin *et al.*, 2001). Aussi, le but principal de ces études est de connaître l'origine de l'eau, ainsi que leur potabilité ou leur degré de pollution. (Detay, 1993).

2.1. Prélèvement de l'eau :

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

- Eau de puit :

Le prélèvement est effectué à l'aide d'un récipient plastique.

- Eau de source :

L'eau à été recueillie directement dans le flacon. Le prélèvement de l'eau de source jaillissante doit se faire le plus près possible de l'émergence de l'eau a un endroit où l'eau n'a pas encore coulé de manière turbulente.

A chaque prélèvement, les flacons sont rincés d'abord avec l'eau à analyser puis ils sont remplis jusqu'au bord, rebouchonnés, étiquetés et conservés immédiatement dans une glacière portative avec une réserve de froid suffisante pour garder une température inférieure à 4°C, jusqu'à l'arrivée au laboratoire.

2.2. Méthodes d'analyse :

2.2.1. Paramètres physiques :

2.2.1.1. La température (T) :

La température est le paramètre le plus important dans les analyses de l'eau. Elle a une influence directe sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et à une grande influence sur l'activité biologique. La température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine (Roux, 1987). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. (Rodier, 2005).

La mesure de la température est effectuée sur le terrain à l'aide d'un thermomètre portatif. Nous lirons directement la température exprimée en degré Celsius (C°).

2.2.1.2. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés d'électrons. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. (Saadali, 2007).

La conductivité est également fonction de la température de l'eau: elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle s'exprime en micro siemens par centimètre (Detay, 1993).

La qualité de l'eau en fonction de la conductivité est définie de la manière suivante :

- Conductivité de 50 à 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Qualité excellente
- Conductivité de 400 à 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Bonne qualité
- Conductivité de 750 à 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Qualité médiocre mais eau utilisable
- Conductivité $>$ de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Minéralisation excessive.

Mode opératoire :

La mesure est effectuée sur le terrain par un conductimètre, que nous plongeons l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser.

Lecture :

La valeur de conductivité s'affiche directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.2.1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH mesure la concentration en ions H^+ . Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau. (Castany et Margot, 1977). Il joue aussi un rôle primordial dans les processus biologiques qui exigent des limites très étroites de pH (Zeddouri, 2003). La mesure du pH donne des renseignements importants sur la nature des eaux (Detay, 1993). D'une façon générale, le pH des eaux naturelles est lié à la nature de terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. (Rodier, 1996).

Nous avons mesuré le pH par un pH mètre, du type : MP 220 qui donne directement la valeur du pH de l'échantillon.

2.2.1.4. La turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, algues, micro-organismes, etc. C'est un paramètre important dans le contrôle de la qualité des eaux (Rodier, 1984; OMS, 1986). La mesure en continu de ce paramètre dans les eaux souterraines peut révéler une détérioration temporaire de la qualité de l'eau en fonctions de phénomènes liés à l'érosion, de l'intensité des crues, ou de l'importance des pompages. (Thierrin *et al.*, 2001).

La mesure est effectuée avec un turbidimètre appelé aussi néphélomètre, du type : HACH 2100N. Il s'agit d'un photomètre particulier qui mesure l'intensité de la lumière diffuse par l'échantillon, cette lumière étant mesurée selon un axe orienté en principe à 90° par rapport à la direction de la lumière incidente. Avant d'effectuer une série de mesure, il faut procéder à l'étalonnage de turbidimètre.

Mode opératoire :

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique et avec l'eau à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure. Il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

Expression des résultats :

La mesure est obtenue directement en NTU.

2.2.2. Paramètres chimiques :**2.2.2.1. Oxygène dissous (O₂):**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne la vie des microorganismes aquatiques et généralement le fonctionnement de cet écosystème. La diminution de sa teneur génère un milieu favorable à la fermentation et aux dégagements d'odeurs. Sa solubilité est en fonction de la température, la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité (Rodier, 1994). La mesure de l'oxygène dissous (mg/l ou en % saturation) est importante car elle permet de fournir des informations concernant la dégradation de substances organiques (réactions biochimiques), la provenance de l'eau, la mobilisation potentielle de certains métaux, etc. (Thierrin *et al.*, 2001). La détermination de l'oxygène dissous (O₂) est réalisée au terrain à l'aide d'un oxymètre portatif. La méthode de mesure se base sur l'électrolyse se produisant entre une anode en argent et une cathode en or.

L'appareil permet la mesure des paramètres suivants :

- Concentration en O₂ dissous (mg/l).
- Saturation en O₂ dissous (%), qui est fonction de la pression et de la température.
- La température (C°).

Plonger l'électrode de l'appareil dans l'eau à analyser et procéder à la mesure sans délai. Le temps de stabilisation de mesure est d'environ 1 minute.

2.2.2.2. 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). La dureté s'exprime souvent en degré français (F°) selon le classement suivant:

- 0 à 7° : eau très douce,-
- 0 à 14° : eau douce-
- 14 à 20° : eau moyennement dure,
- 20 à 30° : eau assez dure,
- 30 à 50° : eau dure,
- 50° et plus : eau très dure.

Détermination de la dureté totale :

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

Méthode titrimétrie à l'EDTA :

Principe :

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type chélate par le sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique à pH 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du Mg^{2+} , la méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium. (Rodier, 1996, 2005).

Mode opératoire :

Introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250 ml, ajouter 4 ml de solution tampon pH 10 et 3 gouttes d'indicateur au noir ériochrome T. La solution doit se colorer 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 jusqu'au virage du violet au bleu. Noter le volume versé V_{EDTA} .

Expression des résultats :

La concentration totale en calcium et magnésium, exprimée en mmole/L est donnée par l'expression suivante :

$$100 \times C_{EDTA} \times V_{EDTA} / E.$$

E = volume en ml de la prise d'essai.

2.2.2.3. 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 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 HCO₃⁻, CO₃²⁻, OH⁻. Cette alcalinité se nomme également titre alcalimétrique complet (TAC). (Rejesk, 2002).

- **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 CO₃²⁻. 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). (Rejesk, 2002).

Détermination de l'alcalinité totale et composite :

Méthode titrimétrie :

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré. (Rodier, 2005).

Mode opératoire :

- Alcalinité composite (TA) :

Introduire à l'aide d'une pipette 100 ml d'eau à analyser dans un Erlenmeyer et ajouter 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine.

- Si aucune coloration rose n'est obtenue, considérer l'alcalinité composite comme nulle.

- Si une coloration rose est obtenue, titrer avec l'acide sulfurique. Jusqu'à la disparition de la coloration (pH. 8,3). Noter le volume V ml d'acide versé.

- Alcalinité totale (TAC) :

Utiliser l'échantillon traité précédemment s'il n'y a pas eu de coloration. Ajouter 2 gouttes de solution de méthylorange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH 4,3). Noter le volume V' ml d'acide versé.

Expression des résultats :**- TA :** $V \times 10$ Exprime le titre alcalimétrique en milligramme par litre.**- TAC :** $(V' - 0,5) \times 10$ Exprime le titre alcalimétrique complet en milligramme par litre.**2.2.2.4. Minéralisation globale d'une eau (T.D.S) :**

La minéralisation est fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles. Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sodium, en calcium, en magnésium, en chlorures, en sulfates et en hydrogénocarbonates, semblent mieux contribuer à l'homéostasie de l'homme et surtout de l'enfant; cependant, elle peuvent poser des problèmes endocriniens très complexe.

Une eau, dont la minéralisation est inférieure à 600 mg/l, est généralement considérée comme bonne; au-delà de 1200 mg/l et elle devient sauf accoutumance assez désagréable (Rodier, 1996). Il a été déterminé à l'aide d'un conductimètre électrique, du type: WTW, qui permet de mesurer également la salinité.

2.2.2.5. Les éléments de la pollution :**2.2.2.5.1. Les éléments majeurs :****• Le 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 majeurs 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. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, de chlorures, etc... (Rodier, 1996). La présence des ions de calcium dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles, soit la dissolution de formations gypseuses CaSO_4 et la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 (Saadali, 2007).

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).

Détermination de Ca²⁺ :**Méthode titrimétrie à l'EDTA :**

A l'aide d'une pipette, introduire 50 ml d'eau à analyser dans une fiole conique de 250ml. Ajouter 3 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et 2 à 3 gouttes de la solution de bleu d'ériochrome. La solution doit se colorer en rouge foncé ou violet. Titrer immédiatement avec l'EDTA jusqu'au virage du violet au bleu.

Expression des résultats :

La concentration de calcium, en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$C_{Ca^{2+}} = V_{EDTA} \times N \times 20/E \times 1000.$$

$$N = 1/50.$$

E= volume en ml de la prise d'essai.

- **Le Magnésium (Mg²⁺) :**

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 ses sels sont très solubles dans l'eau (Rodier, 1996). Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomites). (Debieche, 2002). Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau.

Détermination de Mg²⁺ :**Méthode par calcul :**

Le magnésium est estimé par la différence entre la dureté et le calcium exprimés en CaCO₃ mg /l. (Rodier, 2005).

$$[TH] = [Mg^{2+}] + [Ca^{2+}]$$

$$[Mg^{2+}] = [TH] - [Ca^{2+}].$$

- **Les chlorures (Cl) :**

Le chlorure est un sel mobile, non toxique, très répandu dans la nature sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl), et de calcium (CaCl₂). La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la nature des terrains traversés, à la pénétration de l'eau de

mer dans les régions côtières, de manière naturelle ou par intervention humaine par pompage excessif, à la pollution provenant des rejets urbains et industriels. Chacune de ces sources de pollution peut contaminer localement les eaux souterraines et les eaux superficielles. (Chaoui, 2007).

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 (Bouziani, 2000).

Dosage des ions chlorures :

Méthode argentrimétrique (Norme NF T 90- 014) :

Principe :

Les ions chlorure sont précipités à l'état de chlorure d'argent par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3). L'indicateur de fin de réaction est le chromate de potassium (K_2CrO_4) qui, en présence d'un excès d'ions d'argent, forme un précipité rouge. A l'aide d'une pipette jaugée, introduire 100 ml d'eau à analyser dans un Erlene Meyer de 250 ml. Vérifier à la phénolphthaléine, autrement dit l'absence de coloration rose après ajout de 2 à 3 gouttes de cet indicateur. Ajouter 1 ml de chromate de potassium et doser par l' AgNO_3 jusqu'au virage à la teinte brunâtre. Noter le volume versé V_{AgNO_3} ml. (Rejsek, 2002).

Expression des résultats :

La concentration de chlorure, en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$C_{\text{Cl}^-} = V_{\text{AgNO}_3} \times N \times 35,5 \times 1000/E.$$

$$N = 1/50.$$

E = volume en ml de la prise d'essai.

- **Le 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 retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères;
- Des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais chimiques qui augmentent aussi les concentrations en sodium;
- Des nombreux usages industriels;
- Des apports atmosphériques, etc... (Rodier, 2005).

- **Le 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).

Dosage de (Na^+) et (K^+) :

Le sodium et le potassium sont dosés par spectrophotométrie d'émission de flamme. Lorsque les atomes d'un élément sont excités par une flamme, ils émettent des photons de longueur d'onde déterminée dont l'intensité peut être mesurée par spectrophotométrie. (Rodier, 1984).

- **Les sulfates (SO_4^{2-}) :**

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 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).

Dosage de sulfate :**Méthode néphélométrique :****Principe :**

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

Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Le mode opératoire est donné en annexe.

Mode opératoire :

Introduire 39 ml d'eau à analyser dans un tube à essai, ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique au 1/10 et 5 ml de la solution de chlorure de baryum. Agiter énergiquement et laisser reposer 15 minutes. Agiter de nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.

Expression des résultats :

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

• 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 :

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC (F}^\circ) \times 12,2 \quad (\text{Rodier, 1996}).$$

TAC: Alcalinité totale

$$1 \text{ F}^\circ = 10 \text{ mg/l}$$

2.2.2.5.2. Cycle de l'azote :**• Les 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. A cause de leur bonne solubilité dans l'eau, les nitrates sont facilement éliminés du sol en direction de la nappe phréatique, en particulier quand le sol est en jachère, par exemple en hiver (Bliefert *et al.*, 2001). Ils sont généralement l'indice d'une pollution. (Detay, 1993).

On trouve des teneurs en nitrates au-dessus de la normale dans la nappe phréatique dans les cas suivants :

- Lorsqu'on a utilisé trop d'engrais ou que l'engrais a été répandu à une mauvaise période;
- Lors d'un élevage intensif d'animaux;
- Lors de culture spéciales à haut rendement et de plantation de légumes;

- Sols contenant peu de plantes;
- Sols légers perméables. (Bliefert *et al.*, 2001).

Dosage des nitrates : Méthode spectrophotométrique à l'acide sulfosalicylique (norme ISO 7890-3 et NF T90-045) :

Principe :

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

Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Le mode opératoire est donné en annexe.

Mode opératoire :

Introduire 10 ml d'eau à analyser dans une capsule de 60 ml. Alcaliniser faiblement avec la solution d'Hydroxyde de sodium, ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium. Evaporer à sec dans une étuve portée à 75-80°C. Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide Sulfurique concentré. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau bidistillée 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 la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 420nm.

Expression des résultats :

Pour une prise d'essai de 10 ml, la courbe donne directement la teneur en nitrate (NO_3^-) exprimée en mg/l d'eau.

- **Les 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).

Dosage de nitrite :

Prendre 50 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml de solution de Sulfanilamide (réactif I) et mélanger. Laisser reposer 2 à 8 min, puis ajouter 1 ml de la solution N- Naphtyl-Ethylène-Diamine (Réactif II) et mélanger à nouveau. Attendre 10 min et effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 543 nm en cuve de 10 cm. (Aminot *et al.*, 1982).

- **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 les trouve souvent à des teneurs variant entre 0,1 à 0,2 mg/l. (Detay, 1993).

Dosage de l'ammonium :**Mode opératoire :**

Prendre 50 ml d'eau à analyser directement dans le flacon à réaction, ajouter 3 ml du réactif I (solution de Phénol-Nitroprussiate), boucher et agiter pour bien homogénéiser, puis ajouter 1,5 ml du réactif II (solution alcaline d'hypochlorite), boucher et agiter à nouveau. Placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant 6 à 8 h à températures ambiantes. Mesurer l'absorbance à 630 nm. (Aminot *et al.*, 1982).

2.2.2.5.3. Eléments mineurs naturels :

- **L'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. Comme l'azote, le phosphore est inclus dans un cycle naturel où les apports et les pertes sont limités. Il est assimilable par les êtres vivants sous forme oxydée (phosphates, hydrogénophosphates...) ou sous forme organique dans la nature, il provient essentiellement de la décomposition des cellules mortes qui sont minéralisées par les microorganismes pour donner des phosphates rapidement assimilées. Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquences sanitaires, En revanche elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière: phénomène d'eutrophisation. Les organismes tels les cyanobactéries se développent de façon très rapide, participant à l'eutrophisation et provoquant parfois un phénomène appelé " bloom algal ou fleur d'eau" extrêmement néfaste à

l'équilibre du milieu. La concentration maximale admissible en phosphore dans les eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 5 mg/l.

Origine de l'ortho phosphates :

- Erosion des sols agricoles enrichis en phosphore (p sous forme particulaire).
- Rejets d'assainissement, d'usines, de piscicultures (p dissous ou phosphate). (OMS, 2000).

Dosage de l'ortho phosphate (PO_4^-) :

Méthode colorimétrique :

Principe :

Les ions orthophosphates en solution acide (H_2SO_4) et en présence de molybdate d'ammonium forment un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, donne un complexe de molybdène fortement coloré en bleu. Le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur le tartrate double d'antimoine et de potassium. (Rodier, 1996).

Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Le mode opératoire est donné en annexe.

Mode opératoire :

Introduire à l'aide d'une pipette, 20 ml d'eau à analyser préalablement filtrée dans une fiole jaugée de 25 ml. Ajouter 1 ml de la solution d'acide ascorbique et 4 ml de réactif molybdique. Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm en cuve de 1 cm.

Expression des résultats :

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

Chapitre 4

Le milieu aquatique d'eau douce est soumis à une série de paramètres dont les plus importants sont sa composition chimique, son contenu biologique, sa température et la périodicité de son éclairage. A ces paramètres, s'a joute le climat, la nature géologique du terrain, et les activités anthropiques (utilisation de l'eau et de sol, apports des composés chimiques par des sources ponctuelles et/ou diffuses), facteurs dont l'influence sur les caractéristiques du milieu aquatique est loin d'être négligeable.

1. Analyses bactériologiques :

Les analyses bactériologiques de l'eau des puits et des sources de notre étude ont montrés une grande variation des concentrations des bactéries. Ces derniers dépassent les normes internationales des eaux potables mais elles sont inférieures aux normes des eaux destinées à l'irrigation. A fin de bien comprendre ces variations nous avons suivi l'évolution des germes fécaux dans les six points d'eau puis nous avons réaliser une comparaison avec les normes maximales admissibles des eaux destinées à la consommation humaine fixées par l'OMS et avec celles des normes des eaux destinées à l'irrigation fixés par le FAO ainsi que leur impact sur l'environnement et sur la santé publique.

1.1. Résultats des dénombrements des micro-organismes de l'eau :

Les résultats des dénombrements des germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), streptocoques fécaux (SF) et les anaérobies sulfite-réducteurs (ASR) concernant les six points d'eau choisis dans cette étude sont représentés dans les tableaux 1, 2, 3, 4 et 5 (annexes) et les résultats sont représentés graphiquement dans les figures (19, 20, 21, 22, 23, et 24).

1.1.1. Germes totaux :

La flore totale isolée des six points d'eau est importante; elle atteint son maximum au niveau des puits (P1, P2, P3) et de la source (S3), le minimum est dénombré au niveau des sources (S1, S2). La concentration de germes totaux fluctue considérablement au niveau des six points au cours de toute la période de l'étude. Ces variations sont dues au fait que les sites sont exposés à diverses sources de contamination qui diffèrent d'un endroit à l'autre.

Les taux les plus faibles ont été obtenus durant le mois de février, au niveau des sources (S1, S2). Cet abaissement pourrait être le résultat du phénomène de dilution survenu après une chute de pluie (19.02.09) et à une température de l'eau très basse.

Les taux les plus élevés ont été observés durant les mois de mai et de juin au niveau de tous les sites (début de saison estivale). La température de l'eau est dans ce cas favorable pour la croissance de ces microorganismes.

1.1.2. Coliformes totaux :

La recherche des coliformes est primordiale du fait qu'un grand nombre d'entre eux vivent en abondance sur les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait constituent des indicateurs de première importance (Duffour, 1977).

