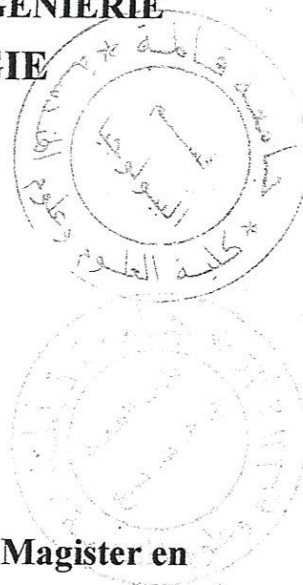


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 Mai 1945 de GUELMA
FACULTE DES SCIENCES ET DE L'INGENIERIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



MÉMOIRE

Présenté en Vue de l'obtention du Diplôme de Magister en

BIOLOGIE

Option : Hydro-écologie : eau, santé et environnement.

THÈME

Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'Oued-Zénati (Guelma)

Présenté par :

BOUCHAALA LAID

Membres de jury :

Président : Mr. BENOUARETH D.E. (Pr)

Université de Guelma

Encadreur : Mr. HOUHAMDI M. (Pr)

Université de Guelma

Examineur : Mr. KACHI S. (MC)

Université de Guelma

Examineur : M^{me}. BENDJEDDOU D. (MC)

Université de Guelma

2009/ 2010

Remerciement

Louange à Dieu qui m'a donné l'esprit, le courage pour surmonter toutes les difficultés durant cette étude ainsi que l'endurance pour terminer ce projet.

Je remercie vivement Mr. HOUHAMDJ MOUSSA, maître de conférences au département de biologie à l'université de Guelma, qui m'a encadré et a dirigé mon travail par ces conseils bénéfiques, par son soutien et sa patience.

J'adressé également mes remerciements aux membres de jury : le président Pr. BENOÛARJH Djamel Eddine et les examinateurs, Dr. KACHJ Shimen et Dr.

BENJEDDOU Dabila d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie aussi les membres des laboratoires :

Bactériologie à l'EPH d'Oued-Zénati

Biomarine de Annaba particulièrement Pr. OUNISSI

Makhlouf

Et de chimie et biologie de Guelma.

Finalement, je remercie aussi ma famille, tous mes amis et tous qui m'ont aidés de près ou de loin pour réaliser ce travail.

LISTE D'ABRÉVIATION

AA : Acides aminées	EDS : Eau distillée stérile
ADE : Algérienne d'eau	EPH : Etablissement public hospitalière.
ADH : Arginine dihydrolase	EPT : Eau peptonée tamponnée
AK : Amikacine	G CH : Gélose Chapman
AMY: Amygdaline	G He : Gélose Hektoen
ANRH : Agence nationale des ressources hydrique.	G MeC : Gélose Mac-Cankey
AOX : Composés organo-halogénés absorbables sur charbon actif	G SS : Gélose <i>Salmonella-Shigella</i>
APC : Assemblée Populaire Communale	GEL : Gélatinase
ARA : Arabinose	GLU : Glucose
ATB : Antibiotique	GN : Gélose Nutritive
AX : Amoxicilline	GNO : Gélose Nutritive Ordinaire
BCPL : Bouillon Lactosé au Bromocrésol Pourpre	GTCTF : Germes-test de contamination fécale
CF : Coliformes fécaux	IBD : Indice Biologique Diatomique.
CIT : Citrate de Simmons	IBGN : Indice Biologique Global Normalisé.
CMI : Concentration Minimale Inhibitrice	IEW : Inspections de l'Environnement des wilayas.
CML : Concentration Minimal Létal	INO : Inositol
CN : Gentamicine	IPR : Indice Poissons – Rivières.
COT : Carbone organique total.	KCN : Cyanure de potassium
CT : Coliformes totaux	LCR : Liquide céphalo-rachidien
CZ : Cefazoline	LDC: lysine décarboxylase
D.S.A : Direction des Services agricole	MAN : Mannitol
D/C : Double concentration	MEL : Mélibiose
DBO ₅ : Demande biochimique en oxygène sur cinq jours.	MES : Matières en suspension.
DCO : Demande chimique en oxygène.	MO : Matières oxydables
DGAH : La Direction des Grands Aménagements et Infrastructures Hydrauliques	MTH : Maladies à transmission hydrique
<i>E. coli</i> : <i>Escherichia coli</i>	NID : Azote inorganique dissous
	NO : Azote oxydé
	NPP : Nombre le plus probable
	NR : Azote réduit
	OD : Oxygène dissous.

LISTE D'ABRÉVIATIONS

ODC : Ornithine décarboxylase	SF : Streptocoques fécaux
OMS : Organisation mondiale de la santé.	SFB : Bouillon Sélénite cystéiné
ONPG : Orthonitrophényl-bêta-D-galactopyranoside	SM : Solution mère
OZ : Oued-Zénati.	SOR: Sorbitol
pH : potentiel hydrogène.	STEP : Stations d'épuration.
Psu : Particul salinity unit	SXT : Triméthoprim
RHA : Rhamnose	TDA : Tryptophane Désaminase
RM : Rouge de méthyle	TDS : Taux des sels dissous ou Les solides totaux dissous
RN : Route nationale.	TE : Tetracycline
S/C : Simple concentration	TSI : Triple Sugar Iron Agar
SAC : Saccharose	U-I : Urée -Indole
SB : Suspension bactérienne	VP : Voges-Proskauer

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 01 : Evolution de la population de la ville d'Oued-Zénati.
- Tableau 02 : Classification de nombre de cours d'eau de l'Oued-Zénati.
- Tableau 03 : Débit moyen mensuel de l'Oued-Zénati (Station de Bordj Sabbat 1973-2004).
- Tableau 04 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques et les paramètres climatiques disponibles.
- Tableau 05 : Evolution des Températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (1985-2008).
- Tableau 06 : Evolution des Températures moyennes mensuelles ($^{\circ}\text{C}$) à la station de Constantine (1999-2008).
- Tableau 07 : Précipitations moyennes mensuelles (station de Guelma 1985-2008).
- Tableau 08 : Précipitations moyennes mensuelles (station Constantine 1999-2008).
- Tableau 09 : Données météorologiques de la station de Guelma 1994-2008.
- Tableau 10 : Données météorologiques de la station de Constantine 1999-2008.
- Tableau 11 : Les valeurs de Q_2 des stations climatiques.
- Tableau 12 : Répartition spatiale des eaux de surface en Algérie.
- Tableau 13 : Le parc des grands barrages en Algérie dont la capacité est supérieur à 10 millions de m^3 .
- Tableau 14 : Localisation et capacité des barrages en Algérie.
- Tableau 15 : Volumes d'eau usée rejetés en Algérie.
- Tableau 16 : Volume d'eau distribué par l'ADE à quelques communes et celui consommé par les secteurs d'activités de la daïra d'Oued-Zénati (Années : 2006, 2007 et 2008).
- Tableau 17 : Charge des excréments humains en masse de MES, de matières organiques et azotées.
- Tableau 18 : Les constituants générales d'une eau résiduaire urbaine.
- Tableau 19 : Caractéristiques des effluents des laboratoires et risques associés.
- Tableau 20 : Les principaux éléments radioactifs utilisés dans un centre hospitalier.
- Tableau 21 : Lecture d'une galerie API 20 E.
- Tableau 22 : Concentrations et diamètres critiques des antibiotiques pour une espèce de la famille des Enterobacteriaceae.
- Tableau 23 : Variations mensuelles des différentes formes de l'azote inorganique dissous (NID) : $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3^- + \text{NH}_2^-)$ dans l'Oued-Zénati.

- Tableau 24 : Valeurs moyennes saisonnières, interval de variation des teneurs en phosphates (mg/l), et du rapport N/P, au niveau de l'Oued-Zénati.
- Tableau 25 : Détermination du rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux.
- Tableau 26 : Origine de la pollution fécale selon le rapport CF/SF.
- Tableau 27 : Résultantes de l'ensemencement des milieux de cultures utilisés.
- Tableau 28 : Résultat de l'examen microscopique après coloration de Gram.
- Tableau 29 : Résultats de la galerie biochimique classique.
- Tableau 30 : Résultats de la galerie API 20 E.
- Tableau 31 : Les résultats de l'antibiogramme de principales espèces isolées.
- Tableau I.1 : Le débit de L'Oued-Zénati (Station de Bordj Sabbat 1973-2004).
- Tableau I.2 : Précipitation mensuelles (station de Guelma 1985-2008).
- Tableau I.3 : précipitation mensuelles (station de Constantine 1999-2008).
- Tableau I.4 : Températures mensuelles (Station de Guelma 1985-2008).
- Tableau I.5 : Températures mensuelles (station de Constantine 1999-2008).
- Tableau I.6 : Le taux des eaux usées produite par la wilaya de Guelma en générale et par la commune d'Oued-Zénati en particulier. (2006)
- Tableau I.6 (Suite): Le taux des eaux usées produite par la wilaya de Guelma en générale et particulièrement par la commune d'Oued-Zénati. (2008)
- Tableau III.1 : Illustrations des règles pour le choix des dilutions pour détermine le NPP.
- Tableau III.2 : Table de Mac – Grady.
- Tableau IV.1 : Valeurs limités maximales des paramètres de rejet des effluents liquides.