L'examen des graphiques illustrés dans les figures (19, 20) nous montre que les concentrations des coliformes totaux extrêmement variées dans les six points de prélèvement et qui dans l'ensemble sont supérieures à la valeur guide des eaux potables (10 CT/100 ml) (OMS, 1994). Les puits présentent globalement des taux inférieures à la valeur guide des eaux destinées à l'irrigation (1000 CT/100 ml).

Pour les sources, la source captée (S1) les concentrations des coliformes totaux sont élevées au cours de toute la période d'étude, avec un maximum de 160 CT/100ml pour le prélèvement des mois de décembre et de février. Ceci est sans doute dû à sa présence près des agglomérations (commune de Guelma et de Belkhier) et des activités humaines (station de lavage, et de carburants ...).

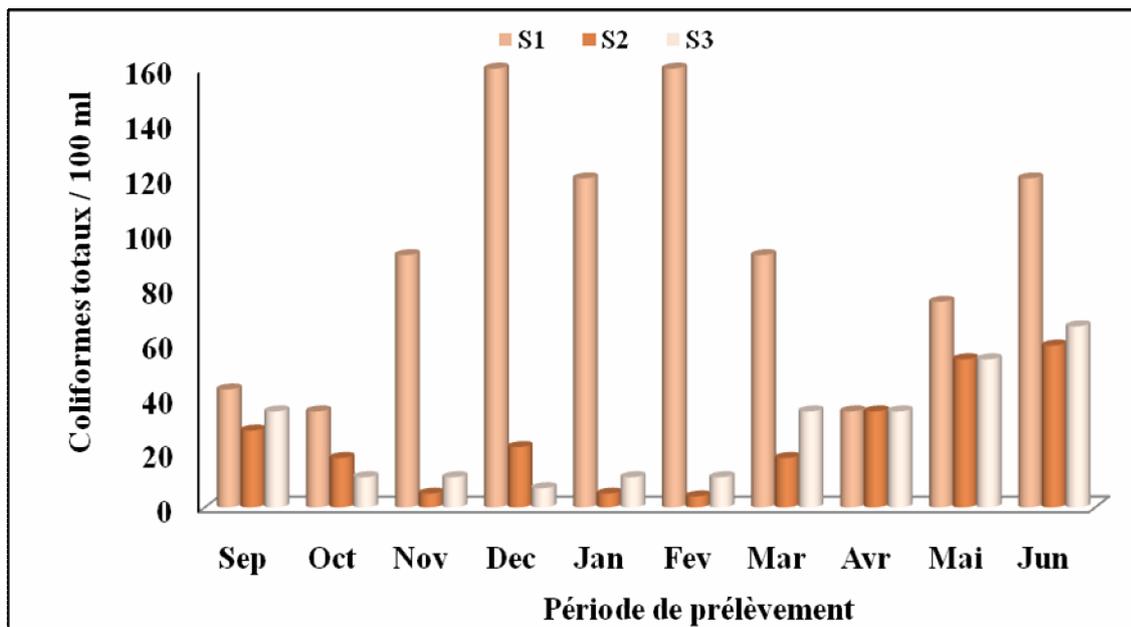


Fig. 19. Evolution du nombre de coliformes totaux dans les sources

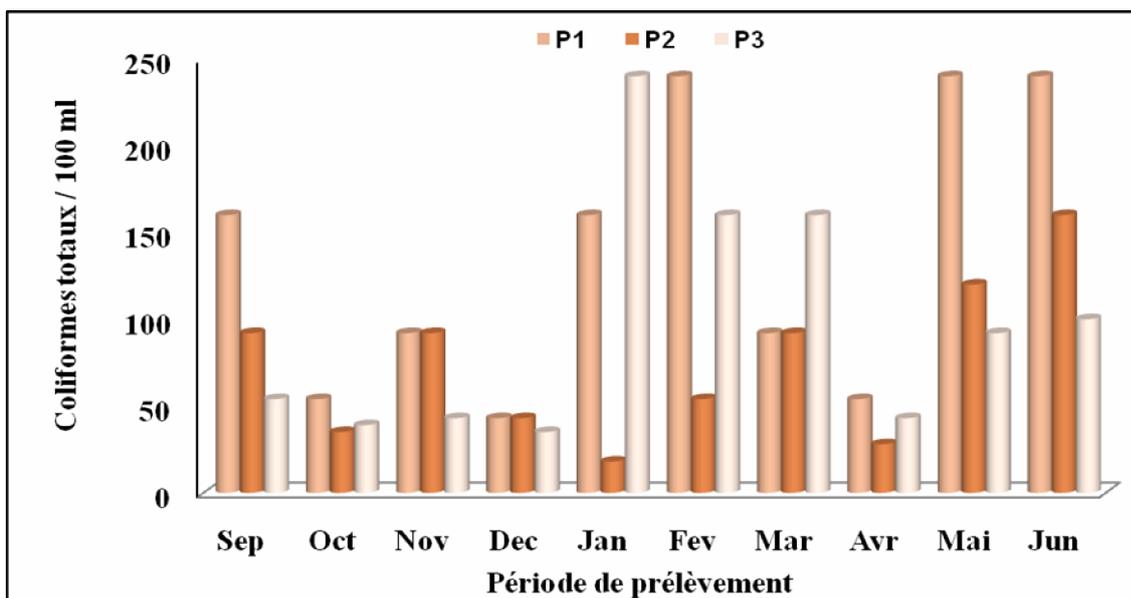


Fig. 20. Evolution du nombre de coliformes totaux dans les puits

Les sources (S2) et (S3) exhibent des variations plus ou moins similaires où le nombre diminue à partir du mois octobre jusqu'au mois février (5 CT/100 ml) puis réaugmente pendant les mois de mai et de juin (54 CT/100 ml). Ce phénomène peut être lié à la forte dilution des coliformes à cause de la recharge de la nappe pendant les hautes eaux et à une reconcentration résultante sans doute de l'effet de la température (début de saison sèche).

Pour les puits, la forte concentration des coliformes totaux est de 240 CT/100 ml pour les prélèvements des mois de janvier, de février, de mai, et de juin enregistrée au niveau de (P1) et de (P3). Elle est due à leur exposition directe aux eaux de ruissellement qui sont chargées d'une masse importante de germes d'origine terrestre ramenés des terrains agricoles avoisinants (période hivernale), ou peut être accumulée suite à l'augmentation de la température de l'eau. La valeur de 10 CT/100 ml enregistrée pendant le prélèvement du mois de janvier au niveau du puit (P2) est due à l'effet de froid qui agit négativement sur le développement et sur la croissance de ces bactéries.

1.1.3. Coliformes fécaux :

L'examen des graphes illustrés dans les figures 21 et 22 nous montre que le nombre de coliformes fécaux dans les eaux analysées dépasse la norme de l'OMS (0 CF/100 ml). Pour les sources, le nombre de coliformes fécaux varie au cours de l'étude de 2 CF/100 ml à 64 CF/100 ml. Ce nombre fluctue entre 11 CF/100 ml et 160 CF/100 ml dans les eaux des puits. La présence des coliformes d'origine fécale avec des effectifs dépassant les normes admises pour l'eau de consommation atteste d'une pollution ou d'une contamination fécale des eaux de notre étude. Cette contamination fécale est tributaire de l'environnement des puits et des sources (présence de fumier ou autres matières fécales, installation septique inadéquate,...).

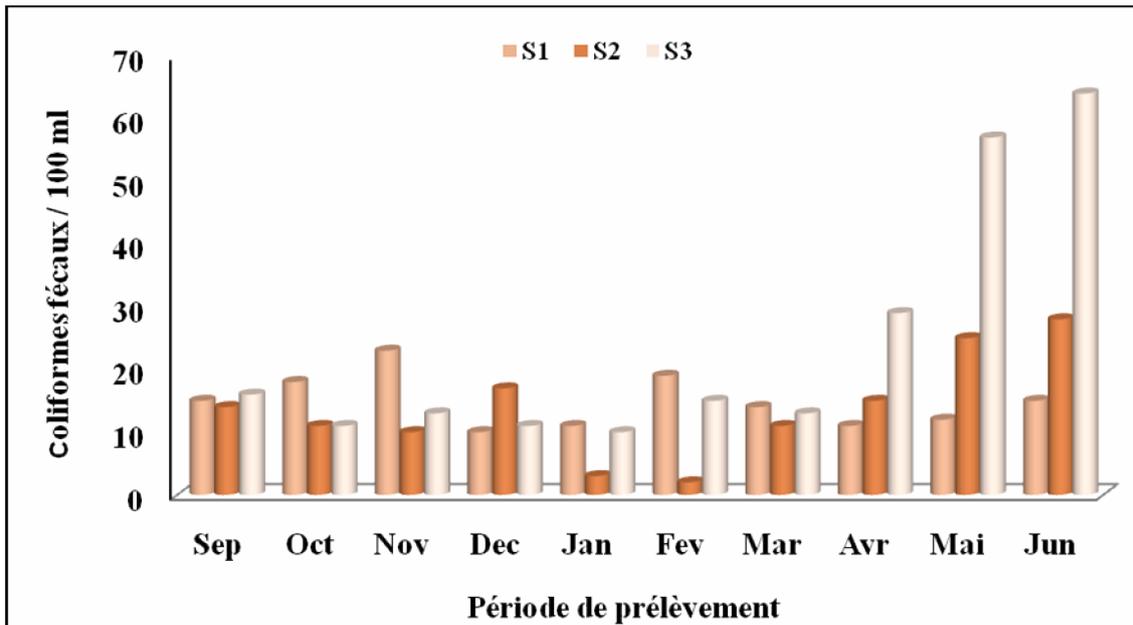


Fig. 21. Evolution du nombre de coliformes fécaux dans les sources

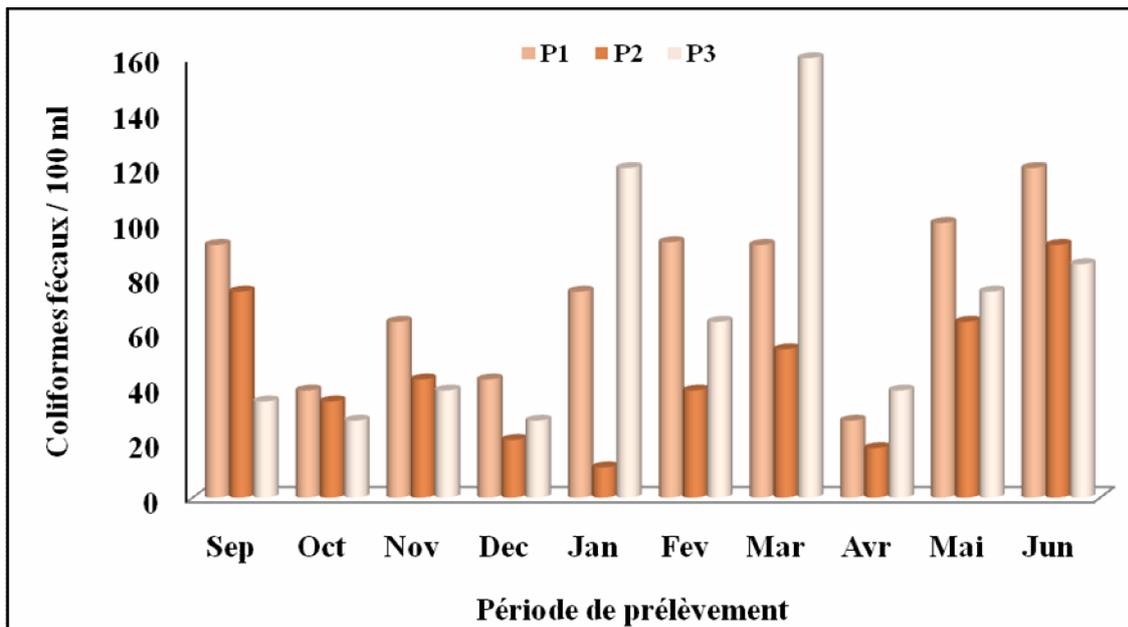


Fig. 22. Evolution du nombre de coliformes fécaux dans les puits

1.1.4. Streptocoques fécaux :

Le nombre de streptocoques fécaux est directement lié à la quantité de matière fécale animale se trouvant dans l'eau. L'examen des graphes illustrés dans les figures 23 et 24 nous montre que les concentrations de ces bactéries fécales sont extrêmement variables dans les six points de prélèvement et qui dans l'ensemble sont supérieures à la valeur guide des eaux potables. Pour la majorité des puits elles sont inférieures à la valeur guide des eaux destinées à l'irrigation (1000 SF/100 ml).

Le maximum de concentrations des streptocoques fécaux dans les eaux des sources est de 93 SF/100 ml pour le prélèvement réalisé pendant le mois de mai au niveau de la source (S1) et qui semble être la source la plus contaminée par les streptocoques D et ceci au cours de toute la période d'étude.

Le maximum enregistré dans les eaux des puits est de 240 SF/100 ml au niveau des prélèvements réalisés pendant les mois de mai et de juin dans le puit (P1). Les puits (P2) et (P3) présentent une contamination considérable par les streptocoques fécaux. Cet enrichissement est principalement dû au lessivage des terres agricoles avoisinantes chargées d'énormes quantités de fumier, aux rejets domestiques des agglomérations rurales (fosses septiques qui déchargent à l'air libre), et à l'élevage d'ovin et bovin.

1.1.5. Les anaérobies Sulfite-réducteurs (ASR) :

Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne. Les résultats négatifs déduisent l'absence de genres sulfite-réducteurs *Clostridium sp.* responsables de botulisme et de tétanos.

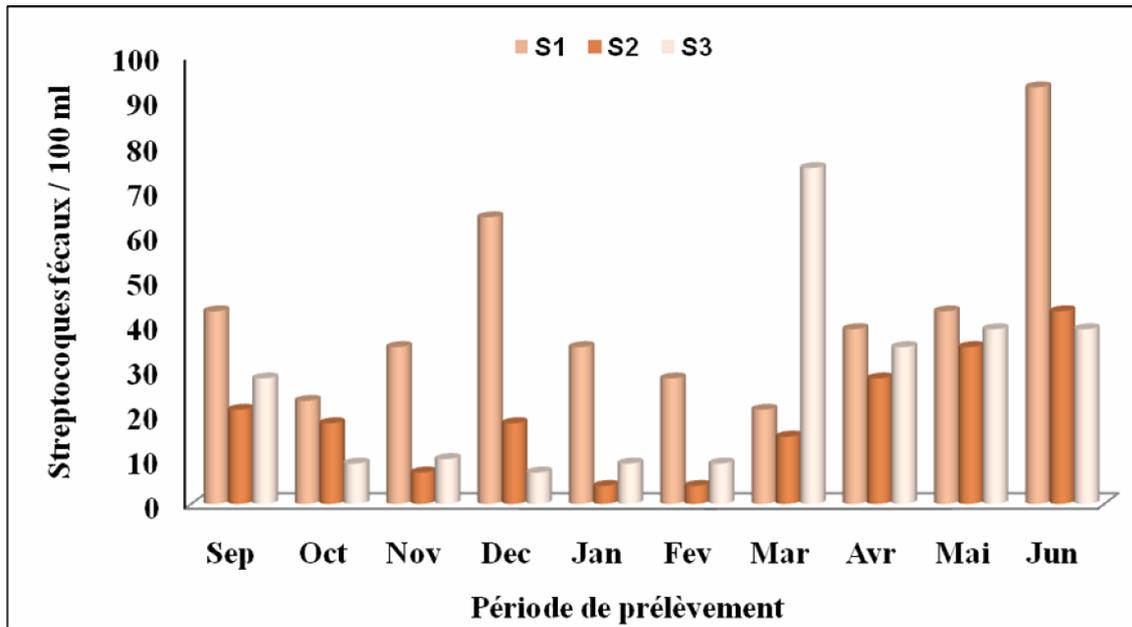


Fig. 23. Evolution du nombre des streptocoques fécaux dans les sources

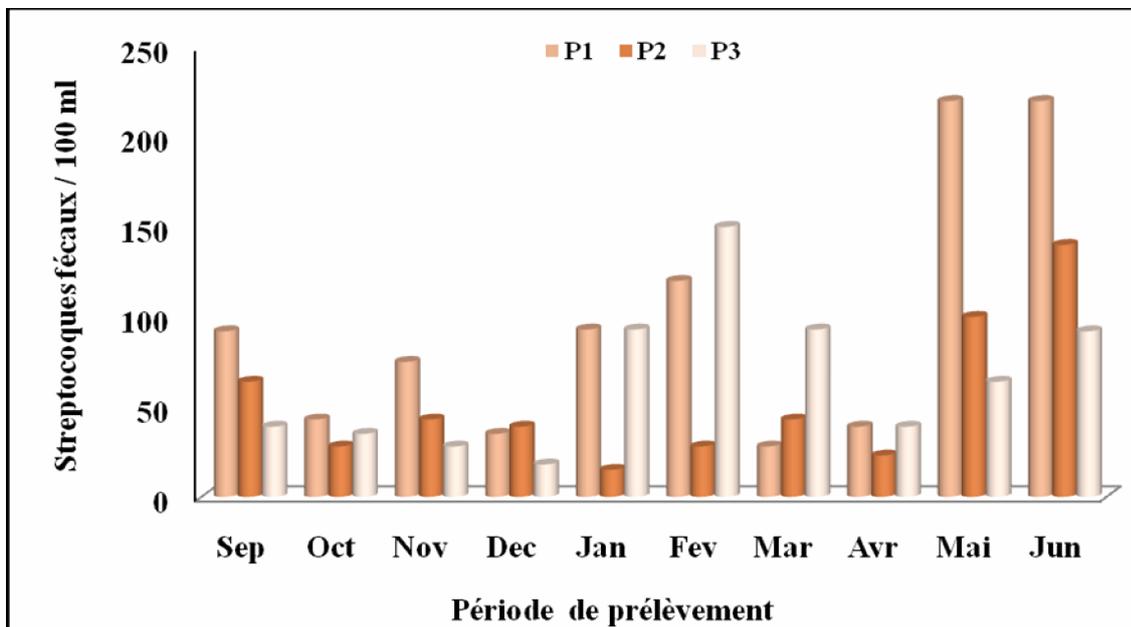


Fig. 24. Evolution du nombre de streptocoques fécaux dans les puits

1.1.6. Identification des souches bactériennes:

1.1.6.1. Caractères morphologiques et coloration de Gram:

Le repiquage successif utilisé dans le seul but de purifier les souches nous a permis de distinguer les caractères de toutes les colonies sur leurs milieux préférentiels d'isolement. Ces données sont résumées dans le tableau 16.