LISTE DES FIGURES

- Figure 01 : Situation géographique de la ville d'Oued-Zénati.
- Figure 02 : Situation géographique de l'Oued Zénati.
- Figure 03 : Réseau hydrographique de la wilaya de Guelma.
- Figure 04 : Réseaux hydrographique du sous-bassin de l'Oued-Zénati.
- Figure 05 : Photos présentent de la situation de l'Oued-Zénati (28/07/2008).
- Figure 06 : Evolution des débits mensuel de l'Oued-Zénati (Station Bordj Sabbat, 1973-2004).
- Figure 07 : Couverture végétale du sous-bassin-versant d'Oued-Zénati.
- Figure 08 : Photo prise à l'Ouest de Ain Regada (21/05/2009).
- Figure 09 : Photo prise à l'Est de Ain Regada (02/02/2009).
- Figure 10 : Photo prise au Nord de Oued-Zénati (15/08/2008).
- Figure 11 : Evolution des températures moyennes de la wilaya de Guelma (1985-2008).
- Figure 12 : Evolution des températures moyennes à la station de Constantine (1999-2008).
- Figure 13 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles (station Guelma, 1985-2008).
- Figure 14 : Evolution des précipitations annuelles (station de Guelma, 1985-2008).
- Figure 15 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles (station Constantine 1999-2008).
- Figure 16 : Evolution des précipitations annuelles (station de Constantine, 1999-2008).
- Figure 17 : Situation de la ville de Guelma et de Constantine dans le climagramme d'Emberger.
- Figure 18 : Carte géographique des cinq bassins.
- Figure 19 : Evolution des rejets domestiques urbains à Oued-Zénati (en m³) (MRE, 2008)
- Figure 20 : Le circuit d'élimination des médicaments.
- Figure 21 : Situation géographique des sites de prélèvement.
- Figure 22 : Dénombrement des coliformes totaux et fécaux.
- Figure 23 : Dénombrement des streptocoques fécaux.
- Figure 24 : Dénombrement des germes revivifiables.
- Figure 25 : Méthode d'ensemencement par des stries.
- Figure 26 : Recherche des *Salmonella*.
- Figure 27 : La paroi des bactéries Gram-positives.
- Figure 28 : La paroi des bactéries Gram-négatives.

Figure 29 : Test biochimique complémentaires II (ONPG, oxydase, TSI, Mannitol- Mobilité, citrate de Simmons, RM et réaction VP).

Figure 30 : Tests biochimiques complémentaires I : (dégradation des AA, du nitrate réductase et test Urée-Indole).

Figure 31 : Principe de l'antibiogramme par la technique de diffusion.

Figure 32 : Variations spatio-temporelles des valeurs du pH dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 33 : Variations spatio-temporelles des valeurs de température dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 34 : Variations spatio-temporelles des valeurs de la conductivité dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

Figure 35 : Variations spatio-temporelles des valeurs de la salinité dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 36 : Variations spatio-temporelles des valeurs du TDS dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 37 : Variations spatio-temporelles des teneurs en MES dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 38 : Variations spatio-temporelles des valeurs de l'OD dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 39 : Variations spatio-temporelles des $[\text{NH}_4^+]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 40 : Schéma du cycle bio-géochimique de l'azote.

Figure 41 : Variations spatio-temporelles des $[\text{NO}_3^-]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 42 : Variations spatio-temporelles des $[\text{NO}_2^-]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 43 : Variations spatio-temporelles des $[\text{NID}]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

Figure 44 : Variation des teneurs en NID dans l'ensemble de l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 45 : Variations spatio-temporelles des $[\text{PO}_4^{3-}]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 46 : Les variations spatio-temporelles des valeurs du rapport N/P de l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 47 : Les variations des valeurs du rapport total N/P de l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 48 : Evolution des concentrations des germes totaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 49 : Evolution des concentrations des coliformes totaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 50 : Evolution des concentrations des coliformes fécaux dans les eaux de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

Figure 51 : Evolution des concentrations des streptocoques fécaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009).

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : DESCRIPTION DU SITE	
I. DESCRIPTION DU SITE.....	3
I.1. Aperçu sur la zone d'étude (Oued-Zénati).....	3
I.1.1. La population.....	5
I.2. Le site d'étude.....	5
I.2.1. Le débit.....	9
I.2.2. La végétation.....	10
A. Surfaces bien protégées.....	11
B. Surfaces incomplètement protégées.....	11
C. Surfaces mal protégées.....	12
I.3. Climatologie.....	15
I.3.1. La température	15
I.3.2. Les précipitations.....	17
I.3.2.1. Réseau d'observation.....	18
A. Synthèse climatique	20
II. LA SITUATION ACTUELLE DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE...	23
II.1. Les ressources en eau de surface.....	25
II.1.1. Les barrages.....	26
II.2. Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation.....	27
II.2.1. Les stations d'épurations	27
II.2.2. L'utilisation des eaux usées.....	28
III. LA CONSOMMATION EN EAU POTABLE ET LES REJETS D'EAUX USEES A OUED-ZENATI.....	29
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA POLLUTION DE L'EAU	
I. L'ORIGINE DE LA POLLUTION DES EAUX.....	33
A. Les activités domestiques.....	33
B. Les activités industrielles et artisanales.....	36
C. Les activités agricoles	37
II. LES TYPES DE POLLUTION	38

II.1. polluants " physiques ".....	38
II.2. polluants " chimiques ".....	37
II.3. polluants " organiques "	39
II.4. polluants " microbiologiques ".....	40
III. LES CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES	40
III.1. Les paramètres physico-chimiques	40
• Le pH	40
• La température.....	41
• Les matières en suspension (MES)	41
• La conductivité	42
• L'oxygène dissous (OD).....	42
• Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	43
• Demande chimique en oxygène (DCO).....	44
• L'Azote.....	45
• Le Phosphore	48
III.2. Les paramètres biologiques.....	48
III.3. Les caractéristiques des rejets liquides dans les établissements de santé.....	50
III.3.1. Origine des effluents hospitaliers	50
A. Les rejets de nature domestique et les rejets assimilables à des effluents industriels.....	51
B. Les rejets de nature spécifique à l'hôpital	52
B.1. Les rejets spécifiques communs aux différents services de soins	52
B.2. Les rejets spécifiques à certains services de soins.....	55
III.3.2. Caractéristiques physico-chimiques	60
III.3.3. Caractéristiques microbiologiques.....	61

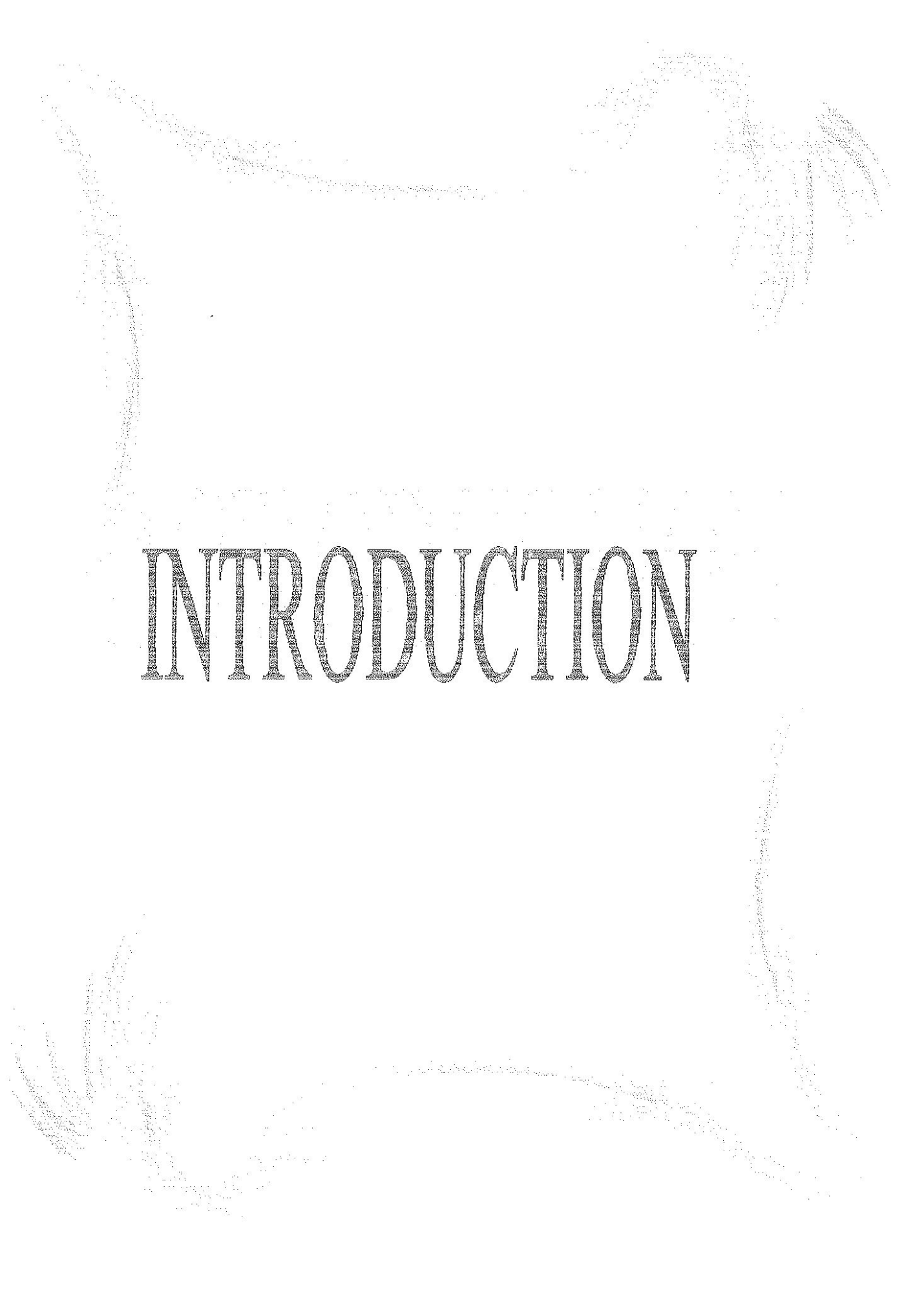
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

I. MATERIEL ET METHODES.....	63
I.1. Point de prélèvement.....	63
I.2. Echantillonnage.....	63
I.2.2. Prélèvement pour l'analyse physico-chimique.....	63
I.2.3. Prélèvement pour l'analyse bactériologique.....	65
I.3. Méthodes analytiques utilisées.....	65