Du point de vue microscopique, l'examen cytologique nous a révélé que les Bâtonnets Gram (-) sont plus représentés par rapport aux cocci Gram (+) qui demeurent faiblement représentés.



Fig. 25. Bâtonnets Gram (-)

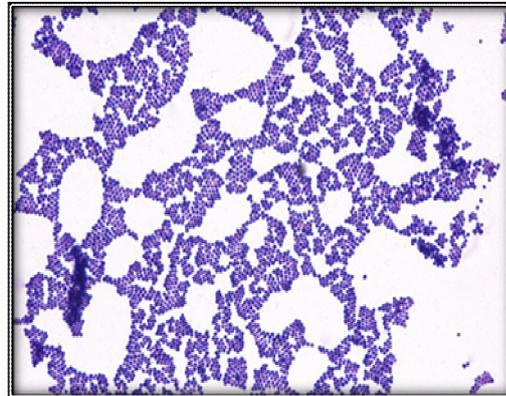


Fig. 26. Cocci Gram (+)

Tab. 16. Caractères macroscopiques et microscopiques des colonies bactériennes isolées de l'eau des puits et des sources

Observation microscopique des colonies	Observation macroscopique des colonies	Culture
<ul style="list-style-type: none"> - Bacilles isolés ou en chaînettes, Gram négatif. - Bacilles isolés, Gram négatif. - Bacilles isolés, regroupés, Gram négatif. 	<ul style="list-style-type: none"> - Circulaire, lisse, plate, brillante transparente, 2 mm de diamètre. - Irrégulière, lisse, plate, jaune 1 mm de diamètre. - Bambée, lisse, brillante, à contour régulier, de couleur jaune. 	Gélose nutritive (GN)
<ul style="list-style-type: none"> - Bacilles isolés, Gram négatif. - Bacilles isolés, Gram négatif. 	<ul style="list-style-type: none"> -Circulaire, ondulés, bossue, rigoureuse, transparente légèrement blanchâtre. - Rose clair, bambée, lisse, brillante circulaire, 1 mm de diamètre 	Gélose Mac Conkey
<ul style="list-style-type: none"> - Bacilles isolés, Gram négatif. - Bacilles isolés, Gram négatif. 	<ul style="list-style-type: none"> -Vertes ou bleuâtres, circulaire, ondulés, bossue, rigoureuse, transparente légèrement blanchâtre. - jaune saumon, bambée, lisse, 1 mm de diamètre 	Gélose Hektoen
<ul style="list-style-type: none"> - Cocci groupés en amas, Gram positif. - Cocci groupés en amas, en paires, Gram positif. 	<ul style="list-style-type: none"> - Petite, opaque, lisse, bombée, à contour régulier, pulvérulente, de couleur blanche. - Bombée, lisse, à contour régulier, jaunâtre avec virage de la couleur du milieu entourant les couloires au jaune brillant. 	Milieu Chapman
<ul style="list-style-type: none"> - Bacilles isolés, Gram négatif 	<ul style="list-style-type: none"> - Arrondie, transparente, 1 mm de diamètre. 	Gélose SS

1.1.6.2. Résultats de l'identification biochimique:

L'étude biochimique nous a permis d'identifier 21 espèces bactériennes appartenant à la famille des Enterobacteriaceae avec une présence majoritaire d'*Aeromonas hydrophila* gr1, *Serratia odorifera* dans les six points de prélèvement, suivi par la détection de *Citrobacter freundii* dans les puits (P2, P3) et dans la source (S3). Nous avons aussi isolé et identifié dans le puit (P3) deux espèces pathogènes: *Vibrio fluvialis* et *Pseudomonas aeruginosa*. La présence de ces bactéries avec des concentrations assez importantes est synonyme de risque sanitaire

potentiel (principalement des maladies gastro-intestinales). Les résultats sont représentés dans le tableau 17 et dans les figures (27, 28, 29, et 30).

Les tests effectués sur les staphylocoques nous ont permis d'identifier des *Staphylococcus* non pathogènes.

Tab. 17. Résultats de l'identification par la galerie API 20 E

Espèces bactériennes identifiées	Point de prélèvement
<i>Serratia odorifera</i>	Puit 1
<i>Pantoea spp 2</i>	
<i>Klebsiella oxytoca</i>	
<i>Raoultella omithinolytica</i>	
<i>Aeromonas hedrophila gr1</i>	
<i>Aeromonas hedrophila gr2</i>	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Puit 2
<i>Citrobacter freundii</i>	
<i>Acinetobacter baumannii</i>	
<i>Aeromonas hedrophila gr1</i>	
<i>Serratia odorifera</i>	
<i>Aeromonas salmonicida ssp salmonicida</i>	
<i>Myroides</i>	Puit 3
<i>Serratia ficaria</i>	
<i>Serratia odorifera</i>	
<i>Citrobacter freundii</i>	
<i>Vibrio fluvialis</i>	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
<i>Aeromonas edrophila gr2</i>	
<i>Burkholderia cepacia</i>	Source 1
<i>Enterobacter agglomerans</i>	
<i>Aeromonas hedrophila gr1</i>	
<i>Serratia ficaria</i>	
<i>Pasteurella pneumotropica</i>	Source 2
<i>Burkholderia cepacia</i>	
<i>Chryseobacterium meningosepticum</i>	
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	
<i>Serratia odorifera</i>	Source 3
<i>Aeromonas hedrophila gr1</i>	
<i>Aeromonas hedrophila gr1</i>	
<i>Aeromonas hedrophila gr2</i>	
<i>Citrobacter freundii</i>	
<i>Serratia odorifera</i>	



Fig. 27. Profil biochimique de la souche *Klebsiella pneumoniae*



Fig. 28. Profil biochimique de la souche *Serratia odorifera*



Fig. 29. Profil biochimique de la souche *Aeromonas hydrophila 1*



Fig. 30. Profil biochimique de la souche *Acinetobacter baumannii*

1.1.7. Levures et champignons :

La microflore fongique est importante au niveau des puits (Tab. 18). Nous avons isolé et identifié des *Candida* non pathogènes au niveau des puits (P2 et P3) et nous avons aussi isolé et identifié deux espèces de champignons appartenant aux genres *Aspergillus* et *Microsporium*.

Tab. 18. Résultats de la recherche des levures et des champignons au niveau des différents sites

	Puit 1	Puit 2	Puit 3	Source 3
03/10/2008	<i>Aspergillus fumigatus</i>		<i>Microsporium canis</i>	
03/11/2008		<i>Microsporium canis</i>	<i>Microsporium canis</i>	<i>Microsporium canis</i>
03/12/2008			<i>Candida</i>	
24/01/2009	<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Aspergillus flavus</i>		
22/02/2009		<i>Microsporium canis</i>	<i>Microsporium canis</i>	<i>Microsporium canis</i>
15/03/2009	<i>Microsporium canis</i>	<i>Candida</i>	<i>Aspergillus flavus</i>	
19/04/2009	<i>Aspergillus fumigatus</i>		<i>Microsporium canis</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>

1.1.8. Identification des levures et des champignons isolés :

1.1.8. 1. Identification des levures :

Les résultats des tests de filamentation réalisés sur les souches de *Candida* suspectes sont résumés dans le tableau 19.

Tab. 19. Résultats des tests d'identification des *Candida*

Espèce identifiée	Test de filamentation	Gram	Date de prélèvement
<i>Candida</i>	-	Cellules ovalaires ou rondes fortement Gram (+)	03/12/2008

1.1.8.2. Identification des champignons:

L'identification des souches fongiques isolées a été faite sur la base de l'aspect macroscopique des colonies (la face et le revers). Cette identification reste approximative, vue la nécessité d'un examen soigneux d'autres critères comme la vitesse de croissance et l'examen microscopique. Les caractères macroscopiques des deux espèces isolées sont résumés dans le tableau 20.

Tab. 20. Aspect macroscopique des espèces fongiques isolées (Leyral et Joffin, 1998).

Aspect macroscopique verso des colonies	Aspect macroscopique recto des colonies	Espèces
Incolore à jaune puis rouge foncé (en fait très variable).	Velouté, tapis régulier, cotonneux, vert franc puis grisâtre avec l'âge. Quelques souches blanches.	<i>Aspergillus fumigatus</i>
Incolore à jaunâtre puis brun à rouge foncé.	Poudreux irrégulier vert-jaune à bronze-vert olive	<i>Aspergillus flavus</i>
Jaune orangé vif.	Grandes colonies étoilées de couleur blanc puis chamois au centre, aspect soyeux et brillant, rayons fins et longs.	<i>Microsporum canis</i>



Vue de face



Vue à partir du fond

Fig. 31. *Aspergillus fumigatus*



Vue de face



Vue à partir du fond

Fig. 32. *Aspergillus flavus*



Vue de face



Vue à partir du fond

Fig. 33. *Microsporium canis*

2. Analyses physico-chimiques :

Les analyses physico-chimiques des eaux des puits et des sources de notre étude ont montrés une grande variation des concentrations des éléments chimiques dont certaines dépassent les normes décrites par l’OMS pour les eaux destinées à la consommation humaine.

2.1. Les paramètres physiques :

2.1.1. La température (T°C):

Elle joue un rôle important dans l’augmentation de l’activité chimique des bactéries et dans 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. Au niveau de tous les points de prélèvement, les taux de la température oscillent entre 11 et 22°C (Fig. 34).

Ces températures sont proches de la température ambiante et indiquent une origine peu profonde de l’eau étudiée.

2.1.2. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique permet d’avoir une idée sur la salinité de l’eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée. (Rodier, 2005).

La figure 35 nous expose que les valeurs de la conductivité dans tous les points d’eau dépassent la norme recommandée pour les eaux potables (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Pour les eaux d’irrigation, les trois puits montrent des valeurs inférieures à la norme (20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La valeur la plus faible est observée au niveau du point (P3) avec 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La valeur maximale est alors enregistrée au niveau du point (S2) avec 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces fortes valeurs sont dues probablement à la dissolution des lentilles gypseuses qui existent au niveau de la nappe. (Kherici, 1993).

Tab. 21. Relation entre la conductivité et la minéralisation (Detay, 1993).

Conductivité en $\mu\text{S/cm}$, à 20°C	Minéralisation
Inférieure à 100	Eau de minéralisation très faible (terrain granitiques)
Comprise entre 100 et 200	Eau de minéralisation faible
Comprise entre 200 et 400	Eau de minéralisation peu accentuée
Comprise entre 400 et 600	Eau de minéralisation moyenne (terrains calcaires)
Comprise entre 600 et 1000	Eau de minéralisation importante
Supérieure à 1000	Eau de minéralisation excessive

2.1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Il donne une indication sur l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Du point de vue sanitaire, un pH élevé peut provoquer un problème de corrosion alors qu'un pH faible peut modifier le goût de l'eau.

La figure 36 nous montrent que le pH des eaux des puits et des sources étudiées est situé dans la fourchette des normes de potabilité ($6,5 < \text{pH} < 8,5$) et ce durant toute la période de l'étude mais avec des valeurs beaucoup plus intercalées entre 6,6 et 7,8.

Les grandes variations des valeurs de pH ont été notées au cours des périodes de fortes pluies.

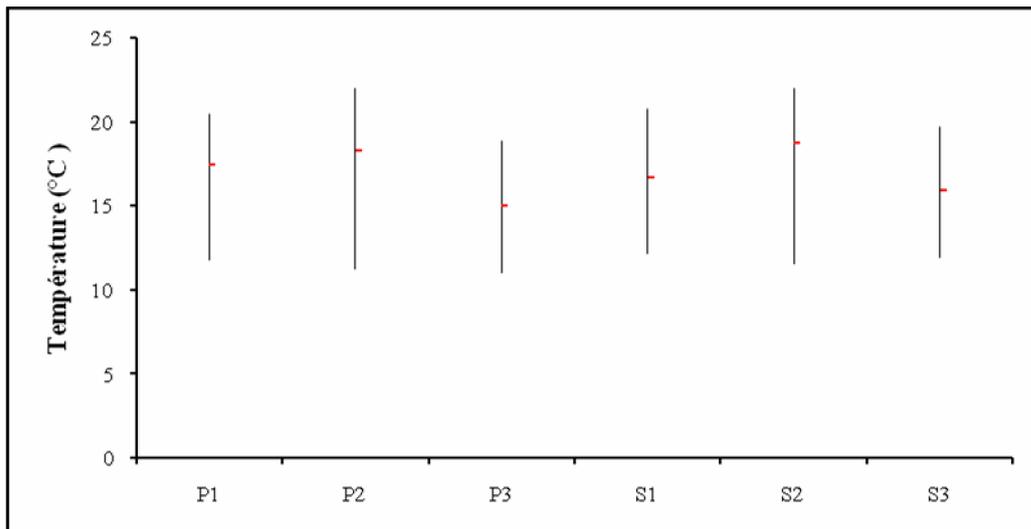


Fig. 34. Evolution de la température dans les eaux des puits et des sources

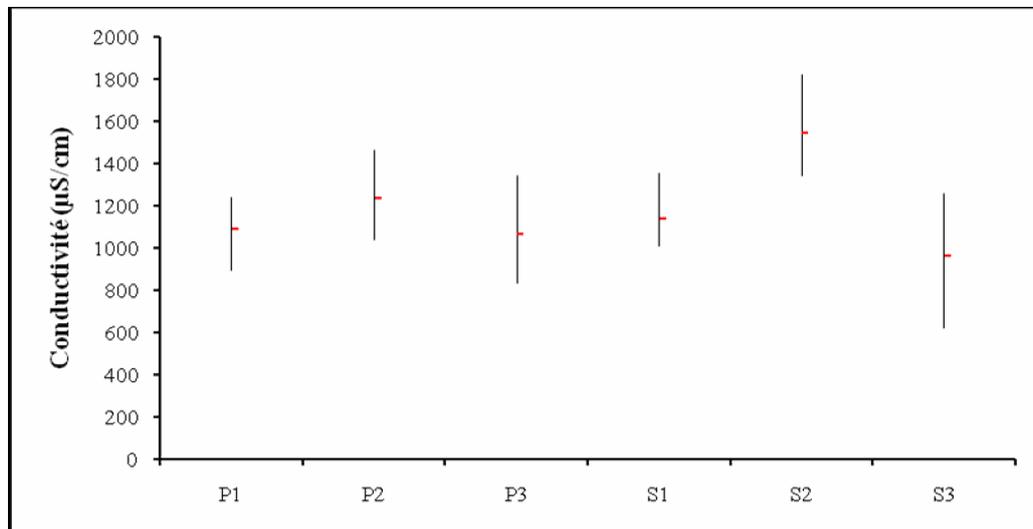


Fig. 35. Evolution de la conductivité électrique (CE) dans les eaux des puits et des sources

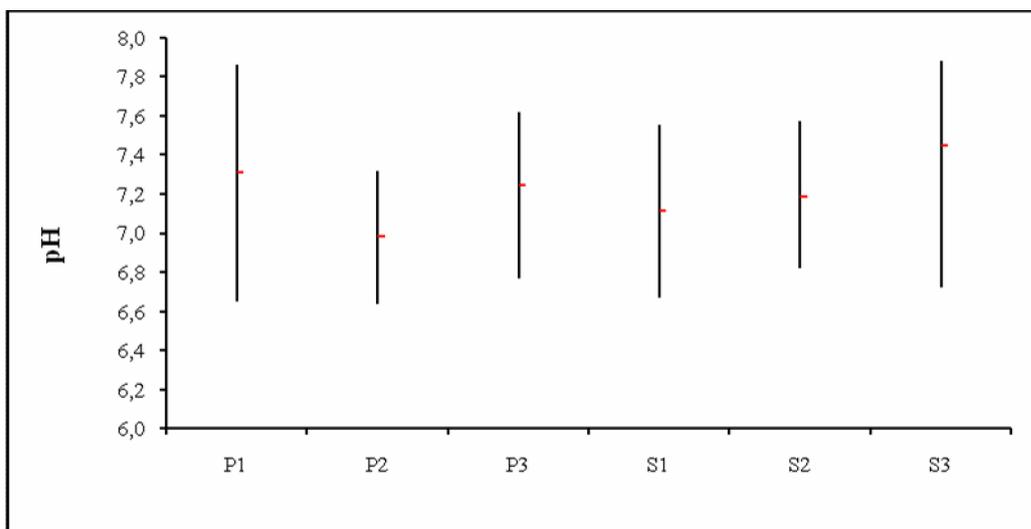


Fig. 36. Evolution du pH dans les eaux des puits et des sources

2.1.4. La turbidité :

Son taux normal est fixé à 5 NTU selon l’OMS. La turbidité affecte beaucoup la potabilité d’une eau de boisson. Les consommateurs ont très souvent des exigences par rapport à ce paramètre. Elle est le plus souvent due à la présence des matières en suspensions finement divisées tel les argiles, les limons, les grains de silice, les matières organiques... . Les valeurs moyennes calculées dans tous les points étudiés ne dépassent pas la norme sauf pour la source S3 (27 NTU) (Fig. 37) et cela est dû au fait que cette source est jaillissante, donc la plus exposée aux eaux de ruissellement. D’une manière générale les valeurs les plus élevées ont été observées pendant les épisodes pluvieuses.

2.2. Les paramètres chimiques :

2.2.1. Oxygène dissous (O₂):

D’une manière générale, les teneurs moyennes en oxygène dissous (O₂) sont comprises entre 3,81 et 6,2 mg/l. Ces teneurs n’expriment pas une forte pollution organique. La teneur faible de 2.5 mg/l est enregistrée au niveau des puits (P2, P3) et au niveau de la source (S1) (Fig. 38).

2.2.2. Dureté total (TH) :

Le degré hydrotimétrique (TH) exprime la dureté d’une eau. Cette dernière est due particulièrement à la présence des sels de calcium et de magnésium. Elle se manifeste pratiquement par une difficulté dans la cuisson des légumes et dans la production de la mousse de savon.

Les résultats obtenus (Fig. 39) nous montrent que les eaux étudiées ont des duretés importantes qui varient entre 13°F (minimum au point S3) et 50 °F (maximum au point S2) et entre 14,6 °F (minimum au point P3) et 49,6 °F (maximum au point P2). 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 des facteurs externes telle que la pollution industrielle. Le bassin de Guelma présente un substratum marneux à gypse pouvant expliquer l’abondance du calcium dans toute la plaine. Le magnésium peut provenir des roches carbonatées (travertins) et marneuses. (Zeddouri, 2003).

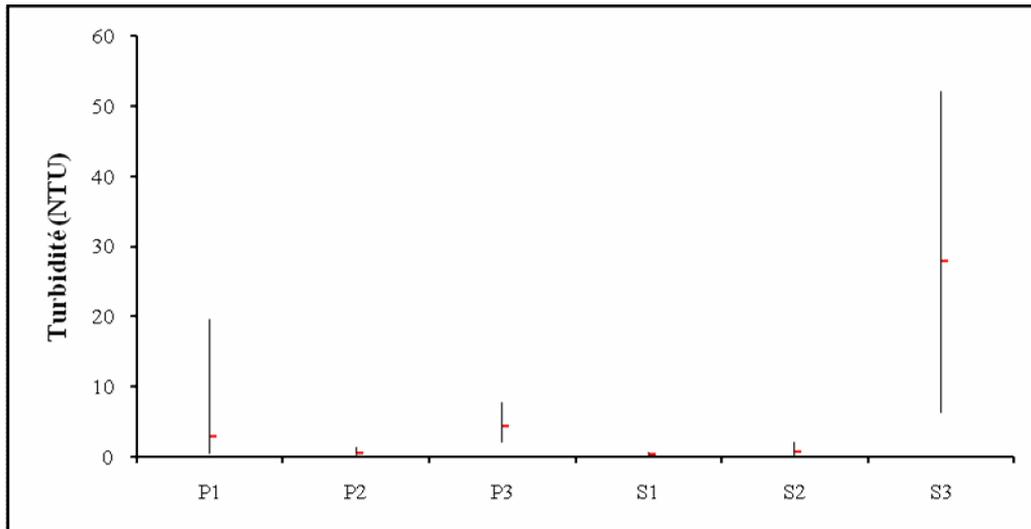


Fig. 37. Evolution de la turbidité dans les eaux des puits et des sources

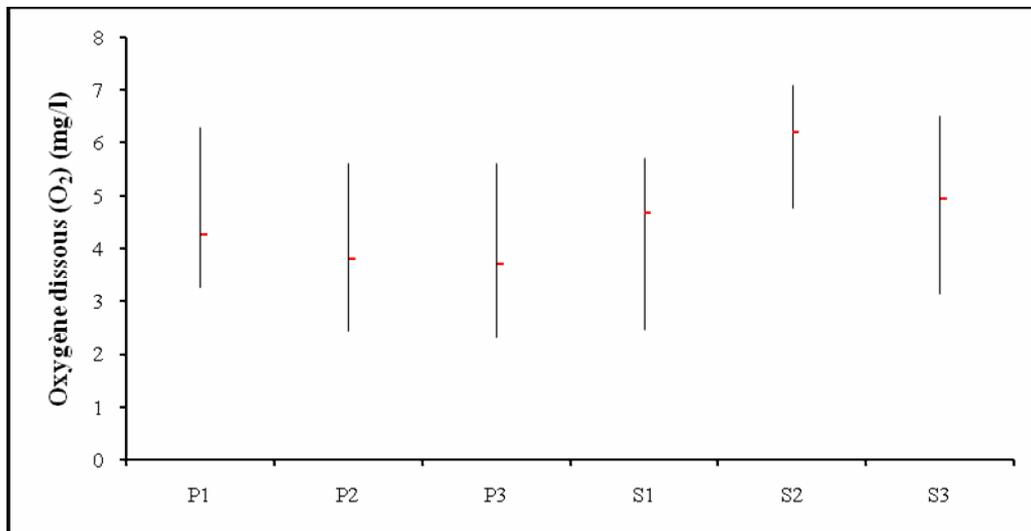


Fig. 38. Evolution de l'oxygène dissous dans les eaux des puits et des sources

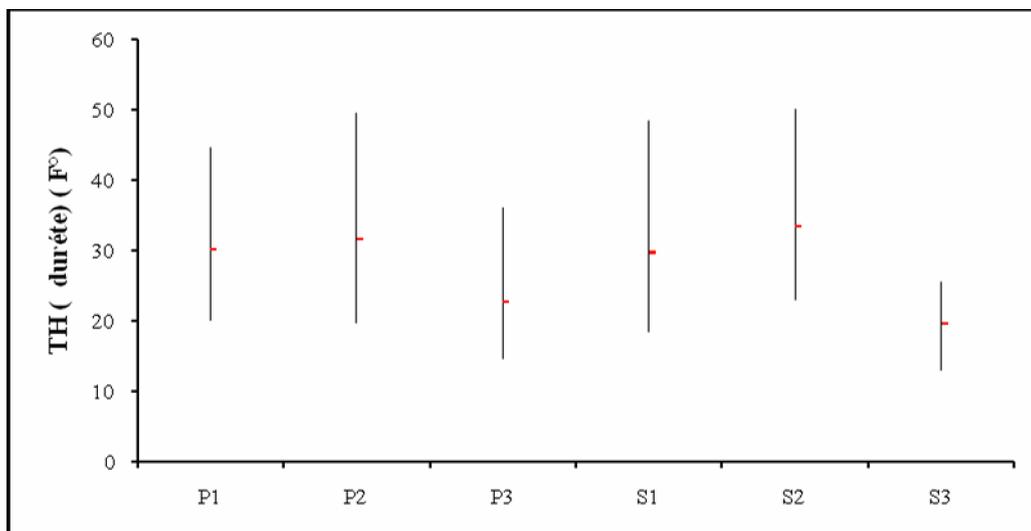


Fig. 39. Evolution de la dureté de l'eau dans les puits et les sources

2.2.3. Alcalinité :

Si le pH est compris entre 4.5 et 8.3, ce qui est le cas des eaux naturelles, les seuls éléments alcalins présents en quantité mesurable par titrage sont les bicarbonates HCO_3^- . Le TAC (titre alcalimétrique complet) traduit le caractère basique d'une eau $\text{HCO}^- + \text{CO}_2^- + \text{OH}^-$.

Les concentrations du TAC au niveau des six points d'eau sont inférieures par rapport à la norme 50°F de l'OMS des eaux destinées à la consommation humaine. Nous observons que les valeurs moyennes sont généralement comprises dans une fourchette étroite (23 à 28°F) (Fig. 40).

2.2.4. Minéralisation globale d'une eau (T.D.S):

La minéralisation globale peut nous renseigner sur la potabilité de l'eau. Les travaux menés par les services de l'agence des bassins versants pour le suivi de la qualité des eaux souterraines dans la région de Guelma durant la période 1998-2003, ont conclu à une instabilité spatio-temporelle de la minéralisation. (A.B.H, 2005).

Toutes nos analyses présentent une minéralisation inférieure à 2 g/l (norme de l'OMS) avec l'eau de la source (S2) qui semble être la plus minéralisée (Fig. 41). Il est à noter que l'augmentation de la minéralisation globale des eaux se manifeste pendant la période des hautes eaux.

Nous constatons aussi que la variation de la minéralisation globale est identique à celle de la conductivité.

2.2.5. La salinité :

La salinité est proportionnelle à la conductivité. Sa variation suit la même allure (Fig. 42).

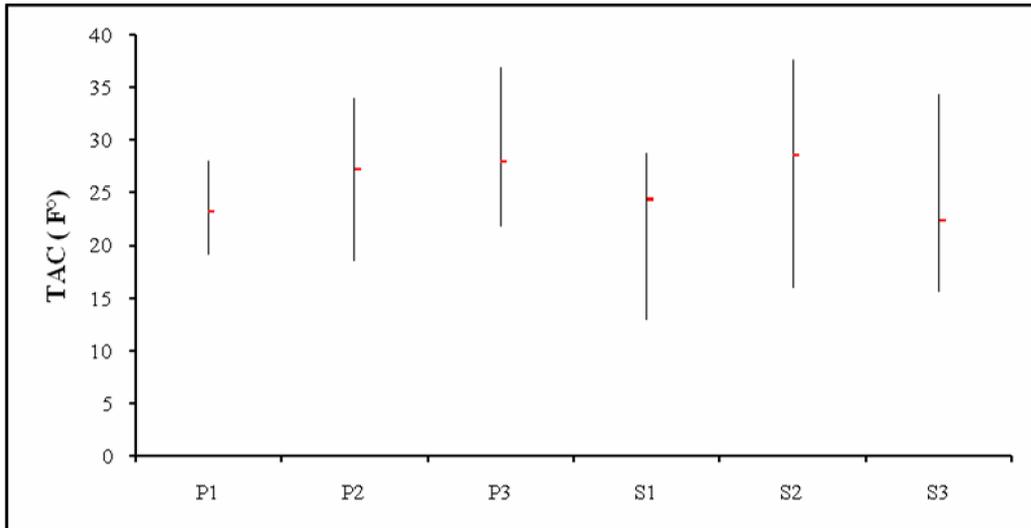


Fig. 40. Evolution des TAC dans les eaux des puits et des sources

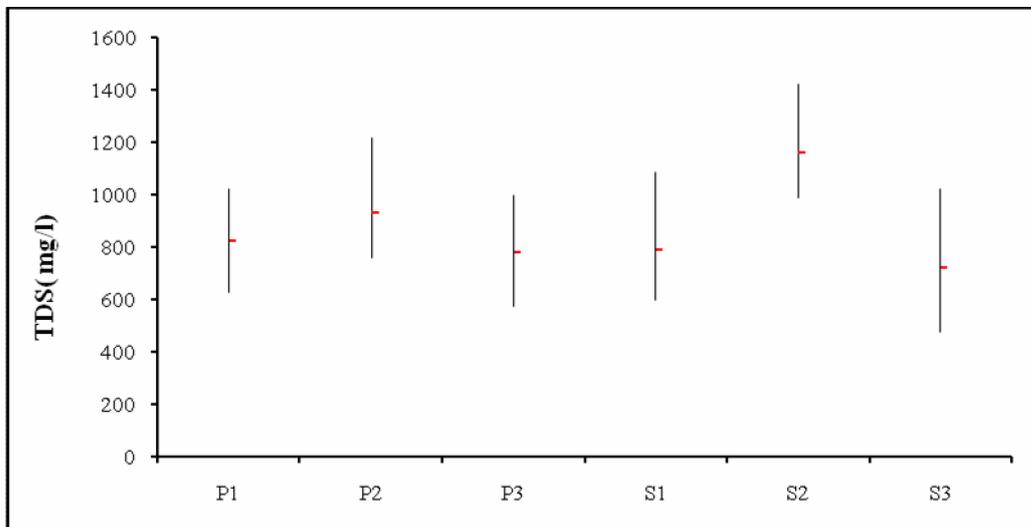


Fig. 41. Evolution des TDS dans les eaux des puits et des sources

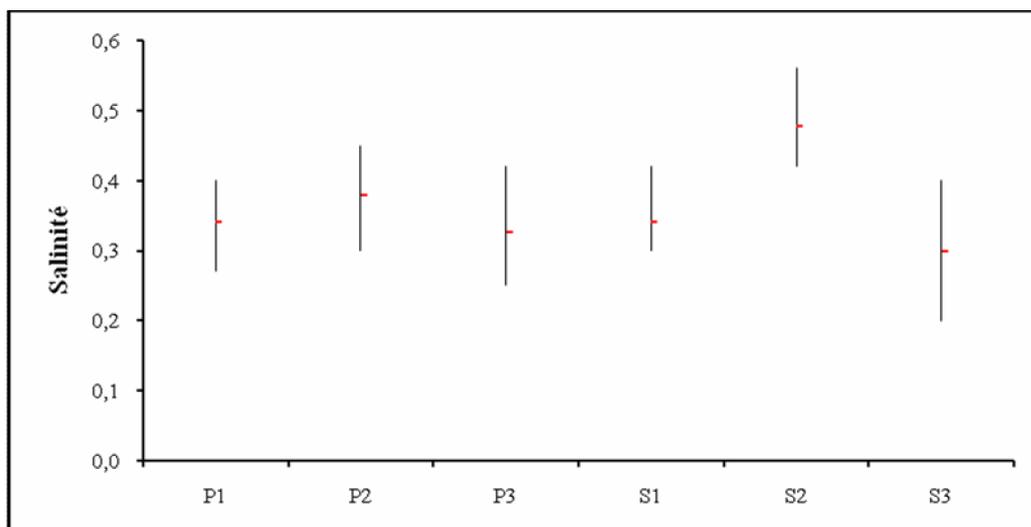


Fig. 42. Evolution de la salinité dans les eaux des puits et des sources

2.2. 6. Les éléments de la pollution :

2.2. 6.1. Les éléments majeurs:

La qualité des eaux souterraines peut se produire soit simultanément, soit avec un léger temps de retard due à l'infiltration des eaux. Les résultats obtenus nous montrent une grande variation des concentrations des éléments majeurs tel le Na^+ , les Cl^- , les SO_4^{2-} , le Ca^{2+} , le Mg^{2+} , les HCO_3^- , et le K^+ .

- **Le calcium (Ca^{2+}) :**

Le calcium est un autre élément qui constitue la dureté de l'eau et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. La figure 43 nous montre que les concentrations de Ca^{2+} dans les eaux des puits et des sources dépassent la valeur guide (100 mg/l) pour les eaux destinées à la consommation humaine (OMS, 1994) sauf pour la source (S3) (maximum de 96 mg/l). La présence de cet élément dans les eaux a pour origine la dissolution des formations carbonatées et gypseuses.

- **Le magnésium (Mg^{2+}) :**

D'après les résultats des analyses de Mg^{2+} (Fig. 44) nous remarquons que tous les échantillons ont des teneurs inférieures à 50 mg/l qui est la teneur maximale admissible par l'OMS. La teneur faible de 6,30 mg/l est observée au niveau des points (P3) et (S3) et la valeur maximale 22,8 mg/l est notée au niveau de la source (S2). Les cations Mg^{++} ont la même origine et la même provenance que celle du Ca^{2+} (dissolution des formations carbonatées).

- **Les chlorures (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. Les teneurs calculées sont inférieures à la norme de potabilité (250 mg/l) dans tous les points de prélèvement sauf pour la source (S2) où ces taux ont atteint un maximum de 261 mg/l (Fig. 45). Ces ions chlorures proviennent des lentilles argileuses présentes dans les alluvions.

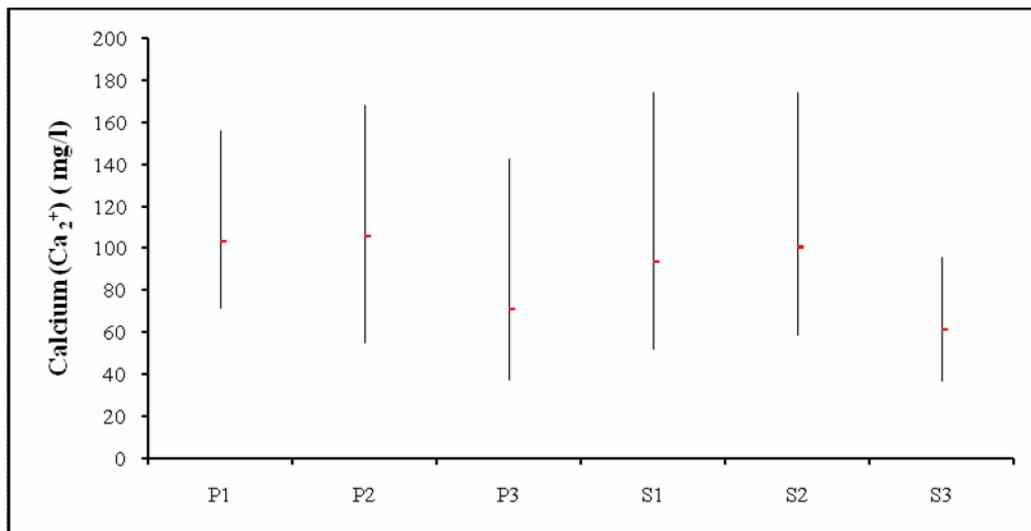


Fig. 43. Evolution du taux de calcium dans eaux des puits et des sources

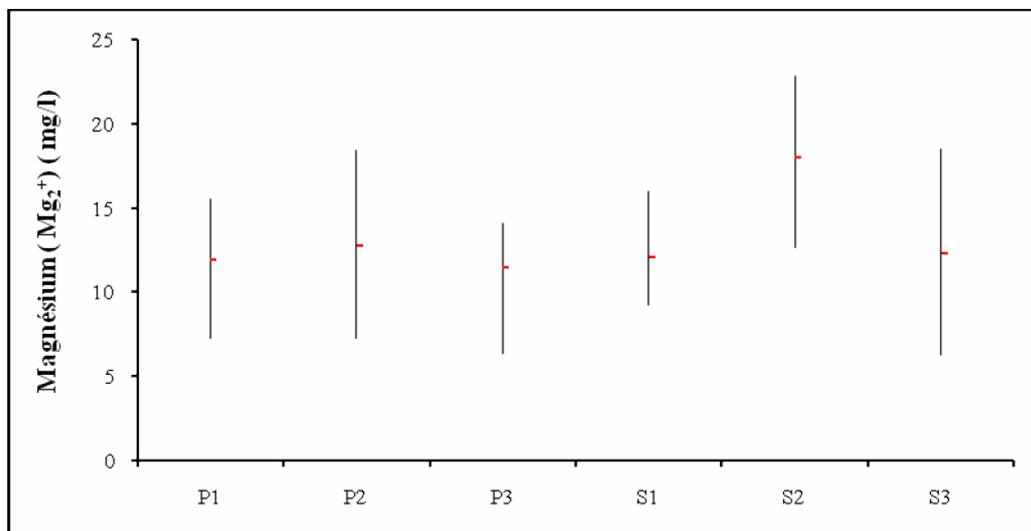


Fig. 44. Evolution du taux de magnésium dans les eaux des puits et des sources

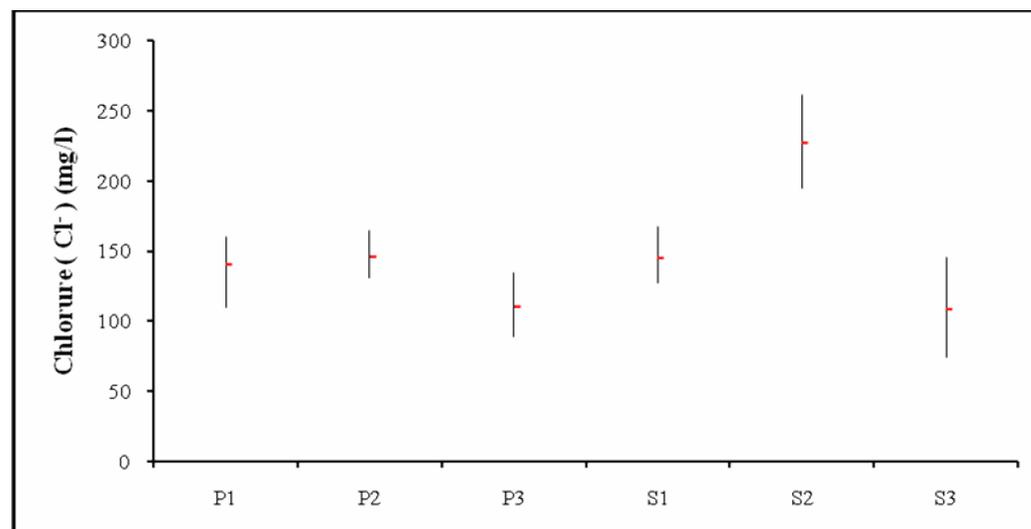


Fig. 45. Evolution des chlorures dans les eaux des puits et des sources

- **Le Sodium (Na^{2+}):**

Les taux de tous les échantillons ne dépassent pas les normes requises, mais ils contiennent des teneurs considérables en Na^{2+} . Nous remarquons que les concentrations moyennes sont proches, sauf pour la source (S2) qui exhibe la plus forte teneur de 87 mg/l (Fig. 46).