I.3.1. Les méthodes de détermination des caractéristiques Microbiologiques.....	65
• Les Coliformes totaux	67
• Les coliformes fécaux.....	68
• Les Streptocoques fécaux.....	68
• Les bactéries revivifiables.....	69
I.3.1.1. Dénombrement bactérien.....	69
A. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux et des streptocoques fécaux.	69
A.1. Méthode de fermentation en tubes multiples	70
B. Le dénombrement de la flore totale	75
I.3.1.2. Recherche bactériologique	77
• Recherche de <i>Salmonella</i>	79
B. Examen microscopique	82
B.1. La coloration de Gram	82
B.1.1. Les formes des bactéries	85
B.2. L'identification biochimique.....	85
B.2.1. Réalisation d'une galerie biochimique classique.....	85
B.2.2. Inoculation de la galerie API 20 E.....	96
B.3. Antibiogramme (par la méthode de diffusion).....	100
I.3.1.3. Recherche des levures et moisissures.....	103
I.3.2. Les méthodes de détermination des caractéristiques Physicochimiques.....	103
A. Les mesures sur site.....	103
• Température.....	103
• Oxygène dissous.....	103
• La conductivité.....	104
B. Les mesures en laboratoire.....	104
• Le Ph.....	104
• Les solides totaux dissous.....	104
• Les matières en suspension (M.E.S).....	104
• Nitrites.....	105
• Nitrates	106
• L'ammoniac (NH_4^+) (méthode de Koroleff 1969).....	106
• Phosphore total (Po_4^{3-}) (Norme NF EN 1189).....	107

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

I	RESULTATS ET DISCUSSION.....	108
I.1.	Caractéristiques physico-chimiques des eaux	108
•	pH.....	108
•	Température.....	108
•	La conductivité électrique, la salinité et la TDS.....	110
•	Matières sèches et sédimentation.....	110
•	L'oxygène dissous.....	112
•	Variations des teneurs de l'azote inorganique dissous (NID).....	114
•	Les phosphates (PO_4^{3-}).....	118
I.2.	Qualité microbiologique des eaux.....	121
I.2.1.	Les germes revivifiables	121
I.2.2.	Les coliformes totaux.....	122
I.2.3.	Les coliformes fécaux.....	123
I.2.4.	Les streptocoques fécaux.....	123
I.2.5.	Rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux.....	126
I.2.6.	Analyses microbiologique.....	127
•	Les germes pathogènes	128
I.2.7.	Examen microscopique après coloration de Gram	128
I.2.7.1.	Résultats de la galerie biochimique et de la galerie API 20 E	129
I.2.7.2.	Les résultat de l'Antibiogramme.....	131
	CONCLUSION.....	135
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	137
	ANNEXES	
	RESUME	



INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément indispensable pour la vie des êtres vivants et surtout à celle de l'homme, l'avoir à disposition en quantité suffisante, en qualité, contribue au maintien de la santé (Makoutode, 1999). Il est indispensable ainsi qu'au développement économique des nations.

A l'échelle planétaire, l'eau contenue dans le lit des rivières correspond seulement à environ $1,7 \times 10^3 \text{ km}^3$ sur un total de $1409 \times 10^6 \text{ km}^3$, soit 0.004 % des eaux douces. Environ 30 % de la précipitation qui tombe sur le continent rejoignent les océans principalement par les rivières (Guetaf, 2008).

Cependant, depuis plusieurs années, de nombreux pays sont confrontés à de graves problèmes relatifs au manque de ressources en eau (Fournier, 2006) remarqué, avec un état plus grave, aux pays arides et semi-arides. Cette problématique ne se limite pas à la quantité des ressources en eau, mais porte également sur la qualité de ces ressources qu'il faut aujourd'hui plus que jamais bien gérer. Selon Tamara (2006) la gestion doit impérativement se baser sur une connaissance approfondie du fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Un aspect important de la qualité du milieu aquatique est la qualité microbiologique des eaux de surface. L'identification et la quantification des apports de micro-organismes entériques vers les systèmes aquatiques ainsi que leur capacité de survie dans un milieu auquel ils ne sont pas adaptés, constituent les questions centrales pour comprendre le risque sanitaire lié aux diverses utilisations des eaux de surface et élaborent des stratégies de gestion et de surveillance appropriées.

En Algérie, les déficiences dans la gestion des eaux usées restent l'un des principaux facteurs de transmission de maladies et de dégradation de l'environnement où peu d'importance est accordée à la couverture des services d'assainissement comparée à la couverture des services d'approvisionnement en eau et encore moins d'importance est accordée à l'épuration (Hartani, 1998). C'est le cas de plusieurs bassins et sous-bassins, où la diversification et l'augmentation de la quantité de polluants rejetés sans traitement détériorent grandement le milieu aquatique et engendrent des risques pour la santé. A Oued-Zénati les eaux usées des agglomérations (rejets domestiques et rejets hospitaliers) ainsi que les déchets provenant de l'agriculture sont les principales sources de pollution de l'eau de l'oued et de l'environnement favorisant ainsi l'apparition des problèmes sanitaires majeurs (MTH).

On s'inquiète donc, non seulement à la qualité microbiologique des eaux mais aussi aux ses caractéristiques physico-chimiques. En effet, dans des conditions naturelles, l'eau est

généralement exempte de microbes pathogènes (bactéries, parasites, champignons ou virus) et les éléments chimiques (sels minéraux, matières organiques, etc.) qui y sont habituellement présents à des taux acceptables pour les humains. Cependant, les activités agricoles, urbaines ou hospitalières peuvent modifier la composition naturelle de l'eau et la rendre impropre à différentes usages.

Sur le plan bactériologique, le problème majeur demeure donc dans la prolifération, dans les écosystèmes aquatiques, des espèces bactériennes polluantes et même résistante à certains antibiotiques entraînant des perturbations environnementales et des risques sanitaires importants (Aboukacem, 2007). Quand au plan physicochimique le problème réside dans les fortes teneurs en éléments nutritifs majeurs (NO_2 , NO_3 , NH_4 , PO_4), les substances toxiques et les risques liées à leurs effets (eutrophisation...).

Ainsi, les déficiences en sources d'eau dans la région d'Oued-Zénati (zone semi aride précipitation moyenne annuelle 450 mm / an [6]) et en revanche 88% des activités pratiquées à cette région sont agricole ont obligés les agriculteurs à utiliser l'eau de l'Oued-Zénati directement en irrigation qui peut engendrer de nombreux risques sur les cultures, l'environnement et sur la santé humaine [20].

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à :

- Estimer et déterminer la qualité microbiologique de l'eau le long de cet oued dès la source de contamination ;
- Estimer la qualité physico-chimique de l'eau ;
- Isoler et étudier les microorganismes depuis la source de contamination et estimer leur pouvoir pathogène ainsi que leurs degrés de résistance aux différents agents antimicrobiens.

CHAPITRE I : DESCRIPTION DU SITE

I. DESCRIPTION DU SITE

I.1. Aperçu sur la zone d'étude (Oued-Zénati)

La daïra d'Oued-Zénati (OZ) appartient à la wilaya de Guelma, elle est distante de 40 km du chef lieu de la wilaya "Guelma". Elle se trouve sur la route nationale (RN) 20, à 70 km à l'Est de Constantine. Sa superficie de 484 km² en 1985 et actuellement de 143,77 km².

La ville est limitée : au Nord par les communes de Bordj Sabbat et de Ras El-Agba, à l'Est par les communes de Sellaoua Announa et de Ain Makhlouf, à l'Ouest par la commune de Ain Regada, et au Sud par la commune de Tamoulouka (Fig. 01). Elle présente une altitude moyenne de 640 m, qui se caractérise par une morphologie de collines et de piedmonts représentant près de 72 % de la surface communale, les plaines et les plateaux, n'occupent que 20 %, et le reste soit 3 % de la surface totale de la commune est montagneux.

Du point de vue géologique, la ville est caractérisée par des ensembles assez homogènes où l'érosion est plus active sur l'ensemble argileux-marneux au Nord et moins active sur les croûtes calcaires dans la région Sud.

L'extension de la mono-culture céréalière est due notamment aux conditions favorables que présente le milieu physique homogène dans son ensemble.

La commune d'Oued-Zénati est connue comme étant un grand domaine où la céréaliculture est prédominante. L'agriculture occupe une part très importante soit 88 % des terres. Les meilleures terres sont cependant situées sur le long de la Vallée de l'Oued Zénati et principalement vers le Sud de la commune sur les plaines d'Ain Trab. Les premières sont composées de vertisols, jouissants d'un profil homogène, d'une bonne cohésion et sont développées sur des terrasses. La faible pente rend le drainage difficile et la grande proportion des éléments fins rendent la porosité médiocre, la texture devient donc lourde et de ce fait, ces terres sont souvent utilisées pour les cultures annuelles tels les céréales et les légumes secs. La jachère ne représente qu'environ 20 % de la surface agricole totale et justifie la vocation agropastorale de la commune. Elle est surtout située sur les piedmonts des régions montagneuses.

Les fourrages occupent cependant 10% de la surface totale, l'arboriculture et les cultures maraîchères n'occupent que 0.006% et 0.002% successivement [6].

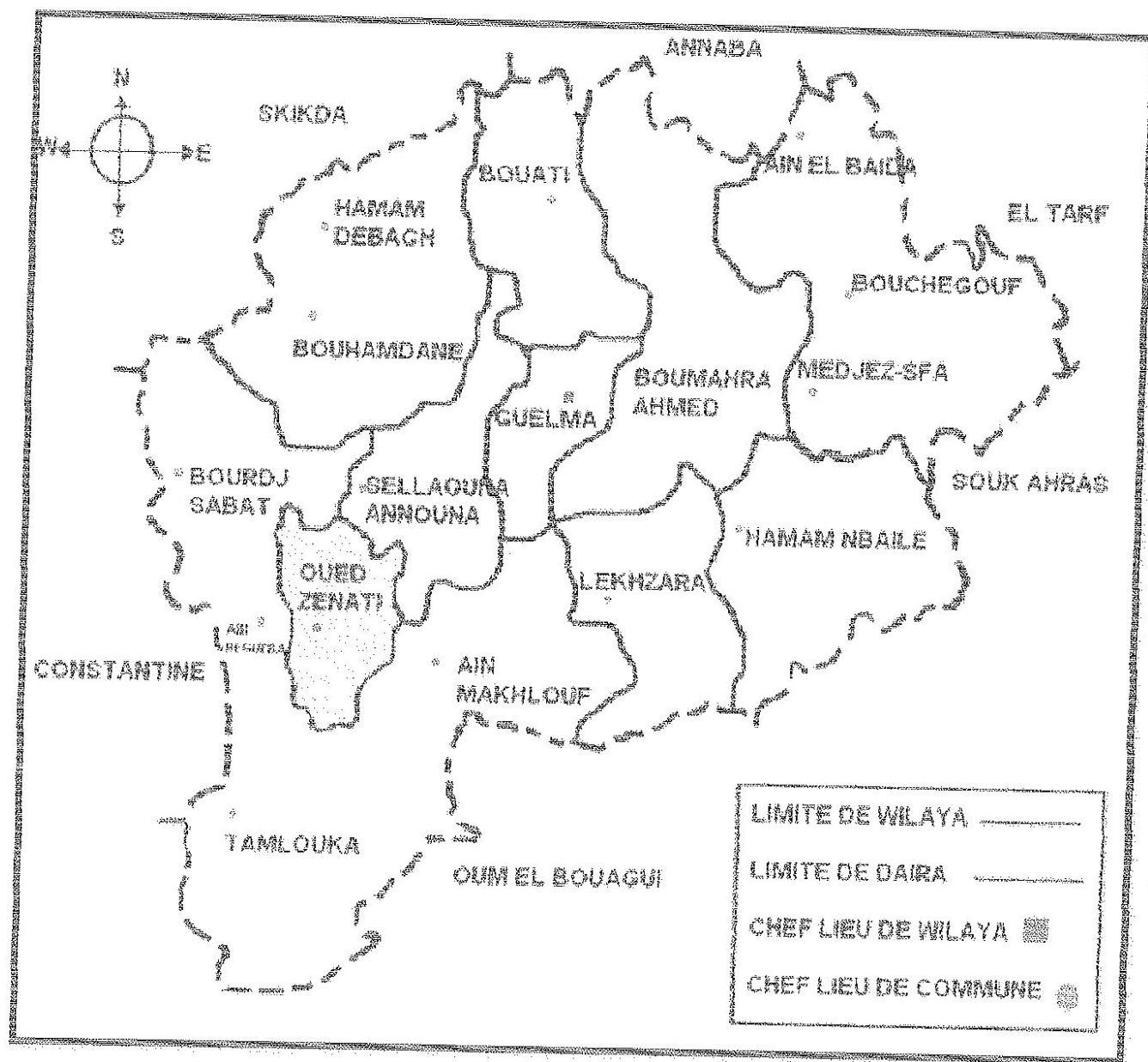


Fig. 01 : Situation géographique de la ville d'Oued-Zénati
(Source : A.P.C d'Oued-Zénati)

I.1.1. La population

La ville d'Oued-Zénati a connue une croissance démographique notable ces dernières années (Tab.01) qui risque de doubler l'effectifs en 20 ans (DGHWG, 2008 ; [6]) :

Tab.01 : Evolution de la population de la ville d'Oued-Zénati

Année	Nombre d'habitants
1990	24.595
1995	28.445
2000	31.300
2004	32951
2007	37744
2010	40.000

I.2. Le site d'étude

Le cours d'eau "Oued-Zénati", représente le plus important oued du réseau hydrographique de la commune qui porte d'ailleurs son nom, il comprend également plusieurs Chaâbats de moindres importances et qui se présentent comme des affluents de la commune (Fig. 04) [6]. Il vient de l'Ouest, et traverse de part en part la commune d'Oued-Zénati sur une distance de plus de 2 km. Ces sources prennent naissance à l'Ouest de Ain Regada près de la région d'Ain-Abid, de la confluence de l'Oued El M'leh qui prend sa source à Djebel Oum Settas (1326m), et chaâbet Touifsa qui prend sa source à Kef Eddeb (1142m) (Benchaiaba, 2006), et sa Vallée va de Constantine à Guelma (Fig. 02). Il reçoit sur sa rive gauche les oueds : Bou Skoum, Berneb, Kalech. chaabet Errassoul, Snoussi; et sur sa rive droite Chaâbet Guelt et Terba, Oued El Gloub, Chaâbet Mrassel (Fig. 04). Au delà de la ville de Oued-Zénati l'oued passe par Bordj Sabbat, où il reçoit l'Oued El-Meridj qui vient des plateaux de Constantine (Niox, 2005). L'ensemble affluent à l'Oued Bou Hamdane et par conséquent finissent dans Oued Seybouse (Fig. 03).

Les caractéristiques physiques et morphométriques selon une étude réalisée par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Guelma sont comme suit :