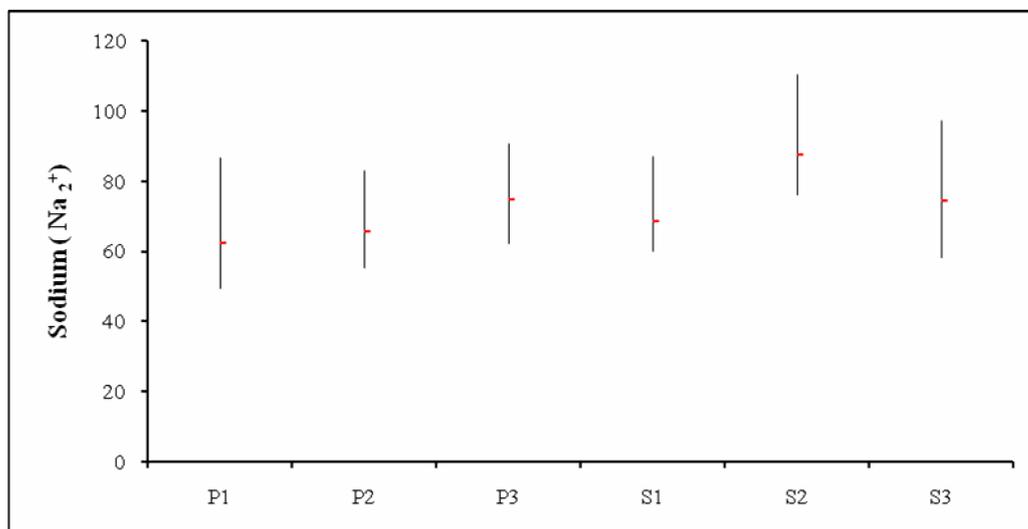


Fig. 46. Evolution du taux de magnésium dans les eaux des puits et des sources

- **Le Potassium (K^+):**

Les teneurs sont très variables pour les puits et les sources mais dans l'ensemble elles sont faibles et inférieures à la limite de potabilité (12 mg/l). La teneur maximale est dosée au niveau du puit (P2) (3,8 mg/l) et les teneurs minimales sont observées au niveau de la source (S3) et ceci durant toute la période de notre étude (Fig. 47).

- **Les sulfates (SO_4^{2-}):**

La concentration maximale fixée par l'OMS est de 250 mg/l. De fortes concentrations en sulfates provoquent des troubles gastro-intestinaux et peuvent donner un goût désagréable à l'eau.

Les concentrations moyennes des sulfates dans les points prélevés sont dans l'ensemble inférieures à la norme, mais certains points affichent des concentrations supérieures à la norme (P2, S2, S3) (Fig. 48). La présence de cet élément dans l'eau est liée à la dissolution des lentilles gypseuses. Les concentrations en sulfates sont plus élevées en période de pluies et ceci dans tous les points de prélèvement.

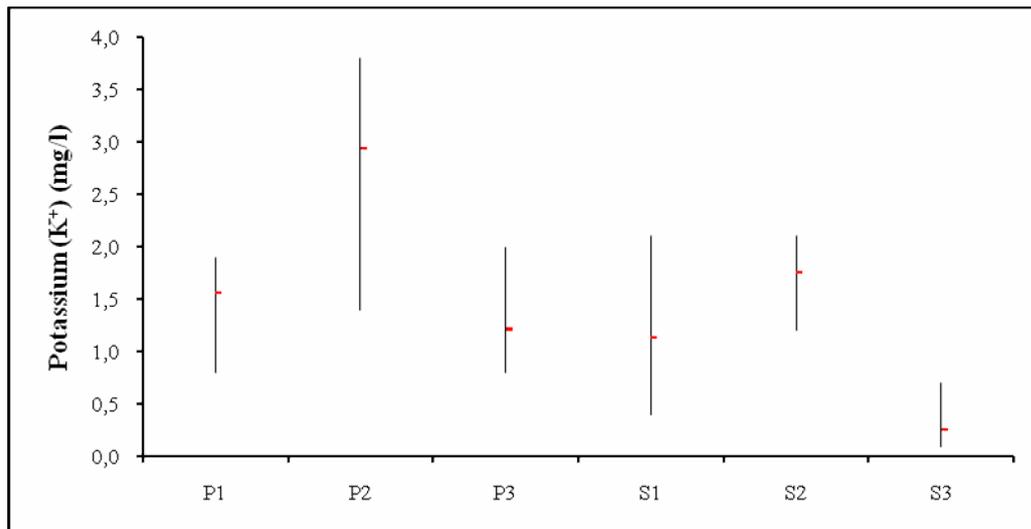


Fig. 47. Evolution du taux de potassium dans les eaux des puits et des sources

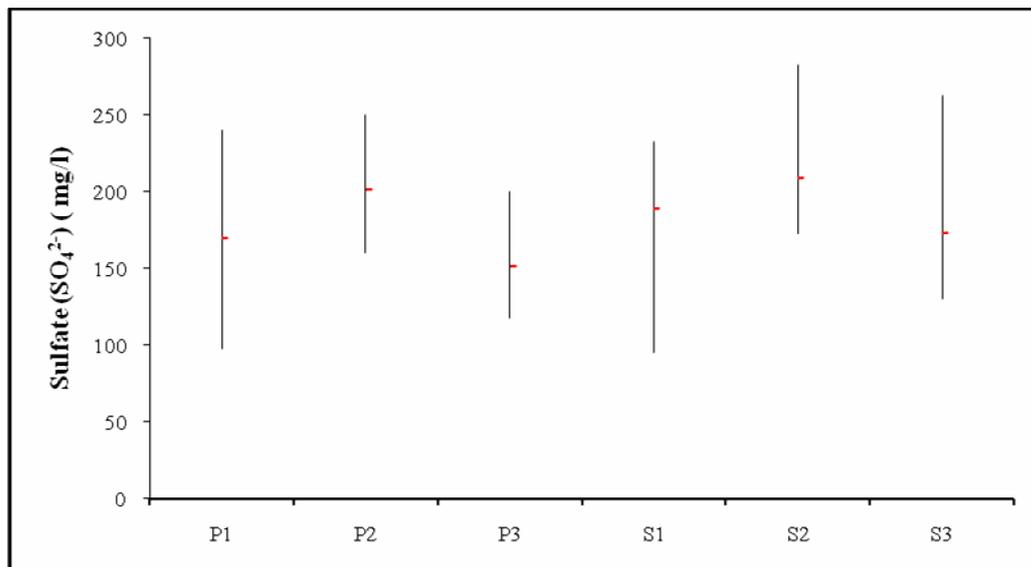


Fig. 48. Evolution du taux de sulfate dans les eaux des puits et des sources

- **Bicarbonates (HCO₃⁻) :**

Les concentrations en bicarbonates dans les eaux naturelles sont en relation directe avec le pH de l'eau, la température, la concentration en CO₂ dissous et la nature lithologique du sol.

Les teneurs sont très variables. Elles varient entre 82 mg/l (minimum observé) au niveau du point (S3) et 315 mg/l au niveau point (S2) (maximum observé). Les concentrations en HCO₃⁻ sont plus élevées durant les mois de mai et de juin et ceci peut être lié à l'effet de l'évaporation (Fig. 49).

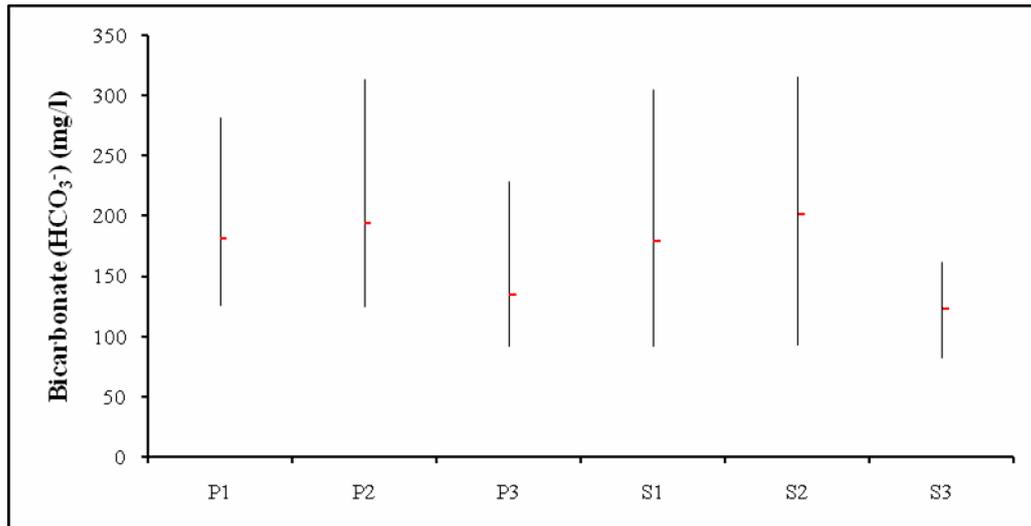


Fig. 49. Evolution de bicarbonate dans les eaux des puits et des sources

2.2. 6.2. Cycle de l'azote :

Dans la nature l'azote existe sous trois formes chimiques (nitrates, nitrite et l'ammonium):

- **Nitrates (NO_3^-) :**

Les ions nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote. C'est une forme très soluble. Sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques.

La figure 50 nous montre que la variation des teneurs en nitrates est identique pour les eaux des puits et des sources, où les concentrations sont élevées au cours des périodes de pluviométrie importante. Ce qui peut s'expliquer en partie par la dynamique de l'azote minérale au cours des successions culturales essentiellement durant la période pluvieuse. Le transport des nitrates dans la ressource en eau dépend essentiellement des précipitations, de la nature du sol, de la conduite des cultures, de la fertilisation et des systèmes de production.

Les concentrations dans les six points d'eau sont dans l'ensemble inférieures à la norme de 50 mg/l décrite par l'OMS pour les eaux destinées à la consommation humaine (OMS, 1994).

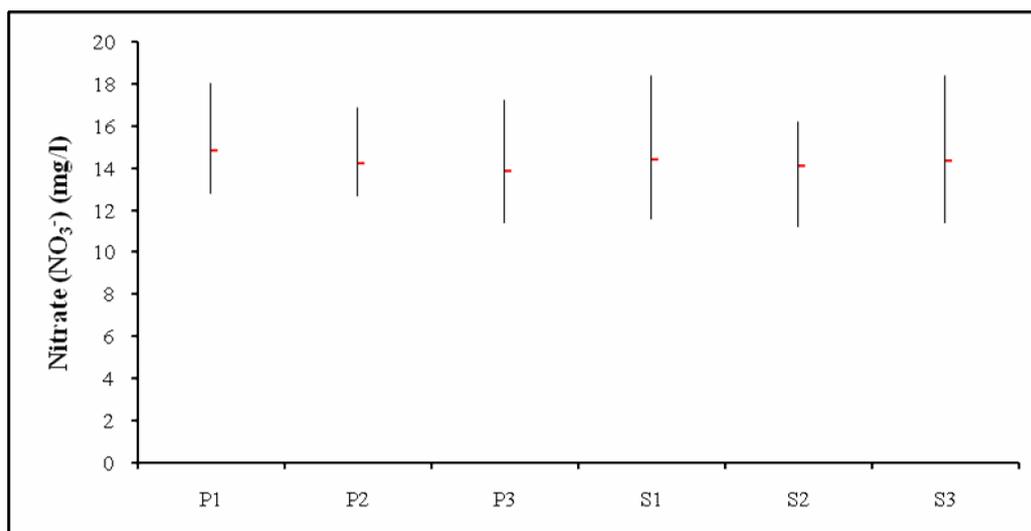


Fig. 50. Evolution du taux des nitrates dans les eaux des puits et des sources

- **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 51 nous montre que les teneurs en nitrites sont peu importantes. Les valeurs moyennes de tous les puits et les sources de notre étude ne dépassent pas les normes requises. Le maximum enregistré est de 0,18 mg/l au niveau du puit (P1), il est du probablement à l'infiltration des eaux des oueds vers la nappe.

- **Ammonium (NH_4^+) :**

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, 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 NH_4^+ mais d'une manière générale une eau bien oxygénée ne contient que des traces d'ammoniaque.

Les valeurs moyennes des teneurs en NH_4^+ calculés durant toute notre étude sont inférieures aux normes décrites par l'OMS (0,5 mg/l). Le maximum de 0,56 mg/l est observé au niveau de la source (S3) (Fig. 52).

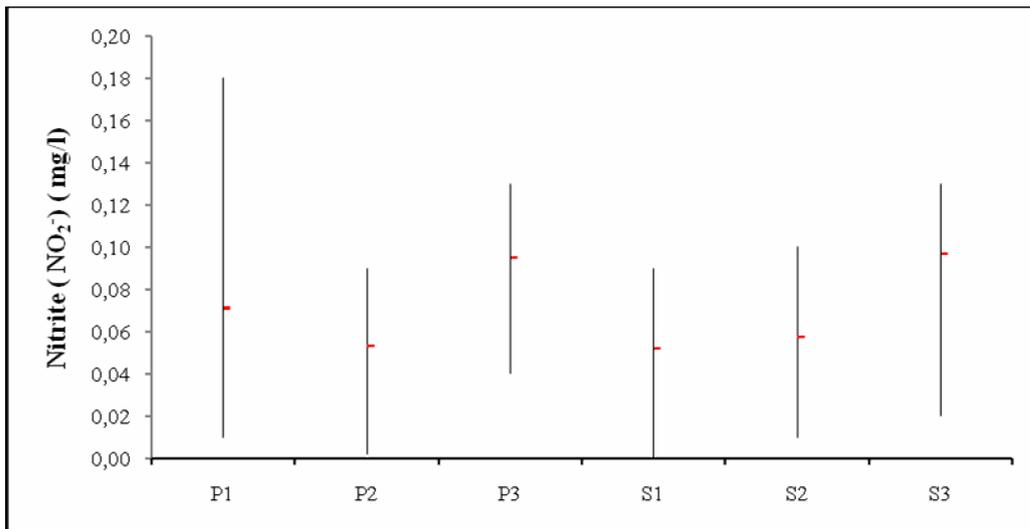


Fig. 51. Evolution du taux des nitrites dans les eaux des puits et des sources

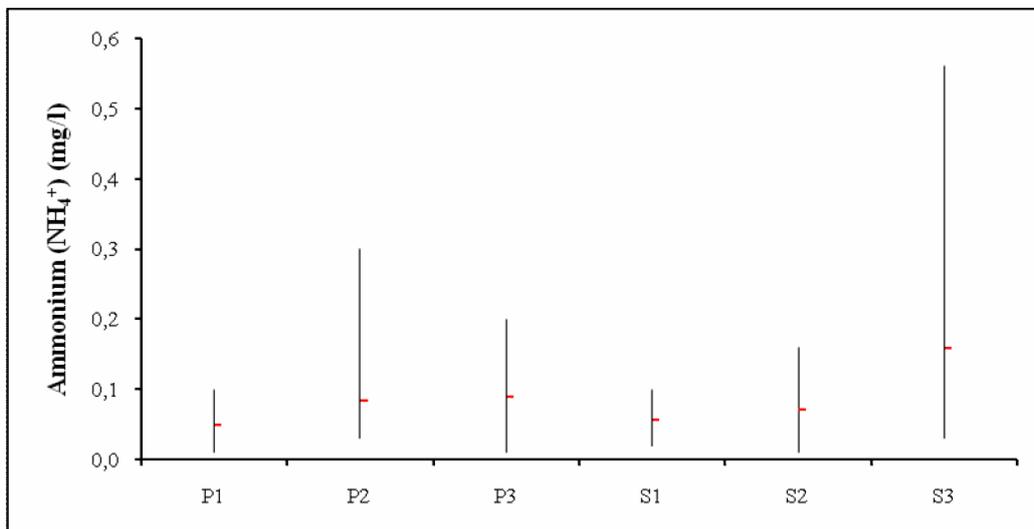


Fig. 52. Evolution du taux d'ammonium dans les eaux des puits et des sources

2.2. 6.3. Eléments mineurs naturels:

- **L'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 orthophosphates (Fig. 53) nous montrent que leurs concentrations dans les eaux des puits et des sources 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 puit (P3) (1,96 mg/l). Il est à noter que ce puit est situé dans une région à activité agricole intense.

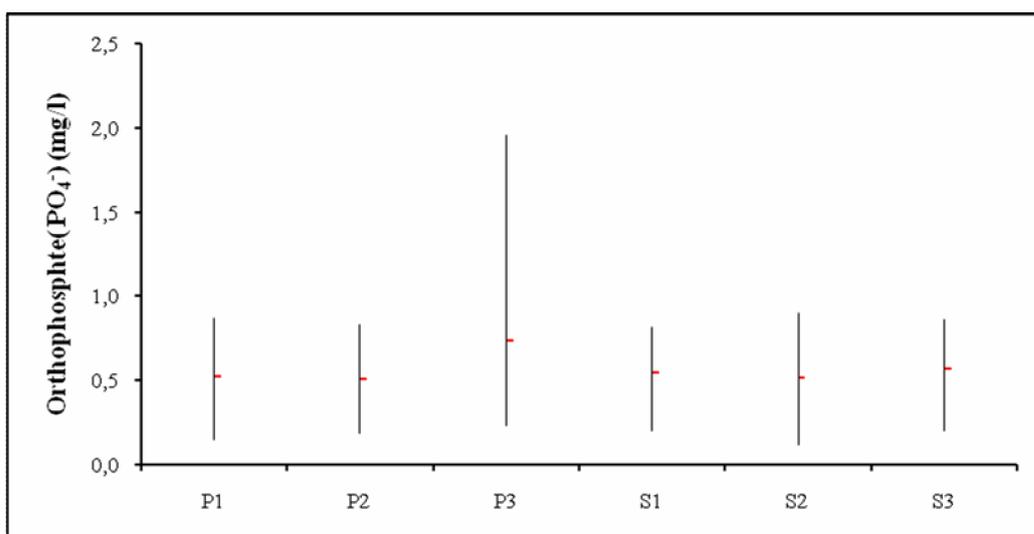


Fig. 53. Evolution du taux d'orthophosphate dans les eaux des puits et des sources

2.3. Aptitude des eaux des puits à l'irrigation :

Il est important de connaître la qualité des eaux d'irrigation, de chercher le degré de chaque type de pollution et de diagnostiquer les origines et les sources responsables de ces apports anthropiques. Nous avons soumis les puits (P1, P2, et P3) utilisés à des fins agricoles par la méthode de Richards où quatre critères majeurs sont à considérer lors de l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation:

- ✓ La concentration en sels dissous (risque de salinité)
- ✓ La quantité de sodium dans l'eau comparée à d'autres cations (risque de sodicité).
- ✓ La concentration des éléments toxiques qui inhibent la croissance des plantes où peut considérer un danger environnemental.
- ✓ Le bénéfice nutritionnel résultant des nutriments (nitrates, phosphates et sulfates).