La surface du bassin	= 592.15 km ²
Longueur de l'Oued	= 41.30 km

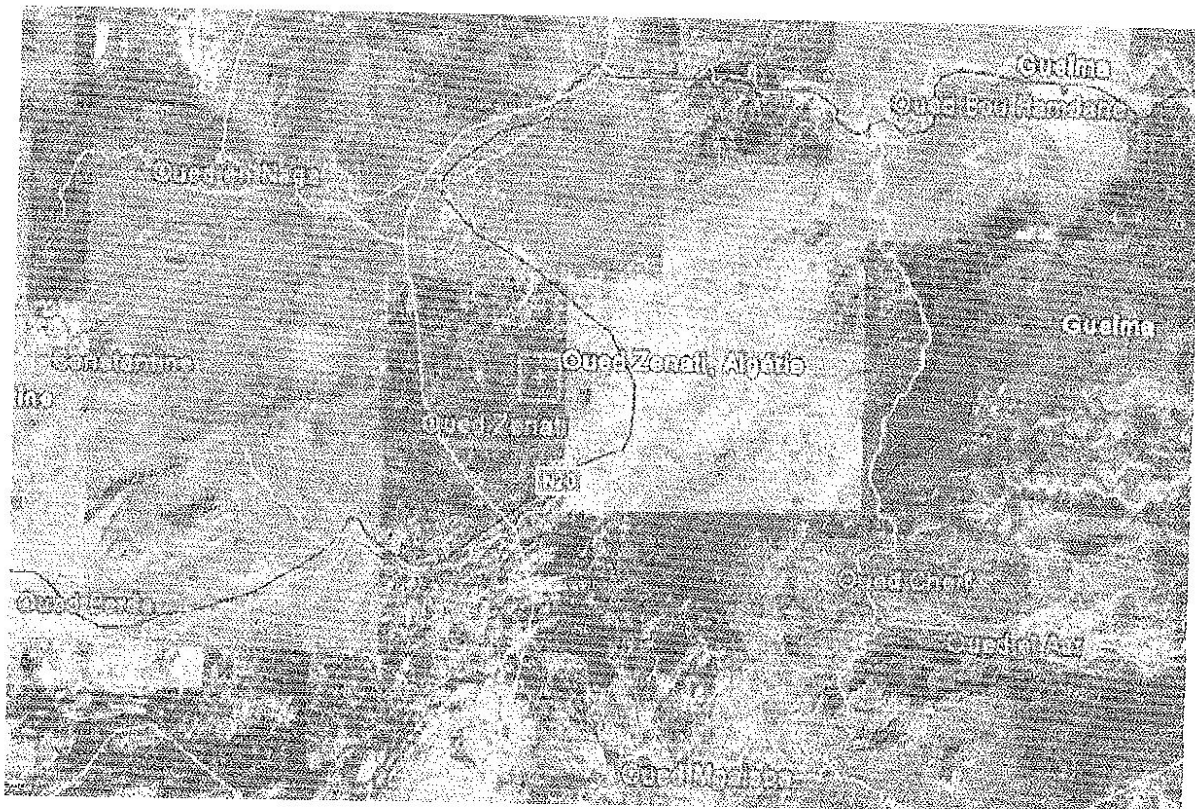


Fig. 02 : Situation géographique de l'Oued Zénati

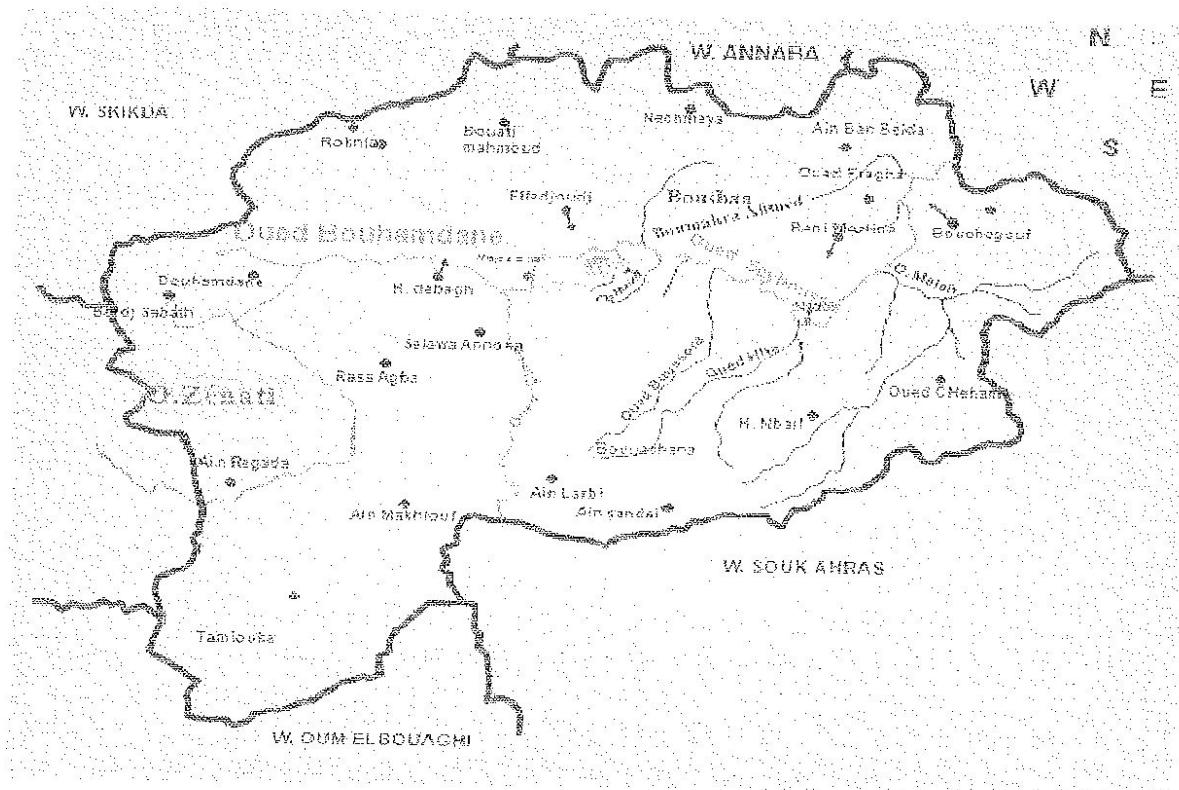


Fig. 03 : Réseau hydrographique de la wilaya de Guelma

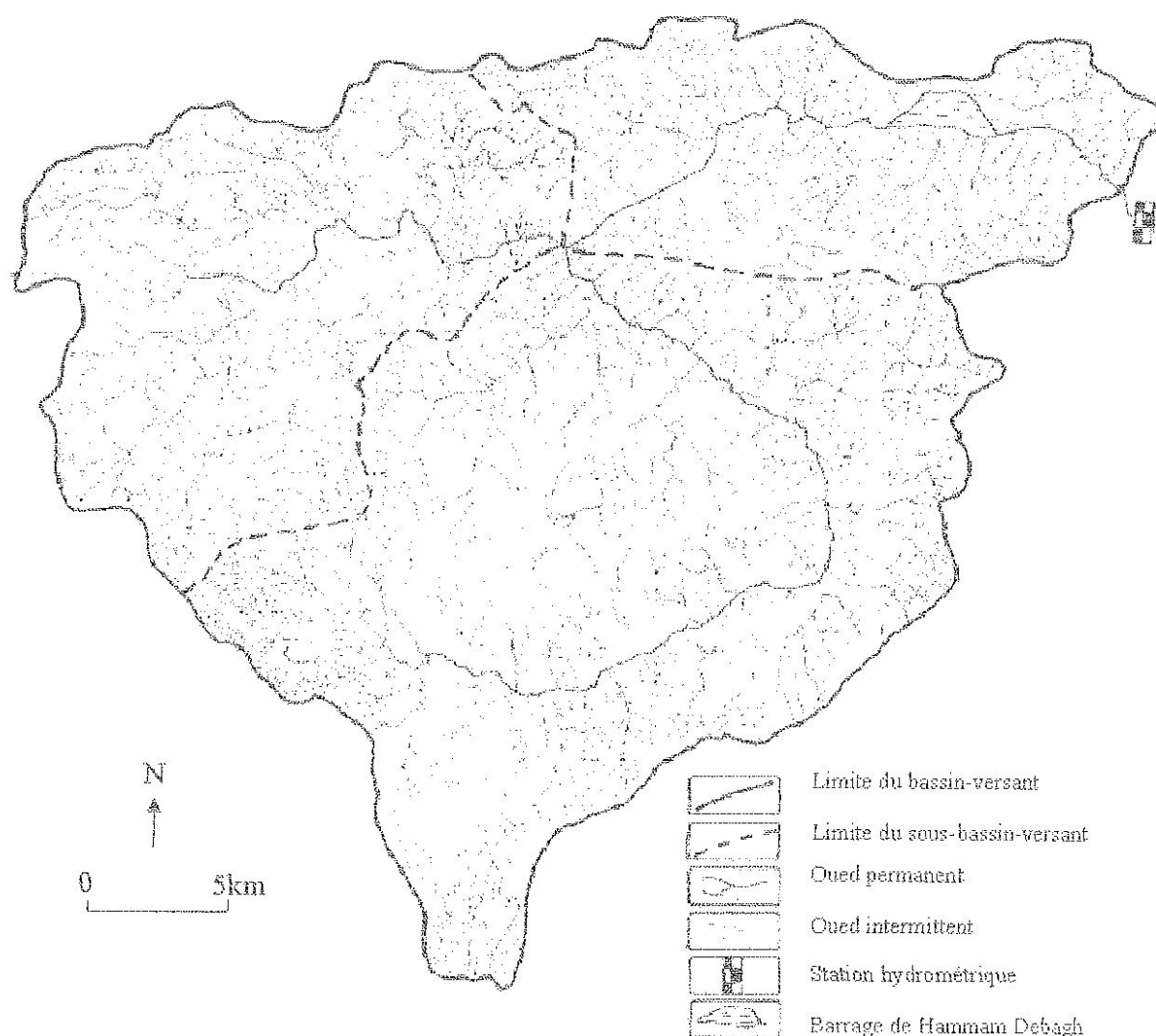


Fig. 04 : Réseaux hydrographique du sous-bassin de l'Oued-Zénati (source : Extrait de la carte topographique au 1/50.000 assemblage des feuilles. Zighoud Youcef (52), Hammam Maskhotine (53), El Aria (74), Oued-zénati (75), El Khroube (97), Ain Reagada (98)

Tab. 02 : Classification de nombre de cours d'eau de l'Oued-Zénati

Ordre	Bassin de l'Oued-Zénati
1	2189
2	487
3	93
4	22
5	5
6	1

Longueur du rectangle équivalent ; "Lr"	= 1.36.2 km
Périmètre ; "P"	= 110 km
Longueur du talweg principal, " Lp"	= 45.5 km
L'indice de pente du bassin versant ; "Ip"	= 0. 12%
Densité de drainage ; "Dd"	= 0.74 km/km ²
La pente de talweg le plus long ; "I"	= 0.81%
Les altitudes : "H max"	= 1266 m
"H min"	= 516 m
"H moy"	= 928 m (DHOZ, 2008)

Le grand problème de l'Oued-Zénati c'est qu'il est un cloaque à ciel ouvert. Sa position le rend le seul déversoir de tous les rejets, de la commune et de l'hôpital. Il est aussi une décharge publique ouverte utilisée par les habitants à proximité de son lit (Fig. 05). Ses eaux sont utilisées pour l'irrigation à grand échelle tout le long de sa Vallée (Fig. 05). Ainsi il est considéré comme une source de pollution et de maladies à transmission hydrique (bactériennes et parasitaires) et représente donc une plaie qui devrait être soignée.

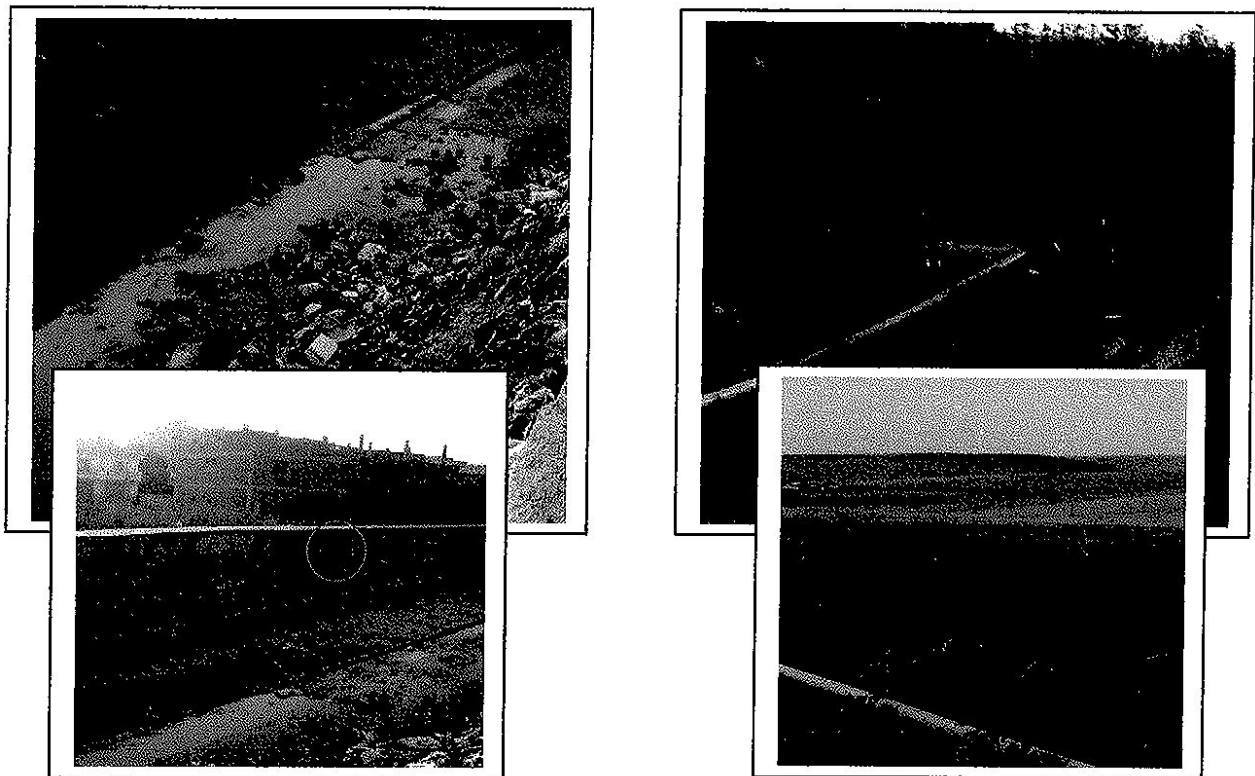


Fig. 05 : Photos présentant la situation de l'Oued-Zénati (28/07/2008)

1.2.1. Le débit

Le débit moyen annuel de l'Oued-Zénati et de ses principaux affluents est très varié et s'accroît progressivement de l'amont jusqu'à l'Oued Bou Hamdane. Ainsi afin d'estimer son débit, nous avons utilisé les données récoltées à la station Bordj Sabbat (Tab.03) (source : A.N.R.H., 2008) :

Tab. 03 : Débit moyen mensuel de l'Oued-Zénati (Station de Bordj Sabbat 1973-2004)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août
débit (m^3/s)	0.002	0.45	15.20	43.85	23	28.65	9.77	23.13	1.62	0.21	0.002	0.000
Moy (m^3/s)	5.22			31.83			23.01			0.07		

Ce tableau montre que les moyennes mensuelles les plus élevées du débit de l'Oued-Zénati sont enregistrés pendant la saison hivernale avec une moyenne de $31,83 m^3/s$, alors que la saison estivale est caractérisée par une faible moyenne de $0,07 m^3/s$, ce qui produit une diminution des niveaux d'eau et donc une concentration des éléments chimiques.

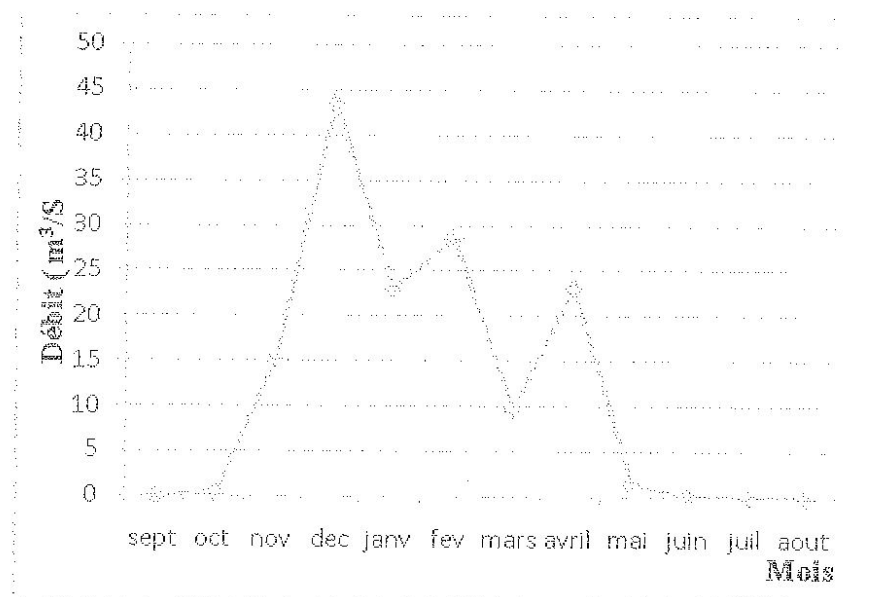


Fig. 06 : Evolution des débits mensuel de l'Oued-Zénati (Station Bordj Sabbat, 1973-2004)

1.2.2. La végétation

La végétation est un facteur écologique très important, elle permet d'évaluer la qualité des cours d'eaux, et présente une influence mécanique certaine sur l'écoulement fluvial et biologique de la vie aquatique de cet hydrosystème.

Plusieurs classifications du couvert végétal plus ou moins complexes ont été proposées, mais la classification des types de couverture par ordre de densité de Tricart, est plus apte à montrer l'impact du couvert végétal sur les conditions d'écoulement dans notre étude. Nous reprendrons cependant les trois grandes catégories de type de couverture végétale, distinguées :

✓ Les surfaces bien protégées

Ce sont les surfaces qui bénéficient de couverture végétale plus ou moins dense et permanente, et plus spécialement les forêts, ces dernières protègent contre l'érosion et la concentration rapide des eaux.

✓ Les surfaces incomplètement protégées

Ce sont les surfaces partiellement nues en permanence, et les surfaces saisonnièrement protégées, dont les averses peuvent engendrer un ruissellement important qui peut déclencher des actions érosives et des crues inondantes ; Il s'agit généralement des terres de culture destinées, soit pour la céréaliculture qui occupe densément le sol pendant une période de l'année, et de l'arboriculture qui laisse le sol nu en permanence entre les arbres. Ainsi la pratique de la jachère nue est dommageable puisque les terres sont laissées au repos une année sur deux sans aucune protection.

✓ Les surfaces mal protégées ou nues

Elles englobent les terrains dénudés, les terrains de parcours, taillis et broussailles à faible densité de recouvrement où le ruissellement et l'érosion hydrique sont largement favorisées, surtout dans les terrains dénudés imperméables et sur les terrains de parcours fortement pâturés (Benchaiya, 2006).

A. Surfaces bien protégées

A.1. Le maquis

Cette unité regroupe tous les terrains occupés par des formations végétales qui ne dépassent pas 3 m de hauteur. (Fig. 07)

A.2. Les reboisements

Concernent les secteurs où les travaux ont été menés pour la protection des sols contre l'érosion. Les plantations sont constituées de pins d'Alep, qui dans certains secteurs ont très bien réussi et ont donné des forêts en état de futaie (Fig. 07) (Benchaïba, 2006).

B. Surfaces incomplètement protégées

B.1. La céréaliculture

Les zones de la céréaliculture sont prédominantes. Elles correspondent aux anciens territoires de colonisation (Oued-Zenati, Ras El Akba et Bordj Sabbat). La céréaliculture spéculative s'étend sur les collines de la vallée de l'Oued-Zenati, au Sud des collines calcaire d'El Kiffan vers les immenses territoires de la plaine «Tuffeuse » de Sellaoua et Ras El Akba. Sur tous ces terrains les champs de blé sont presque uniformes.

En effet, la pratique de la jachère demeure importante, malgré tous les efforts étalés pour sa résorption et par l'augmentation et la diversification des cultures. Cette augmentation se trouve confrontée à des problèmes de différentes natures : manque de main-d'œuvre qualifiée, manque d'eau ... etc. (Fig. 07)

B.2. L'arboriculture

Les terrains occupés par l'arboriculture sont répandus en petites surfaces, situées sur les terrasses le long des oueds. Ils couvrent une surface de 96 ha (Remarquées à Aïn Regada et à Oued-Zenati). L'amandier, espèce rustique peu exigeante, et l'arbre fruitier le plus répandu. Certaines plantations sont très réussies. L'introduction de l'arboriculture remonte aux premières années de la révolution agraire (Fig. 07) (Benchaïba, 2006).

C. Surfaces mal protégées

C.1. Les terrains rocheux

Les terrains rocheux se localisent partout où la roche en place affleure à la surface ou présente un sol très peu profond. Dans ces secteurs, l'érosion différentielle, très active, a dégagé des roches de tailles et de grandeurs variées. (Fig. 07)

C.2. Les terrains nus

Ils correspondent aux terrains non occupés par une quelconque végétation naturelle. Elles s'étendent sur des surfaces perdues à l'agriculture ou difficiles à mettre en valeur, compte tenu de certaines contraintes topographique et lithologique. (Fig. 07)

C.3. Les terrains du parcours

Constitués essentiellement de formations touffues ne dépassant guère 1 m de hauteur (Fig. 07) (Benchaiaba, 2006).

Ainsi l'indice de végétation sur le lit de l'Oued-Zénati est subdivisé en trois zones plus ou moins distinctes :

- ♦ Absence de végétation ou présence très rare
- ♦ présence moyenne,
- ♦ et forte présence.

La partie qui s'étend de la ville d'Ain Abid jusqu'à la commune d'Ain Regada et caractérisée par l'absence de végétation ou par une présence très rare. Celle située entre la commune d'Ain Regada jusqu'à El Kiffan est caractérisée par une présence moyenne de la végétation dominée par des scirpes, des phragmites et des typhas. Le reste, soit après le secteur de la ville d'Oued-Zénati et jusqu'à la commune de Bordj Sabbat est caractérisé par la présence d'un couvert végétal très dense. (Figs. 08, 09, 10)

En effet, la majorité des terres de sous bassin de l'Oued Zenati est considérée comme incomplètement protégée, car la majorité de ces terres sont couvertes par de la céréaliculture.