• Classification de Richards :

L'agriculture a besoin d'une grande quantité d'eau. Il est nécessaire que cette ressource présente des propriétés physico-chimiques adaptées aux besoins des plantes. La minéralisation de l'eau reste combinée dans le sol par échange de base et par l'évaporation. Elle est utilisée par les plantes pour leur croissance et elle reste dans l'eau soit en suspension soit en solution.

Plusieurs problèmes pédologiques et agronomiques sont dus à la salinité des eaux d'irrigation: les sels peuvent donc perturber la croissance des plantes en limitant l'absorption d'eau par modification de la pression osmotique ou par réaction chimique du métabolisme. Ceci

étant causé par les constituants toxiques absorbés. Ceux qui sont incriminés sont en général le chlore, le sodium et le bore. Leur accumulation dans les tissus végétaux se traduit par des dommages à la plante (brulures des extrémités foliaires) et par fois des baisses de rendements (Tood, 1980 in Zeddouri, 2003). La présence du sodium dans les eaux d'irrigation va influencer la structure du sol et endommager les récoltes. Pour résoudre ce problème Richards (1954) a élaboré une classification, en se basant sur deux paramètres, soit le SAR (Sodium Absorption Ratio) et la conductivité électrique. Les classes d'utilisation des eaux (C1S1 à C4S4) (Tab. 22) nous montrent les différentes précautions à prendre pour l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation. Le SAR est défini par la relation suivante:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} (mg / l)$$

Les valeurs du SAR sont représentées en fonction de la conductivité électrique de l'eau sur le diagramme de Richards (Fig. 54).

Tab. 22. Classification des eaux par degrés d'aptitude à l'irrigation (Méthode du SAR).

Etat d'utilisation	Classe	Qualité	Degrés
Utilisation sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols.	C ₁ -S ₁ C ₁ -S ₂	Excellente	1
Convenable aux plantes qui ont une tolérance aux sels, cependant son utilisation peut générer des problèmes pour les argiles.	C ₂ -S ₁ C ₂ -S ₂	Bonne	2
La salinité doit être contrôlée, irrigation des cultures tolérables aux sels sur des sols bien drainées.	C ₃ -S ₁ , C ₂ -S ₃ , C ₃ -S ₂	Admissible	3
Eau fortement minéralisée, utilisée uniquement pour des plantes très résistantes aux sels dont le sol présente une bonne perméabilité.	C ₄ -S ₁ , C ₄ -S ₂ , C ₃ -S ₃	Médiocre	4
Inutilisable.	C ₃ -S ₄ , C ₄ -S ₃ , C ₄ -S ₄	Mauvaise	5

D'après le diagramme de Richards (Fig. 54) on constate que les eaux des trois puits appartiennent à la même classe d'aptitude à l'irrigation : classe C_3S_1 ; Elles sont d'une qualité admissible. En générale, ces eaux conviennent à l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur des sols bien drainés.

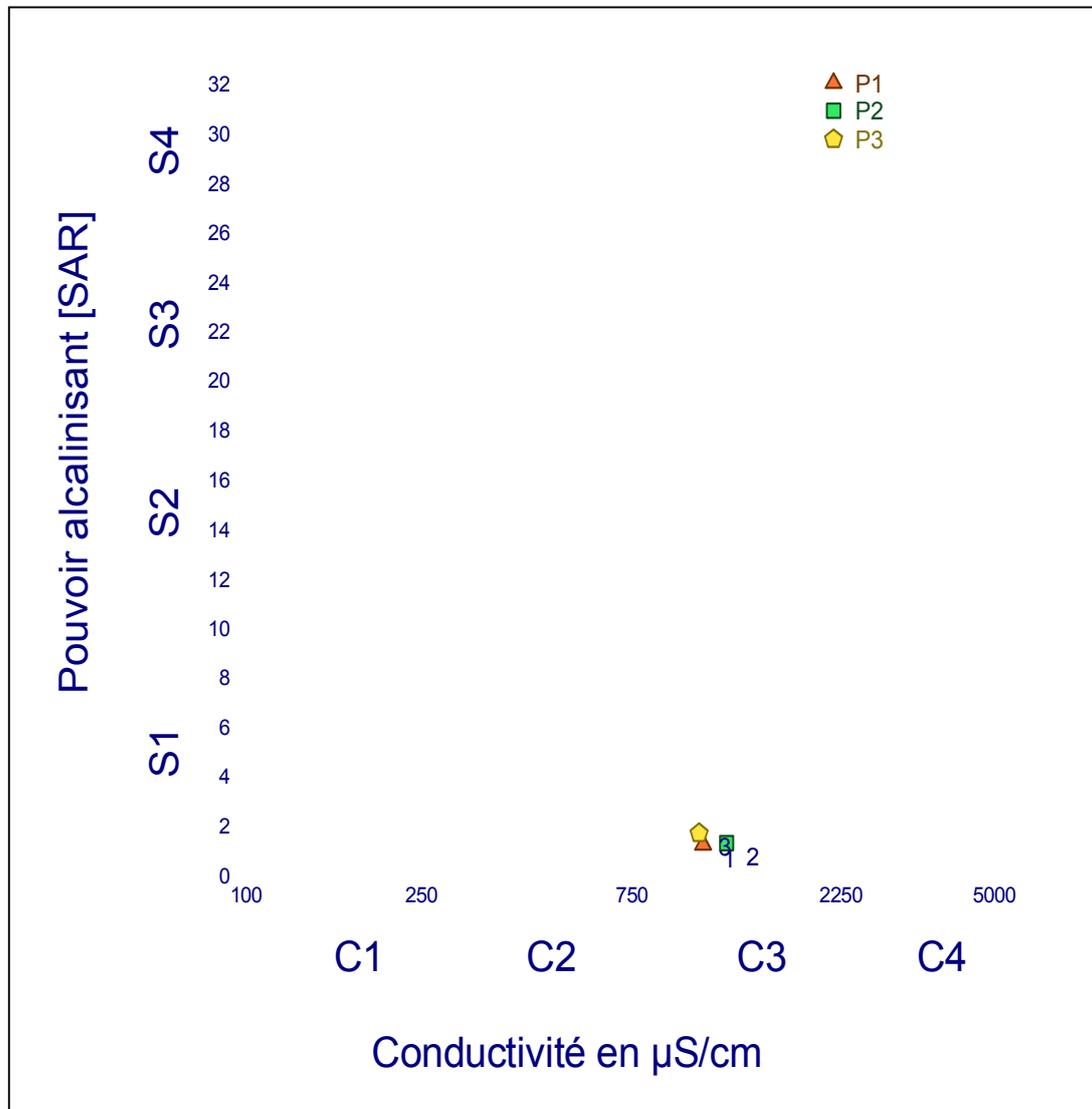


Fig. 54. Diagramme de Richards

2.4. Analyse statistique en composantes principales :

L'analyse en composantes principales (ACP) a pour but la détermination des liens existants entre les éléments et leurs origines. Cette analyse a été effectuée par le logiciel *Spad*. La matrice des données comporte 19 variables et 6 individus. Le traitement réalisé a donné une inertie totale de 77.94 % pour les deux axes F1 et F2. (Fig. 55).

- ✓ Le facteur F1 (56.97%) montre une opposition entre les éléments issus des rejets urbains caractérisés, par la présence de l'ammonium, du phosphate, et des nitrites, et les éléments majeurs caractérisant la minéralisation des eaux comme le Na^+ , le Ca^{2+} , le Mg^{2+} , le SO_4^{2-} et le Cl^- . Ces éléments semblent avoir la même origine.
- ✓ Le facteur F2 (20.97 %) indique une opposition entre les eaux fortement minéralisées et polluées par les nitrites, l'ammonium et le phosphate (origine ménagère) aux eaux polluées par les nitrates. L'absence de nitrate dans le premier groupe serait lié au fait que ce dernier peut avoir une origine agricole.

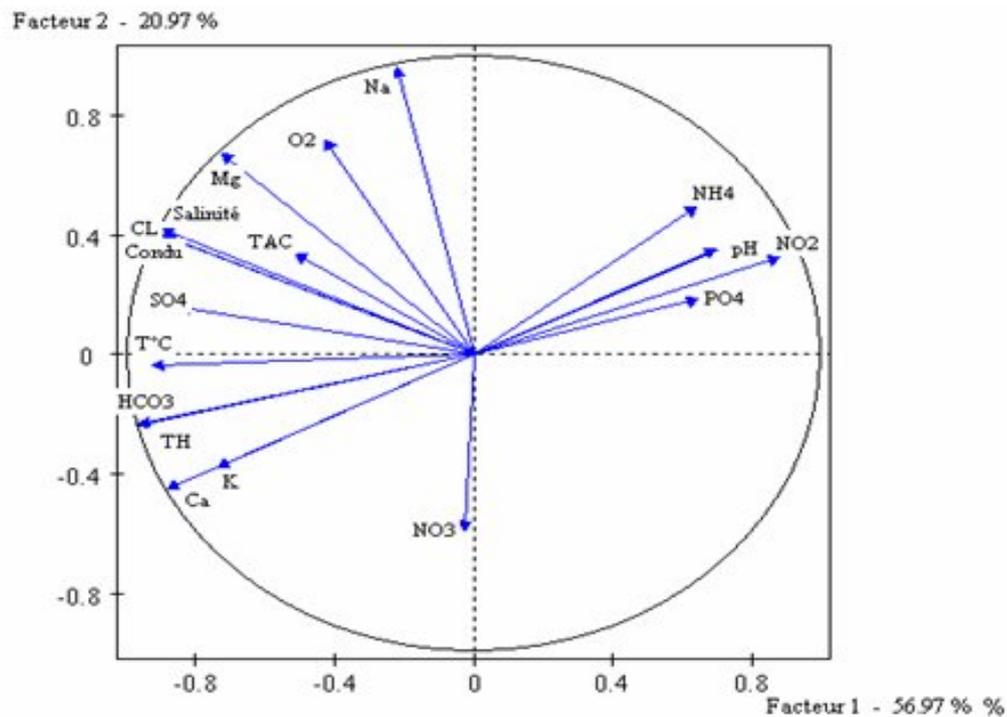


Fig. 55. Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe F1 et l'axe F2.

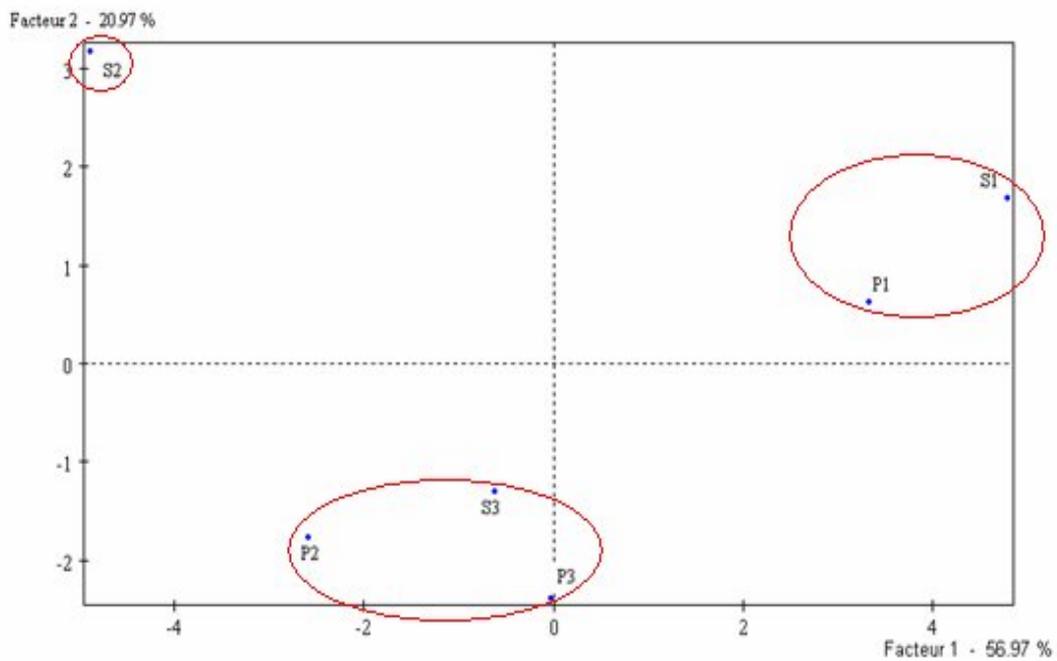


Fig. 56. Projection des individus sur le plan F1-F2.

La projection des individus (Fig. 56) nous expose l'existence de trois groupes:

- ✓ Le groupe de minéralisation traduit les eaux de la source S2.
- ✓ Le deuxième avec une dominance des éléments de la pollution urbaine et industrielles (les eaux de puit P1 et la source S1).
- ✓ Le dernier groupe concerne les eaux des puits P2, P3 et la source S3 qui sont riches en nitrate et potassium (pollution agricole).

Conclusion

Cette étude a été menée dans le but de déterminer la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de certains puits et sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie).

La région d'étude correspond à une dépression d'une surface moyenne de 122 km² à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest, remplie des formations mio-pliocène et quaternaires. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, travertins) perméables et offrent par conséquent un intérêt hydrogéologique.

La région obéit à un climat méditerranéen, semi aride, caractérisée par deux saisons distinctes, l'une sèche et chaude et l'autre pluvieuse et froide. Les températures moyennes oscillent entre 9°C durant le mois de janvier et 27.5°C pendant le mois d'août. Elle reçoit une précipitation moyenne de 606 mm dont 74.21mm sont ruisselés et 92.47 mm infiltrés. Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite, fait ressortir une évapotranspiration réelle de 439.42mm engendrant un déficit agricole de 527.61 mm.

Du point de vue microbiologique, les résultats que nous avons obtenus dans les six points d'eau (sources et puits) à travers les dénombrements réalisés le long de nos campagnes de prélèvements nous exposent une contamination bactérienne variable. En effet, l'évolution des abondances des différents groupes a montré des variations spatiale et temporelle très marquées avec des concentrations bactériennes maximales notées durant la période estivale. Du point de vue nature de germes isolés et quantités de microorganismes, ceux ci 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; les principales sont:

- ✓ La mauvaise protection des puits et des sources.
- ✓ La non application des mesures d'hygiène élémentaires.
- ✓ La mauvaise conception des puisards et des latrines.
- ✓ La mauvaise évacuation des eaux usées.

Du point de vue physico-chimique, une différence notable des taux et des teneurs mesurées de chaque paramètre étudié. Dans la majorité des cas elles répondent aux normes de potabilité alors que des fois elles dépassent les normes, tel: la conductivité, la dureté, la TDS, les sulfates 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, la pratique agricole et par les effluents industriels.

L'analyse statistique multivariée par le biais de l'ACP nous expose un graphique qui rassemble les éléments majeurs Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , évoluant ensemble et peuvent avoir la même origine soit le contact eau-roche, mettant en évidence une pollution naturelle. Les concentrations les plus élevées en ammonium, en phosphate et en potassium sont enregistrées au niveau des (P1) et (S1) et dont la cause est souvent pollution domestique et industrielle.

A la lumière de ces résultats, les ressources en eau exploitées de la nappe alluviale de la région de Guelma à travers les puits et les sources 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.

- En recommandation, et pour améliorer la qualité des eaux de puits et des sources nous proposons les solutions suivantes :

- ✓ Mener une large campagne de sensibilisation.
- ✓ Un contrôle permanent des puits et des sources.
- ✓ Exiger le respect des normes de protection des puits (Revêtement intérieur: le puit doit être étanche, sa profondeur doit être suffisante. Revêtement extérieur: il comprend généralement une margelle «équipement fait en surélévation de l'ouverture du puits et il a pour but d'arrêter tout ce qui doit passer par l'ouverture du puit pour contaminer l'eau». La dalle de couverture qui doit être en béton armé et de dimensions variables suivant le diamètre du puits. Elle repose sur la margelle et doit être conforme à ses dimensions. La plateforme qui est un aménagement réalisé tout au tour du puit. Cette aire doit être inclinée du puit vers l'extérieure. Une rigole doit la ceinturer et drainer toutes les eaux qui s'écoulent vers un puisard à quelques mètres du puit.
- ✓ 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 déchets industriels (unités industrielles de production, stations de lavage et de carburant, élevage, raffinerie...).
- ✓ Eviter les infiltrations des rejets domestiques et industriels vers les aquifères et faire recours à des transferts par canalisations vers les stations d'épuration, ou vers des lagunes pour un traitement microbiologique (projet en phase d'étude par la DHW de Guelma).
- ✓ Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et des pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines.

La région de Guelma est une zone à vocation agricole connue par ces ressources en eaux souterraines. Ainsi de nombreuses sources sont observées aux bords des routes reliant les différentes communes de la wilaya. De nombreuses habitations sont aussi dotées de puits à usage personnel. Afin de déterminer la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux souterraines de cette région, des analyses mensuelles ont été réalisées sur une période de dix mois (de septembre 2008 à juin 2009) et qui ont portées principalement sur la quantification des bactéries indicatrices de contamination fécale et sur la détermination de la concentration de certains éléments physico-chimiques dans ces eaux.

Les résultats des analyses chimiques ont 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; signalées par les fortes concentrations en coliformes fécaux, streptocoques fécaux. Cette pollution affecte l'environnement et constitue une menace majeure sur la santé de ces habitants.

Mots clés : qualité microbiologique, physico-chimique, pollution de l'eau, coliformes, eau souterraine, Guelma.