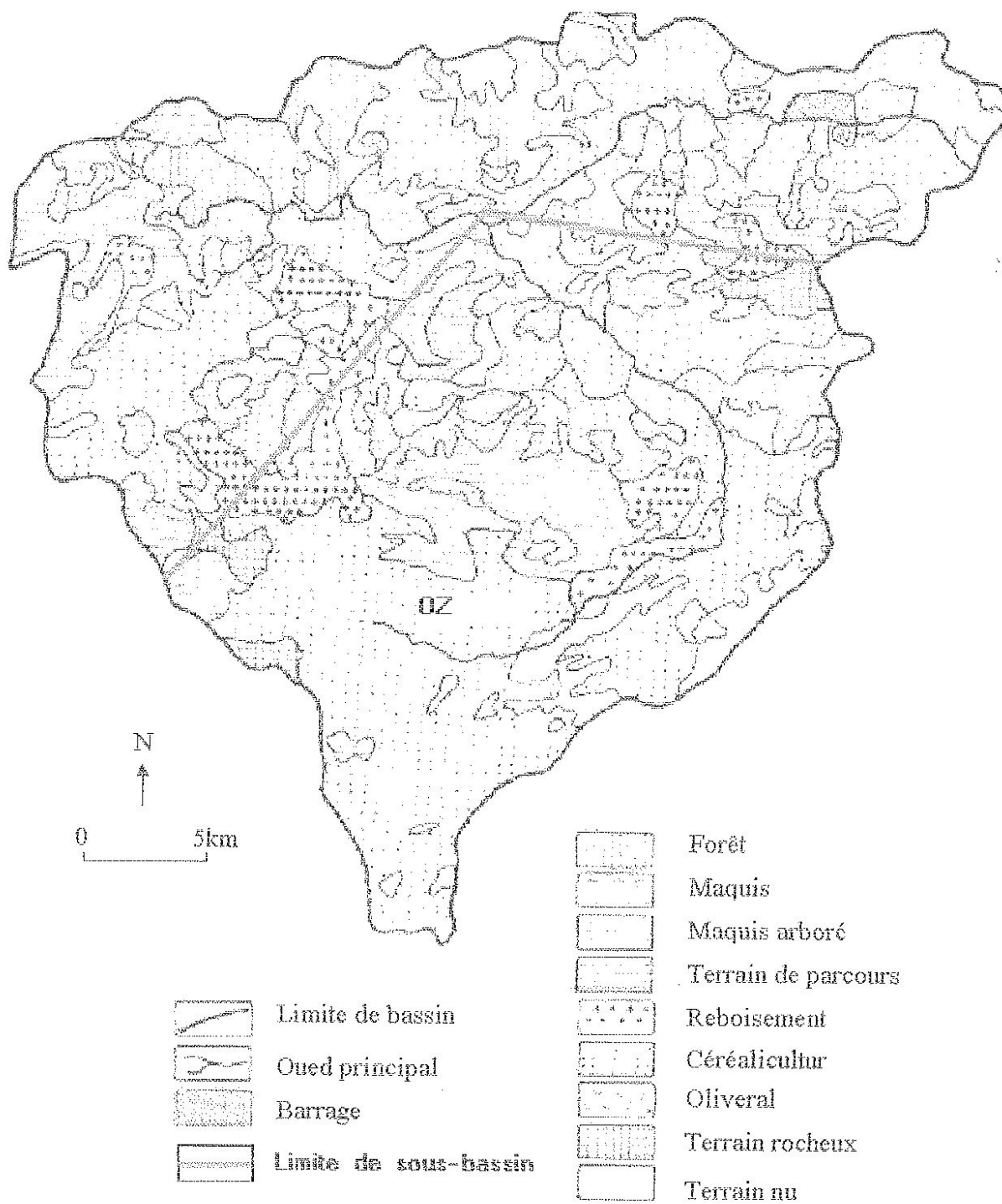


Fig. 07 : Couverture végétale du sous-bassin-versant d'Oued-Zénati

(Source : D.S.A. de Guelma 2000)

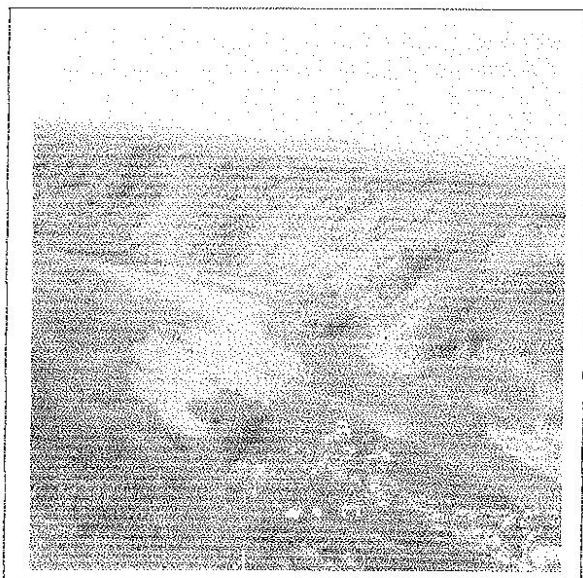


Fig. 08 : Photo prise à l'Ouest
de Ain Regada (21/05/2009)

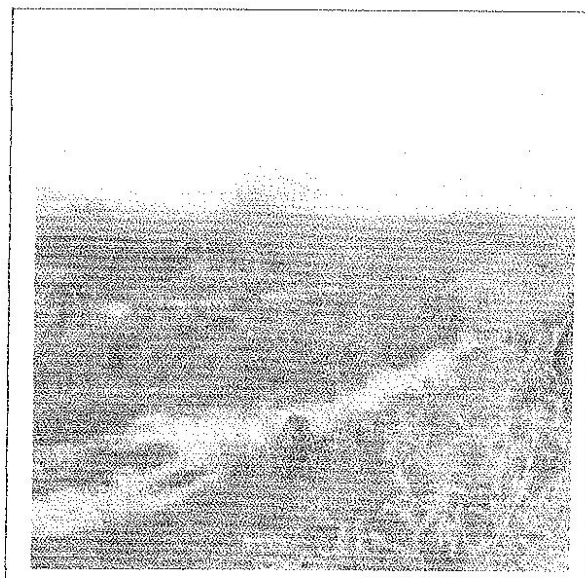


Fig. 09 : Photo prise à l'Est
de Ain Regada (02/02/2009)

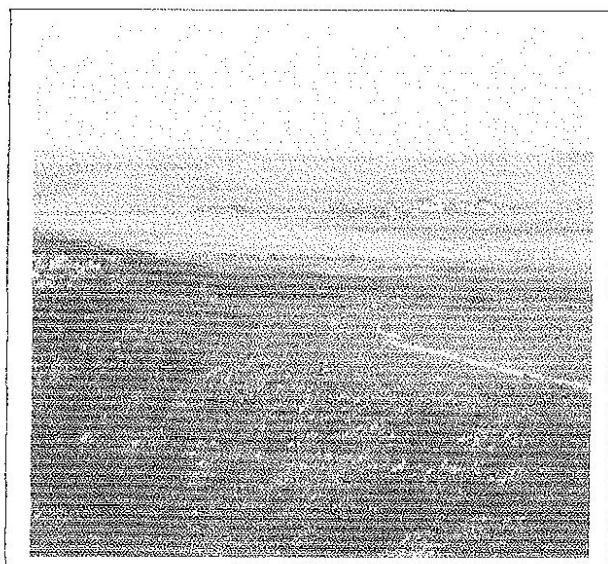


Fig. 10 : Photo prise au Nord de Oued-Zénati
(15/08/2008)

I.3. Climatologie

La climatologie, branche de la géographie physique, est l'étude du climat, autrement dit la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps, qui diffère de la météorologie qui est l'étude dans le temps à court terme.

En règle générale, sur une durée ne dépasse pas le siècle et dans une région donnée du globe, le climat ne varie pas, ou varie assez peu. Par contre sur des temps géologiques, le climat peut changer considérablement [39].

Les principaux facteurs climatiques qui interviennent souvent dans le bilan hydrique et qui régissent les régimes hydrologiques sont la précipitation et la température, et les autres facteurs climatiques tels que, l'humidité de l'air, la vitesse du vent, le rayonnement solaire,... jouent aussi un rôle des fois déterminant dans l'estimation du climat (Ladlani, 2007). Tous ces paramètres sont facilement mesurables par les stations météorologiques. Ainsi une bonne connaissance des conditions climatologiques d'une zone et des origines des écoulements des eaux peut jouer un rôle majeur pour la compréhension de l'évolution des éléments nutritifs et abouti à la protection et à la résolution des problèmes de pollution des eaux de surface.

Dans notre étude nous avons utilisées les données météorologiques des stations des villes de Guelma et de Constantine. Les Coordonnées de ces stations sont résumées dans le tab. 04 :

Tab. 04 : Coordonnées géographiques des stations météorologiques et les paramètres climatiques disponibles

Station	Altitude	Longitude	Latitude	Paramètres climatiques			
				P (mm)	T (°C)	Hr (%)	V (m/s)
Guelma	228 m	7°.28"	36°.28 "	✓	✓	✓	✓
Constantine	694 m	6°.37 "	36°.17 "	✓	✓	✓	✓

I.3.1. La température

La température est définie comme le degré de chaleur, alors que celle de l'air est considérée comme l'ensemble des conditions atmosphériques variables, traduite par l'homme en sensations relatives de chaud ou de froid, et dont l'appréciation exacte est donnée par la lecture du thermomètre. Ainsi la notion de température est donc fondée sur des sensations de chaud et de froid pourtant théoriquement elle est liée à la vitesse des molécules de l'air, paramètre qui n'est bien sur pas facile à mesurer [5].

Les variations de la température au voisinage de l'environnement humain dépendent de certains facteurs : du rayonnement solaire, du vent, de l'altitude et de la nature du sol. Ce qui provoque une variation élevée sur l'ensemble du globe terrestre (-88°C et $+58^{\circ}\text{C}$) disons un écart moyen de 70 degrés [4].

La température de l'air est donc un paramètre très important lié directement au développement de la majorité des êtres vivants (El Blidi *et al.*, 2006) et qui influe sur leurs activités (Debieche, 2002). A cet effet, les services météorologiques élaborent chaque jour des cartes où figurent toutes les variations de température.

Globalement, l'évolution de la température atmosphérique au cours de l'année agit directement sur la température de l'eau superficielle et donc sur sa qualité.

Tab.05 : Evolution des Températures moyennes mensuelles de la station de Guelma (1985-2008).