The region of Guelma is an area for agricultural known by the groundwater resources. So many sources are observed at the edges of roads linking various towns in the wilaya. Many homes are also equipped well for personal use. To determine the microbiological quality and physico-chemical of groundwater in this region, monthly analysis were carried out over a period of ten months (September/2008-June/ 2009) made mainly on the quantification of indicator bacteria of contamination faecal and determining the concentration of some physico-chemical elements in these waters.

The results of chemical analysis have shown that the variation of the concentration of elements is closely related to the interference of several factors (rainfall, geological substrate, human activities ...) while the results of microbiological analysis expose us faecal contamination of water the region marked by high concentrations of faecal coliforms, faecal streptococci. This pollution affects the environment and constitutes a major threat to the health of these people.

Word Keys: microbiological quality, physic-chemical, water pollution, coliform, groundwater, Guelma.

منطقة قالمة هي منطقة زراعية تعرف بمواردها الجوفية. حيث نلاحظ العديد من الينابيع على حواف الطرق التي تربط بين مختلف المدن في الولاية. العديد من السكان لهم أيضا آبار للاستخدام الشخصي. من اجل تحديد النوعية الميكروبيولوجية والفيزيوكيميائية للمياه الجوفية في هذه المنطقة، أجريت تحاليل شهرية خلال فترة عشرة أشهر (سبتمبر /2008 – جوان /2009) ، وركزت في الأساس على التحديد الكمي للبكتيريا المحددة للتلوث البرازي ، وعلى تحديد تركيز بعض العناصر الفيزيوكيميائية في هذه المياه.

نتائج التحليل الكيميائي أوضحت أن الاختلاف في تركيز العناصر يرتبط ارتباطا وثيقا بتدخل العديد من العوامل (سقوط الأمطار ، والركازة الجيولوجية ، والأنشطة البشرية...)، بينما نتائج التحليل الميكروبيولوجي يبين لنا التلوث البرازي لمياه هذه المنطقة من خلال التراكيز العالية من بكتيريا القولون ، بكتيريا المكورات السبحية البرازية. هذا التلوث يؤثر على البيئة ويشكل خطرا كبيرا على صحة السكان.

الكلمات المفتاحية : النوعية الميكروبيولوجية، الفيزيوكيميائية ، تلوث المياه، بكتيريا القولون، المياه الجوفية، قالمة.

Références Bibliographiques

- **A.B.H-C.S.M** (Agence des Bassins Hydrographiques; Constantinois, Seybouse, Mellègue) (2005). Qualité Des Eaux Souterraines Dans Le Bassin De La Seybouse, Rapport Interne. 46 p.
- **Algéo** (Alger Géophysique) (1997). Etude Géophysique Dans La Plaine De Guelma. Rapport Interne, 28 p.
- **Aminot A. et Chaussepied M.** (1983). Manuels D'analyses Chimiques En Milieu Marin. 993 p.
- **Avril J-L, Dabernat H., Denis F. et Monteil H.** (2000). Bactériologie Clinique. *Ellipses*, 602 p.
- **Berche P.** (1999), Choléra Et Environnement. *Méd. Mal. Infect* N°29 : 301 – 307.
- **Berche P., Gaillard J-L. et Simouet M.** (1988). Bactériologie, Les Bactéries Des Infections Humaines. Flammarion Médecine Sciences. 660p.
- **Benmarce K.** (2007). *Caractéristiques Physico-chimiques Et Isotopiques Des Eaux Souterraines Dans La Région De Guelma (NE algérien)*. Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 126 p.
- **Bensaci T.** (2006). *Détermination De la Qualité Physico-chimique Et Bactériologiques Des Eaux De Surface: Cas du Barrage Timgad (W. d'Oum El Bouaghi)*. Mémoire de Magister, Centre Université Larbi Ben M'hidi, Oum El-Bouaghi. 98 p.
- **Berne F. et Cordonnier J.** (1991). Traitement Des Eaux. *Technique*, Paris. 306p.
- **Bliefert C. et Perraud R.** (2001). Chimie De L'environnement: Air, Eau, Sol, Déchet. *De Boeck*. 477 p.
- **Bourée P.** (1983). Aide – Mémoire De Parasitologie Et De Pathologie Tropicale. *Flammarion*. 1 97 p.
- **Bourdon T-L. et Marchal N.** (1973). Techniques Bactériologiques. *Dion*. 335p.
- **Bourgeois C-M. et Leveau J.Y.** (1980). Techniques D'Analyse Et De Contrôle Dans Les Industries Agro-alimentaire, T3. *Apria*. 331p.
- **Bouziani M.** (2000). L'eau De La Pénurie Aux Maladies. *Editions Ibn-Khaldoun Alger*. 247 p.
- **Buchaman R-E. et Gibbons N.** (1974), Bergy's Manual Of Determinative Bacteriology. *Williams & Wilkins*. 1246p.
- **C.R.A.A.G.** (Centre de Recherches Astronomiques et Géophysiques Algérien) (2004). Etude Géophysique Par Gravimétrie De La Région D'Oued Zénati, Guelma. Rapport Interne. 42 p.
- **Castany G. et Margot T.** (1977). Dictionnaire Français D'hydrogéologie, Géologie Minière. 249 p.

- **Chadefaud M. (1978).** Les Champignons : Précis De Botanique, Végétaux Inférieurs. 2^{ème} édition. *Masson*. 482 p.
- **Chaoui W. (2007).** *Impact De La Pollution Organique Et Chimique Des Eaux De l'Oued Seybouse Et De l'Oued Mellah Sur Les Eaux Souterraines De La Nappe Alluviale De Bouchegouf (Guelma)*. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. 101p.
- **Coulibaly K. (2005).** *Etude De La Qualité Physico-chimique Et Bactériologique De L'eau Des Puits De Certains Quartiers Du District De Bamako*. Thèse de Doctorat, Université de Bamako. 69p.
- **Dajoz R. (2000).** Précis D'Ecologie: Cours Et Exercices Résolus. 7^{ième} édition. *Dunod*, Paris. 613p.
- **Debieche T-H. (2002).** *Evolution De La Qualité Des Eaux (Salinité, Azote et métaux lourds) Sous L'effet De La Pollution Saline, Agricole Et Industrielle. Application à la Basse Plaine De La Seybouse Nord-Est Algérien*. Thèse de Doctorat, Université de Constantine. 235p.
- **Delarras C. et Trebaol B. (2003).** Surveillance Sanitaire Et Microbiologique Des Eaux: Réglementation - Prélèvements - Analyses. *TEC & DOC*. 269p.
- **Detay M. (1993).** Le Forage D'eau ; Réalisation, Entretien Et Réhabilitation. *Masson*. 379p.
- **D.H.W.G. (2008):** Direction De L'hydraulique De La Wilaya De Guelma.
- **Djabri L. (1996).** *Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines*. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba. 261 p.
- **D.P.A.T. (2008).** Direction De La Planification Et De l'Aménagement Du Territoire. Rapport Interne, Monographie De La wilaya De Guelma. 36 p.
- **Duffour A-P. (1977).** *E.coli: The Faecal Coliform*. 4 8–58. In Hoadely A.W. and B.J.Dukta (eds).
- **E.NA.GEO. (1971).** Entreprise Nationale De Géophysique. Etude Géophysique Dans La Région De Guelma. 52 p.
- **Emsalem R. (1986).** Climatologie Générale. Edition. *I.P.E.N.A.G*. Tome 1. 198p.
- **Fassatiava O. (1986).** Moulds and Filamentous Fungi In Technical Microbiology, 234p.
- **Faurie C. (1999).** Ecologie Approche Scientifique Et Pratique. 4^{ème} édition. *TEC & DOC*. 318p.
- **Forestie C-H., Liverelli V. et Joly B. (1998).** Actualités Sur L'Epidémiologie Et Les Facteurs De Pathogénicité De *Escherichia.Coli*. Entérovirulentes. Tome XIII.N°1. 149p.
- **Fournier J-M. (1996).** Choléra. *Encycl. Méd. Chir (Elsevier)*. Maladies Infectieuses 8 - 026-F-10 : 1 – 5.

- Gerba C-P., Walis G. et Melnick J-L. (1975). Fafe Of Wasterwater Bacteria And Virus In Soil. Journal Of The Irrigation And Drainage. *Division Sept.* 174p.
- Germani Y. et Sansonetti P. (1999). Schigelloses Et Infection à *Escherichia coli* Entéro-infasifs. *Encycl. Méd. Chir (Elsevier)*. Maladies Infectieuses 8-026-A-10 : 1–9.
- Grigori D. et Borelli D. (1986). Traité De Mycologie Médicale. *Payot*. 482p.
- Guiraud J. et Galzy P. (1980). L’analyse microbiologique dans les industries alimentaires. 533p.
- Guiraud J-P. (1998). Microbiologie alimentaire. *Dunod*. 651p.
- Hani A. (2003). *Analyse Méthodologique De La Structure Et Des Processus Anthropiques: Application Aux Ressources En Eau D'un Bassin Côtier Mediterranéen*. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba. 210p.
- Institut Pasteur Production (1978). Milieux ET Réactifs De Laboratoire Pasteur. *Publifab*, Paris. 573p.
- Ivanoff B. et Levine M. (1997). Typhoid fever: Continuing Challenge From a Resilient Bacterial. 142p.
- Kirati B. et Brahmia N. (2006). *Impact Des Eaux D'irrigation Sur Les Eaux Souterraines De La Plaine Alluviale De Guelma*. Mémoire D’Ingéniorat En Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar .Annaba. 113 p.
- Khadri S. (2004). *Monographie Hydrogéologique De La Wilaya De Guelma*. Mémoire D’Ingéniorat En Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar. Annaba, 82 p.
- Khelfaoui H (2007). *Impacts Des Rejets Industriels Sur Les Eaux Souterraines. Cas De La Région De Berrahal (Algérie)*. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba. 139 p.
- Kherici N. (1993). *Vulnérabilité à La Pollution Chimique Des Eaux Souterraines D'un Système De Nappe Superposée En Milieu Industriel Et Agricole (Annaba-la Mafragh) Nord-Est Algérien*. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar. Annaba. 170p.
- Koenig H. (1995). Guide De Mycologie Médicale. *Ellipses-Marketing*. 284p.
- Kreisel W. (1991). Water Quality And Health. *Dunod*. 209p.
- Laurans R. et Koeppel M-C. (1995). Infection Cutanéomuqueuse à *C. albicans* : 253- 260.
- Laveran H. (2000). Les Infections Nosocomiales Virales Et Agents Transmissibles Non Conventionnels. *John Libbey*. 527-539.
- Lebres E. (2006). Cours D’hygiène Et De Microbiologie Des Eaux (Manuel De Travaux Pratiques Des Eaux). *Institut Pasteur d'Algérie*. 60p.

- **Leclerc H. (1994).** Microbiologie Des Eaux D'alimentation. *TEC & DOC.* 495p.
- **Leminor L. et Veron M. (1989).** Bactériologie Médicale. *Flammarion Médecine Sciences.* 845p
- **Leyral, G. et Joffin J-N. (1998).** Microbiologie Technique. *Centre régional de documentation pédagogique (CRPD) d'Aquitaine, 2^{ème} édition.* 249-297.
- **Majdoub R., Coté C., Laibidi M., Guay K., et Généraux M. (2003).** Impact De L'utilisation Des Engrais De Ferme Sur La Qualité Microbiologique Des Eaux Souterraines. *Revue De Littérature.* 136p.
- **Marchon B. (1996).** Fièvres Typhoïdes. *Flammarion Médecine Sciences.* Tome 4. 170p.
- **Masschelein W-J. (1999).** Processus Unitaires Du Traitement De L'eau Potable. *TEC & DOC.* 691p.
- **Mouassa S. (2006).** *Impact Du Périmètre D'irrigation Sur La Qualité Des Eaux Souterraines De La Nappe Alluviale De Guelma Et Sur Les Sols.* Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba. 120p.
- **OMS (1986).** Directive Pour La Qualité De L'eau De Boisson. Volume 1 (Recommandations). *Organisation Mondiale De La Santé.* 2^{ième} édition. 211p.
- **OMS (2000).** Directive Pour La Qualité De L'eau De Boisson; Volume 2 (Critères D'hygiène). *Organisation Mondiale De La Santé.* 2^{ième} édition. 189p.
- **Pilet C., Bourdon J-L., Toma B., Marchal N., Balbastre C. et Person J-M. (1987).** Bactériologie Médicale Et Vétérinaire: Systématique Bactérienne. *Doin.* 372p.
- **Prescott L-M., Harly J-P. et Kelin D-A. (2003).** Microbiologie. 2^{ième} édition. *De Boeck & Larcier.* Paris. 1137p.
- **Ramade F. (1982).** Eléments D'écologie, Ecologie Appliquée, L'action De L'homme Sur La Biosphère. 2^{ième} édition. *Masson.* Paris. 422 p.
- **Rejesk F. (2002).** Analyse Des Eaux ; Aspects Réglementaires Et Techniques. *Sceren.* Paris. 360p.
- **Rodier J. (1996).** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8^{ème} édition. *Dunod.* 1383 p.
- **Rodier J. (2005).** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8^{ème} édition. *Dunod.* 1383 p.
- **Roger M-P. et Dellemonica P. (2000).** Fièvres Typhoïdes Et Paratyphoïdes : Epidémiologie, Etiologie, Physiopathologie, Diagnostic, Evolution, Traitement. *La revue Du Praticien.* Tome 50 : 335-399.

- **Roux M. (1987).** Office International De L'eau: L'analyse Biologique De L'eau. *TEC& DOC.* Paris. 229p.
- **Saadali B. (2007).** *Etude De La Qualité Des Eaux Des Sources Issues Du Massif Dunaire De Bouteldja (Algérie Extrême Nord Orientale).* Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba. 83p.
- **Sayad L. (2008).** *Qualité Physico-chimique Et Bactériologique Des Eaux De L'écosystème Lacustre Lac des Oiseaux (Wilaya EL Tarf).* Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar. Annaba. 110p.
- **Sansonetti P-J. (1989).** Facteurs De Pathogénicité Des Bactéries Entéro -pathogènes : Sciences Des Aliments. *Doin.* 216.p.
- **Singleton P. (1999).** Bactériologie. 4^{ème} édition. *Dunod.* 542p.
- **Singleton P. (2002).** Bactériologie. 2^{ème} cycle, 6^{ème} édition. *Dunod.* 415p.
- **Soltner D. (1999).** Les Bases De La Production Végétale. Edition. *Sciences & Techniques Agricoles,* Tome 2. 396 p.
- **Stengel P. et Gélén S. (1998).** Sol, Interface Fragile. Edition. *INRA.* 210p.
- **Thierrin J., Steffen P., Cornaz S., Vualaz F-D., Balderer W., Looser M., Zpbrit J. et Zumstein J. (2001).** Guide Pratique De L'échantillonnage Des Eaux Souterraines. *Société Suisse D'Hydrogéologie.* 57p.
- **Vila J-M. (1980).** *La Chaine Alpine d'Algérie Orientale Et Des Confins Algéro-Tunisiens.* Thèse de Doctorat. Paris. 665 p.
- **Zeddouri A. (2003).** *Contribution à L'étude Hydrogéologique Et Hydro-chimique De La Plaine Alluviale De Guelma (Essai De Modélisation), Guelma, NE Algérien.* Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. 107 p.

Annexes

Résultats d'analyses microbiologiques :

Tab. 1. Résultats de dénombrement des germes totaux

S3	S2	S1	P3	P2	P1		
380	380	300	440	416	540	FTAM(37°C)	Sep
220	260	220	380	460	480	FTAM 22°C	
340	120	160	280	272	320	FTAM(37°C)	Oct
248	72	200	320	320	260	FTAM 22°C	
104	160	80	1000	100	280	FTAM(37°C)	Nov
72	80	68	N.C(ind)	260	320	FTAM 22°C	
100	120	132	96	90	N.C(ind)	FTAM(37°C)	Dec
60	100	100	180	160	N.C(ind)	FTAM 22°C	
280	80	104	100	50	100	FTAM(37°C)	Jan
168	60	120	116	30	80	FTAM 22°C	
180	0	00	80	320	260	FTAM(37°C)	Fev
100	00	00	192	200	200	FTAM 22°C	
120	64	68	160	100	96	FTAM(37°C)	Mar
80	84	64	100	80	72	FTAM 22°C	
N.C(ind)	72	60	120	96	600	FTAM(37°C)	Avr
240	100	72	180	120	440	FTAM 22°C	
N.C(ind)	640	680	N.C(ind)	N.C(ind)	N.C(ind)	FTAM(37°C)	Mai
N.C(ind)	480	600	630	720	680	FTAM 22°C	
N.C(ind)	N.C(ind)	N.C(ind)	N.C(ind)	N.C(ind)	N.C(ind)	FTAM(37°C)	Juin
N.C(ind)	580	630	680	780	N.C(ind)	FTAM 22°C	

N.C : Nappe confluyente (indénombrable)

Les résultats sont exprimés en CFU/ml

Tab. 2. Résultats de dénombrement des coliformes totaux

Juin	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	
240	240	54	92	240	160	43	92	54	160	P1
160	120	28	92	54	18	43	92	35	92	P2
100	92	43	160	160	240	28	43	39	54	P3
120	75	35	92	160	120	160	92	35	43	S1
59	54	35	18	4	5	22	5	18	28	S2
64	54	35	35	11	11	7	11	11	35	S3

Les résultats sont exprimés par CT/100ml

Tab. 3. Résultats de dénombrement des coliformes fécaux

Juin	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	
120	100	28	92	93	75	43	64	39	92	P1
92	64	18	54	39	11	21	43	35	75	P2
75	75	39	160	64	120	28	39	28	35	P3
15	12	11	14	19	11	10	23	18	15	S1
28	25	15	11	2	3	17	10	11	14	S2
64	54	29	13	15	10	11	15	11	16	S3

Les résultats sont exprimés par CF/100ml

Tab. 4. Résultats de dénombrement des Streptocoques fécaux

Juin	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	
240	220	39	28	120	93	35	75	43	92	P1
160	100	23	43	28	15	39	43	28	64	P2
92	64	39	93	150	93	18	28	35	39	P3
93	43	39	21	28	35	64	35	23	43	S1
43	35	28	15	4	4	18	7	18	21	S2
39	39	35	75	9	9	7	10	9	28	S3

Les résultats sont exprimés par SF/100ml

Tab. 5. Résultats de dénombrement des anaérobies sulfito – réducteurs (ASR)

Juin	Mai	Avr	Mar	Fev	Jan	Dec	Nov	Oct	Sep	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	P3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S1
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S2
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	S3

(-) : Absence des (ASR)

Méthodes d'analyses :**1. Dosage de l'ortho phosphate (PO_4^-) :****Établissement de la courbe d'étalonnage :**

Introduire dans une série de fioles jaugées de 25 ml :

Concentration en phosphate	0 mg.L ⁻¹	0,5 mg.L ⁻¹	1 mg.L ⁻¹	1,5 mg.L ⁻¹	2 mg.L ⁻¹
Eau distillée	20	15	10	5	0
Solution étalon de phosphates à 2 mg.L ⁻¹ (ml)	0	5	10	15	20
Solution d'acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1
Réactif molybdique (ml)	4	4	4	4	4

Attendre 30 minutes la stabilisation de la coloration et effectuer les mesures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm en cuve de 1 cm. Construire la courbe d'étalonnage.

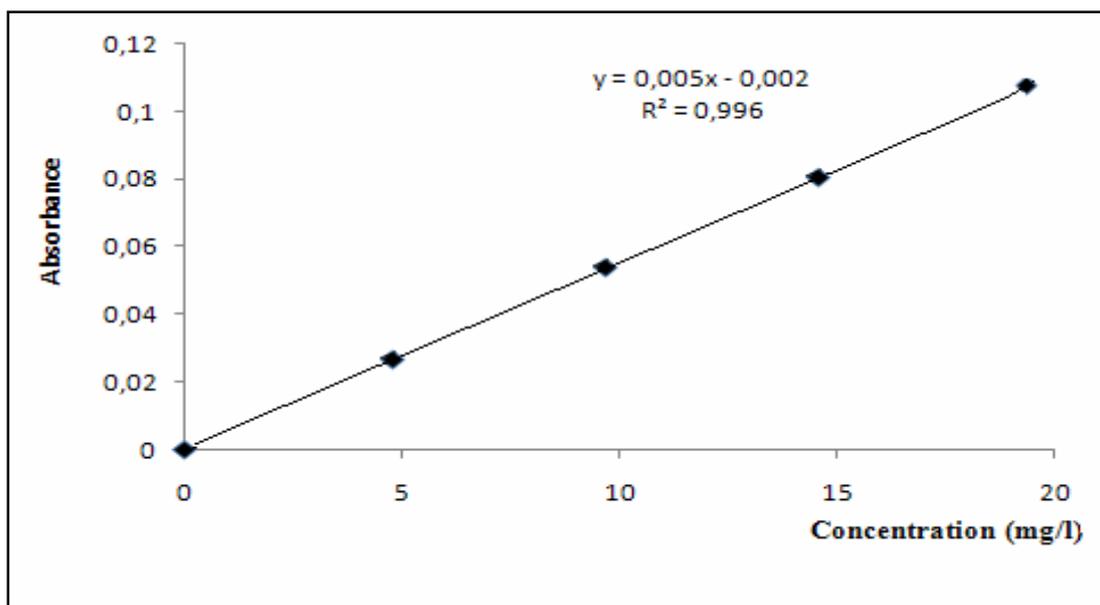


Fig. 38. Courbe d'étalonnage des ions Ortho phosphate (PO_4^-)

2. Dosage de sulfate (SO_4^{2-}) :

Etablissement de la courbe d'étalonnage :

Dans une série de tubes à essai numérotés, introduire successivement :

Numéro des tubes	T	I	II	III	IV	V	VI
Solution étalon de SO_4^{2-}	0	1	3	5	7	9	10
Eau distillée(ml)	39	38	36	34	32	30	29
Acide chlorhydrique au 1/10	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.

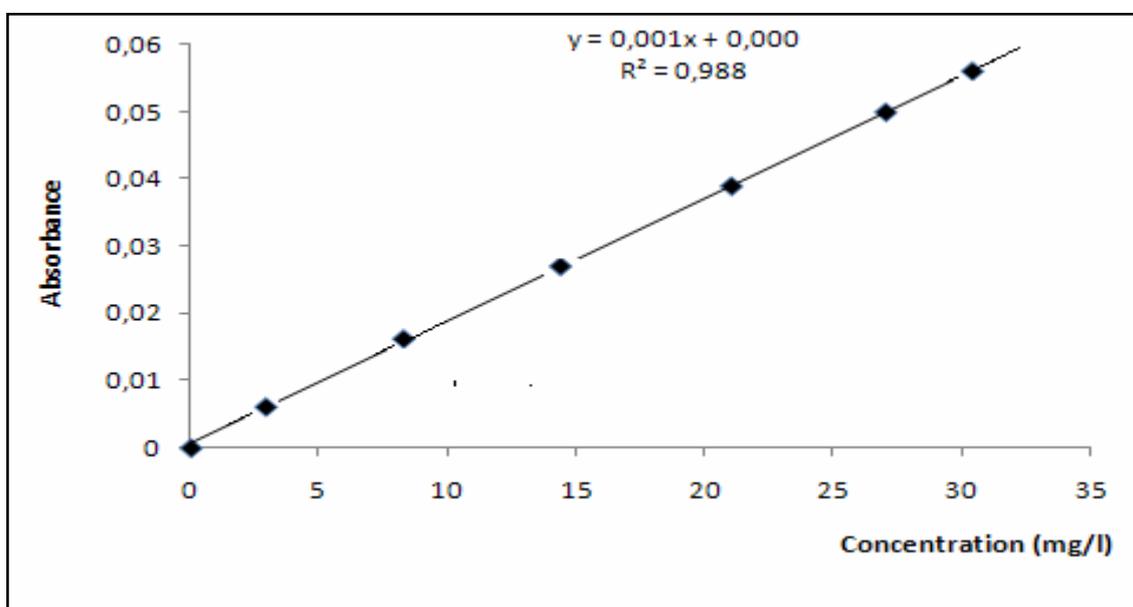


Fig. 39. Courbe d'étalonnage des ions Sulfates (SO_4^{2-})

3. Dosage de nitrate (NO_3^-):

Etablissement de la courbe d'étalonnage:

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

IV	III	II	I	T	
10	5	2	1	0	Solution étalon d'azote nitrique 0,005g/l (ml)
0	5	8	9	10	Eau distillée (ml)
5	2.5	1	0.5	0	Correspondance en mg/l d'azote nitrique
1	1	1	1	1	Solution de Salicylate de sodium (ml)

Evaporer à sec dans une étuve portée à 75-80°C. Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2 ml d'acide Sulfurique concentré. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau bidistillée 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 la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 420 nm. Soustraire des densités optiques lues pour les étalons, la valeur relevée pour le témoin. Construire la courbe d'étalonnage.

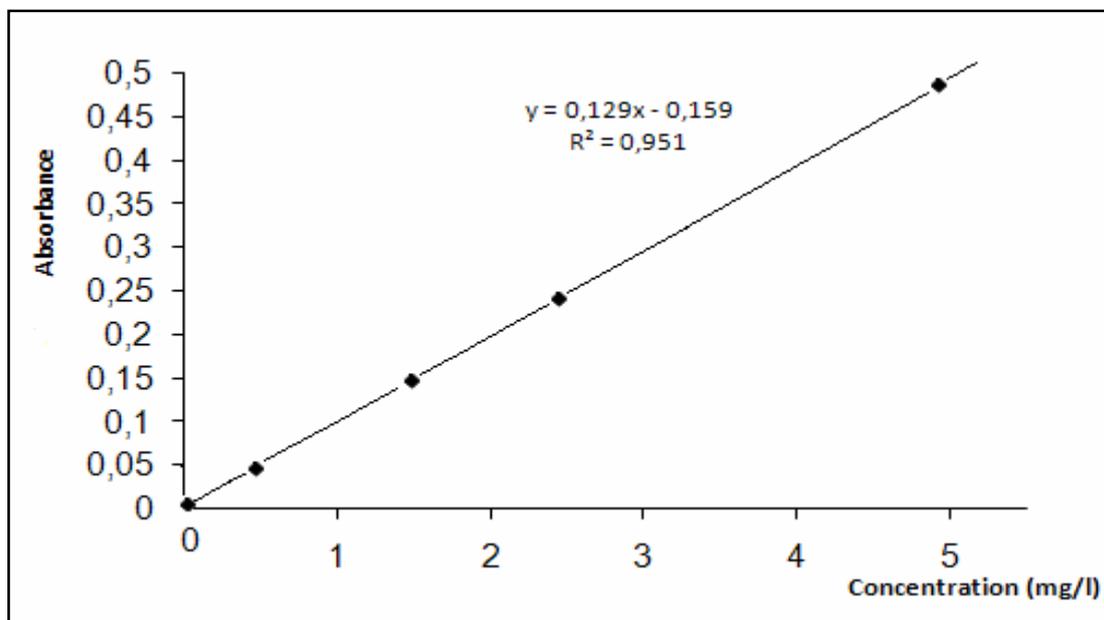


Fig. 40. Courbe d'étalonnage des ions Nitrates (NO_3^-)

**Tab.6. 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	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
Thermotolérantes	0	
B-Eaux traitées à l'entrée du réseau de distribution :		
E.Coli ou bactéries coliformes	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
Thermotolérantes	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
Coliformes totaux	10	
C-/ Eaux traitées dans le réseau de distribution :		
E. Coli ou bactéries coliformes	0	Non détectables dans un échantillon de 100 ml
Thermotolérantes	0	
Coliformes totaux	10	Non détectables dans un échantillon de 100 ml

**Tab.7. Qualité physico-chimique de l'eau de boisson
(Directive de l'OMS, 2002)**

Norme	Paramètres
25	Température °C
6,5 - 8,5	Potentiel d'hydrogène (PH)
-	Ca⁺⁺ (mg/l)
50	Mg⁺⁺ (mg/l)
150	N⁺ (mg/l)
12	K⁺ (mg/l)
< 30	TH (°F)
200	Cl⁻ (mg/l)
250	SO₄[—] (mg/l)
-	HCO₃⁻ (mg/l)
30	TAC (°F)
50	NO₃⁻ (mg/l)
1000	Conductivité (µs/cm)
-	T.D.S (mg/l)
1500	Résidu Sec à 180°c (mg/l)

Table NPP

Limites de confiance		NPP dans 100 ml	Nombre de tube donnant une réaction positive sur		
Supérieure	Inférieure		5 tubes de 1 ml	5 tubes de 10 ml	1 tube de 50 ml
		<1	0	0	0
4	<0,5	1	1	0	0
6	<0,5	2	2	0	0
4	<0,5	1	0	1	0
6	<0,5	2	1	1	0
8	<0,5	3	2	1	0
6	<0,5	2	0	2	0
8	<0,5	3	1	2	0
11	<0,5	4	2	2	0
8	<0,5	3	0	3	0
13	<0,5	5	1	3	0
13	<0,5	5	0	4	0
4	<0,5	1	0	0	1
8	<0,5	3	1	0	1
11	<0,5	4	2	0	1
15	<0,5	6	3	0	1
8	<0,5	3	0	1	1
13	<0,5	5	1	1	1
17	1	7	2	1	1
21	2	9	3	1	1
13	<0,5	5	0	2	1
17	1	7	1	2	1
23	3	10	2	2	1
28	3	12	3	2	1
19	2	8	0	3	1
26	3	11	1	3	1
34	4	14	2	3	1
53	5	18	3	3	1
66	6	21	4	3	1
31	4	13	0	4	1
47	5	17	1	4	1
59	7	22	2	4	1
85	9	28	3	4	1
100	12	35	4	4	1
120	15	43	5	4	1
75	8	24	0	5	1
100	12	35	1	5	1
140	18	54	2	5	1
220	27	92	3	5	1
450	39	160	4	5	1
		>240	5	5	1

Composition des milieux de culture et des réactifs :

1. Milieux de culture :

- **Eau peptonée exempte d'indole** : Elle est surtout utilisée pour la recherche de la production d'indole Formule (en grammes par litre d'eau distillée) :

Peptone exempte d'indole : 10 g / l

Chlorure de sodium : 5 g / l

pH final : 7,2

Préparation :

Mettre 15 g de milieu déshydraté dans un litre d'eau distillée. Mélanger soigneusement jusqu'à complète dissolution. Ajuster, si nécessaire, le pH à 7,2 .Répartir puis stériliser à l'autoclave à 120° C pendant 15 minutes.

- **B.C.P. (bouillon lactosé au bromocrésol-pourpre)** : Il permet de rechercher et de dénombrer les coliformes, par la fermentation du lactose et la production de gaz.

Il y a deux types:

Double concentration:

Peptone : 10 g / l.

Extrait de viande : 6 g / l.

Lactose : 10 g / l.

Pourpre de bromocrésol : 0,05 g / l.

Eau distillée : 1000 ml

pH final = 6 autoclavage = 20 mn a 120C°

Simple concentration:

Peptone : 5 g / l.

Extrait de viande : 3 g / l.

Lactose : 5 g / l.

Pourpre de bromocrésol : 0,025 g / l.

Eau distillée : 1000 ml

pH = 6,9 / autoclavage = 20 mn a 120C°

- **Milieu de Chapman** : Le milieu de Chapman mannité est un milieu sélectif pour la culture des staphylocoques

Formule (en gramme par litre d'eau distillée) :

Peptone bactériologique : 10 g / l.

Extrait de viande de bœuf : 1 g / l.

Chlorure de sodium : 75 g / l.
Mannitol : 10 g / l.
Rouge de phénol : 0,025 g / l.
Agar : 15 g / l.
pH : 7,5 (environ).

Préparation :

Verser 111 g de poudre dans un litre d'eau distillée. Porter à ébullition jusqu'à dissolution complète. Stériliser à l'autoclave à 121° C pendant 15 minutes.

- **Milieu de Mac Conkey :** L'utilisation de ce milieu est recommandée pour isoler et numérer les entérobactéries dans les eaux, le lait, les matières alimentaires, les urines. Il peut aussi être utilisé pour la recherche, dans les matières fécales, des *Salmonella*, *Shigella* et des *E. coli* entéro-pathogènes pour le nourrisson.

Formule (en gramme par litre d'eau distillée) :

Peptone bactériologique : 20 g / l.
Sels biliaires : 1,5 g / l.
Chlorure de sodium : 5 g / l.
Lactose: 10 g / l.
Rouge neutre : 0,03 g / l.
Cristal violet : 0,001 g / l.
Agar : 15 g / l.
pH : 7,1 (environ).

Préparation :

Verser 51,5 g de poudre dans un litre d'eau distillée. Faire bouillir jusqu'à dissolution complète. Stériliser à l'autoclave à 121° C pendant 15 minutes. Liquéfier au bain-marie bouillant et couler en boîtes de Pétri. Après solidification, laisser sécher à l'étuve à 37°C (couvercle entrouvert).

- **Milieu de Hektoén:**

Composition g/l :

Protéase poptone: 12,0 g/l
Extrait de levure: 3,0 g/l
Saccharose: 12,0 g/l
Lactose: 2,0g/l
Solicine: 2,0 g/l

Chlorure de sodium: 5,0 g/l

Thio sulfate de sodium: 5 g/l

Citrate ferrique ammoniacal: 5 g/l

Sels biliaries: 9,0 g/l

Bleu de bromothynol: 0,064 g/l

Fuchsine acide: 0,04 g/

Préparation:

- Dissoudre 75 g/l, ne pas autoclave

- Après refroidissement aux environs de 50C°, 15 mg/l Novobiocine peuvent être mélangés sous forme de solution aqueuse filtrée stérilement. Couler en boîtes pH = 7,7+ 0,1.

- Viande foie (VF):

Préparé en deux étapes sont:

- Milieu de base:

- Base viande foie: 30g

- Glucose: 2g

- Amidon: 2 g

- Agar: 1g

- Eau distillée: 1000 ml

- Au moment de l'emploi: -

Ajouter a 20ml de milieu de base fondé

0,5 ml d'une solution de sulfate de sodium a 5%

4 gouttes d'alun de fer commoniacol

- Gélose nutritive :

La gélose nutritive est un milieu qui convient à la culture des germes ne présentant pas d'exigences particulières.

Formule (en grammes par litre d'eau distillée) :

Peptone : 5 g / l

Extrait de viande : 1g/ l

Extrait de levure : 2g/l

Chlorure de sodium : 5g / l

Agar : 15g , pH : 7,4 (environ)

Préparation :

Verser 28 g dans un litre d'eau distillée. Porter à ébullition jusqu'à dissolution complète.

Stériliser à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes

- Rothe (Bouillon Glucose l'acide de sodium):

Il y a deux types:

Double concentration

Tryptone: 40g

Glucose: 10g

Chlorure de sodium: 10g

Phosphate bi potassique: 5,4 g

Phosphate mono potassique: 5,4 g

Acide de sodium: 0,4g

Eau distillée: 1000 ml

pH = 6,8 autoclavage = 15mn 121C°

Simple concentration:

Tryptone: 20g

Glucose: 5g

Chlorure de sodium: 5g

Phosphate bi potassique: 2,7 g

Phosphate mono potassique: 2,7 g

Acide de sodium: 0,2g

Eau distillée: 1000 ml

pH = 6,8 autoclavage = 15mn 121C°

- Shubert (milieu indole mannitol):

Tryptone: 0,2 g

Acide glutamique : 0,2 g

Sulfate de magnésium: 0,7 g

Sulfate d'ammonium: 0,4 g

Citrate de sodium: 0,5 g

Chlorure de sodium: 2g

Tryptone oxid: 10 g

Mannitol: 7,5 g

Eau distillée: 500 ml

Tamp phosphate: 500ml

pH = 7,6 / autoclavage = 10 mn 115C°

- Eva- Litsky:

Peptone: 20g/l

Glucose: 5g/l

Chlorure de sodium: 5 g/l

Phosphate bi potassique: 2,7 g/l

Azothvate de sodium: 0,3 g/l

Ethyle- vliote: 5 g/l

pH = 7

- TGEA (gélose numération: gélostryptone- glucose- Extrait de levure):

Tryptone: 5g

Glucose: 1g

Extrait de levure: 2,5g

Gélose: 15g

Eau distillée: 1000ml

pH = 7

2. Réactifs :

- **Réactif TDA** : (#7040) pour la recherche de la tryptophane désaminase :

Perchlorure de fer.....3.4 g

Eau distillée.....100 ml

- **Réactif IND** : (#7041) pour la recherche de l'indole :

Paradiméthylaminobenzaldéhyde.....5.0 g

Alcool isoamylique.....75.0 ml

HCL 37%.....25.0 ml

- **Réactifs de Voges Proskauer (VP)** : pour la recherche de l'acétoïne :

VP 1 (#7042) :

Hydroxyde de potassium.....40 g

Eau distillée.....100 ml

VP 2 (#7043):

Alpha naphtol.....6 g

Ethanol.....100 ml

- **Réactif kowax** : pour la recherche de l'indole