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T($^{\circ}\text{C}$)	9,43	10,19	12,32	14,8	18,54	23,27	27,06	27,68	24,01	19,84	14,50	10,94

Ainsi, les moyennes mensuelles des températures les plus élevées pour la wilaya de Guelma sont observées pendant la période allant de juin à octobre, variant entre 20 et $27,68^{\circ}\text{C}$. Les températures les plus basses sont alors observées pendant la période hivernale (décembre à mars), soit entre 9 et $12,3^{\circ}\text{C}$ où on a enregistré un minimum de température pendant le mois de janvier $9,43^{\circ}\text{C}$. Le tracé de leur graphique nous donne une courbe en cloche. (Fig. 11)

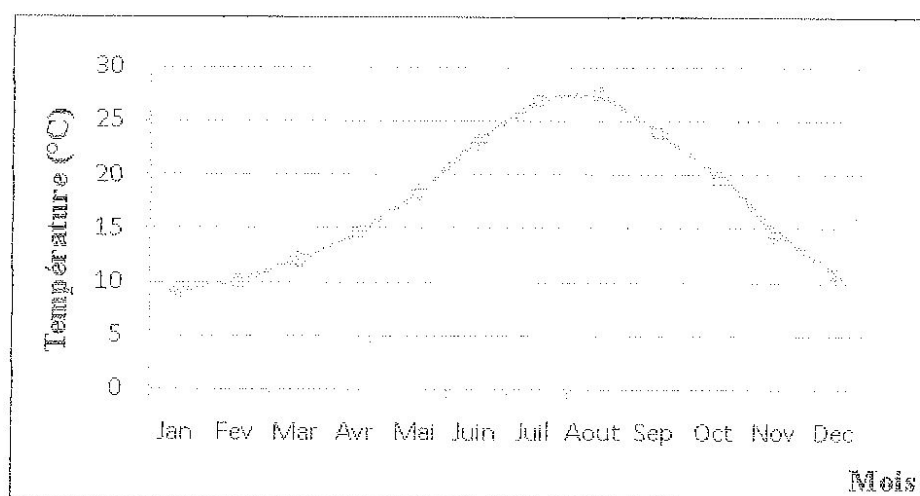


Fig. 11 : Evolution des températures moyennes le la wilaya de Guelma (1985-2008)

Tab. 06 : Evolution des Températures moyennes mensuelles (°C) à la station de Constantine (1999-2008)

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T(°C)	6,6	7,4	10,8	13,6	18,4	23,6	26,6	26,2	21,5	18,2	11,2	7,6

Ainsi, on peut dire que les moyennes mensuelles des températures les plus élevées pour la wilaya de Constantine sont enregistrés pendant la période allant de juin à septembre, (20 à 26,6°C) et les moyennes mensuelles des températures les plus basses (soit de 6 à 10,8°C) sont observées pendant la période hivernale (décembre à mars) avec un minimum enregistré pendant le mois de janvier 6,6°C. L'évolution de ces températures au cours de l'année donne une courbe en cloche. (Fig. 12)

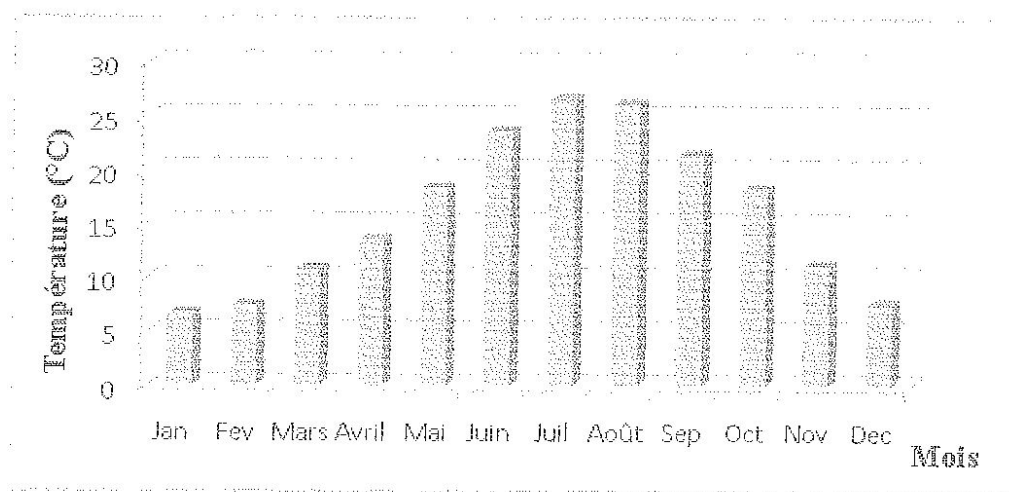


Fig. 12: Evolution des températures moyennes à la station de Constantine (1999-2008)

1.3.2. Les précipitations

En météorologie, le terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol [36].

La précipitation peut prendre les formes suivantes (parfois mélangées) :

- **Liquide** : pluie, brume et pluie ou brume verglaçante ;
- **Solide** : neige, grêle, et cristaux de glace.

Les précipitations et les plus intenses ont des conséquences sur la qualité de l'eau, telles que l'augmentation de l'érosion des sols, la diminution des approvisionnements en eau

souterraine, l'accentuation du ruissellement des pesticides, des déjections animales et des fertilisants chimiques vers les eaux de surface, et des problèmes de débordements de réseaux d'égouts ([16] ; [37]).

Généralement, la fréquence et la nature des précipitations dans une région géographique donnée sont des caractéristiques importantes de son climat. Elles contribuent de façon essentielle à la fertilité et à l'habitabilité de ces zones. Elle est aussi un facteur climatique très important conditionnant l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères.

1.3.2.1. Réseau d'observation

Les stations pluviométriques d'un bassin versant ou d'une région donnée forment un réseau d'observations. Elles fournissent des mesures ponctuelles des précipitations (Ladlani, 2007). Pour les besoins de notre étude et en l'absence des stations pluviométriques situées sur le sous-bassin de l'Oued-Zénati, nous avons jugé de prendre les stations : de Guelma et de Constantine.

Nous disposons des données pluviométriques de 23 ans soit du 1985 au 2008 (Tab. I.2 annexes) pour la station de Guelma et de 9 ans soit du 1999 au 2008 (Tab. I.3 annexes) pour la station de Constantine, les moyennes sont représentées dans les tableaux 7 et 8 :

Tab. 07 : Précipitations moyennes mensuelles (station de Guelma 1985-2008)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août
P(mm)	39,61	37,23	72,46	82,55	81,51	64,58	63,56	66,86	45,3	18,95	3,79	12,97
Moy (mm)	49,77			76,21			58,57			11,90		

Ce tableau montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 76,21 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 11,90 mm/mois, ce qui produit une évaporation (diminution du niveau d'eau) et une concentration des éléments chimiques. Il en ressort ainsi que décembre est le mois le plus pluvieux et que juillet est le mois le plus sec. (Fig. 13)

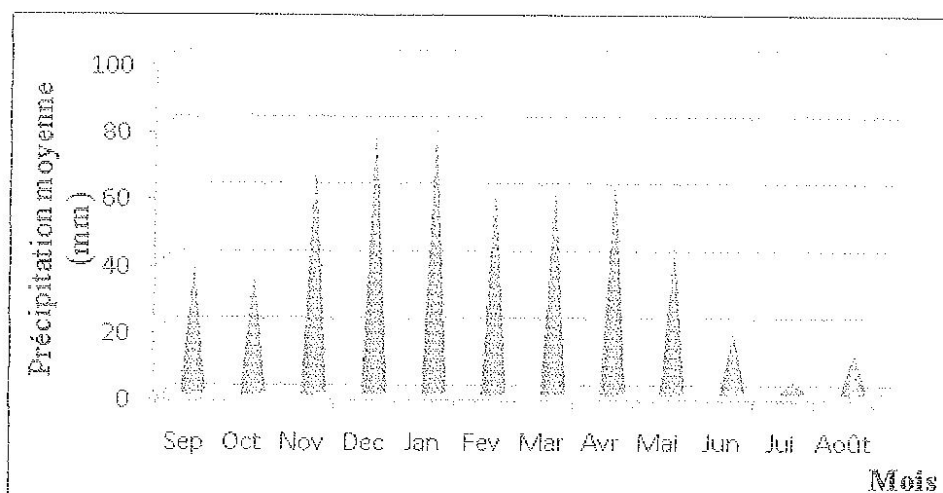


Fig. 13 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles (station Guelma 1985-2008)

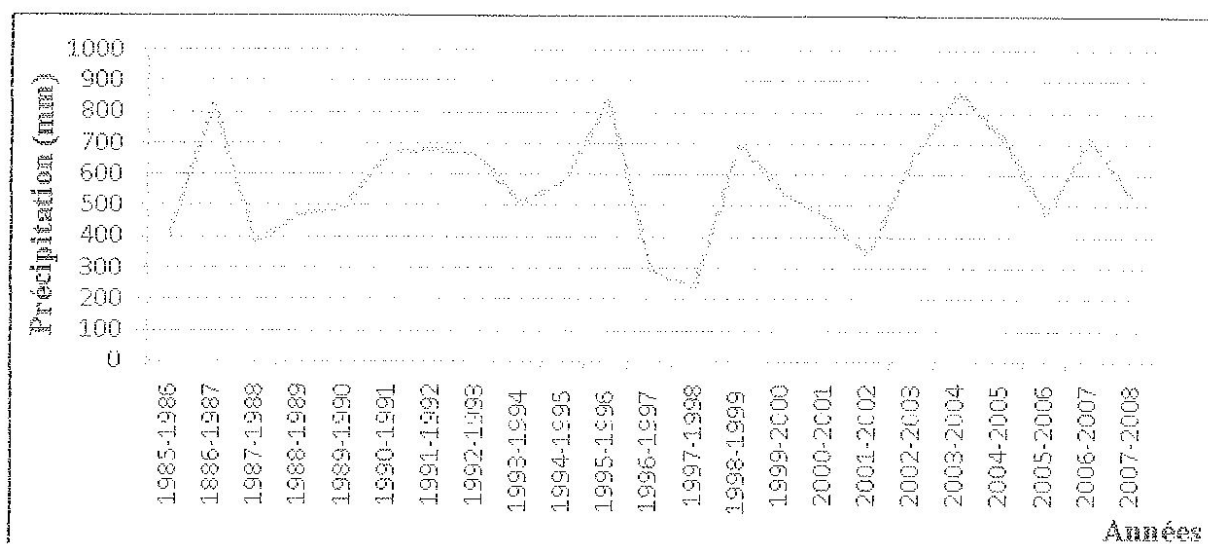


Fig. 14 : Evolution des précipitations annuelles (station de Guelma, 1985-2008)

Tab. 08 : Précipitations moyennes mensuelles (station de Constantine, 1999-2008)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août
P(mm)	40,4	29,8	53,6	90,4	70,5	36,5	45,8	46,8	45	13,6	5	14,4
Moy (mm)	41,27			65,8			45,87			11		

Ce tableau montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse avec une moyenne de 65,8 mm/mois. Tandis que l'été est sec avec une faible précipitation (11 mm/mois), il en ressort ainsi que décembre est le mois le plus pluvieux et que juillet est le mois le plus sec. (Fig. 15)

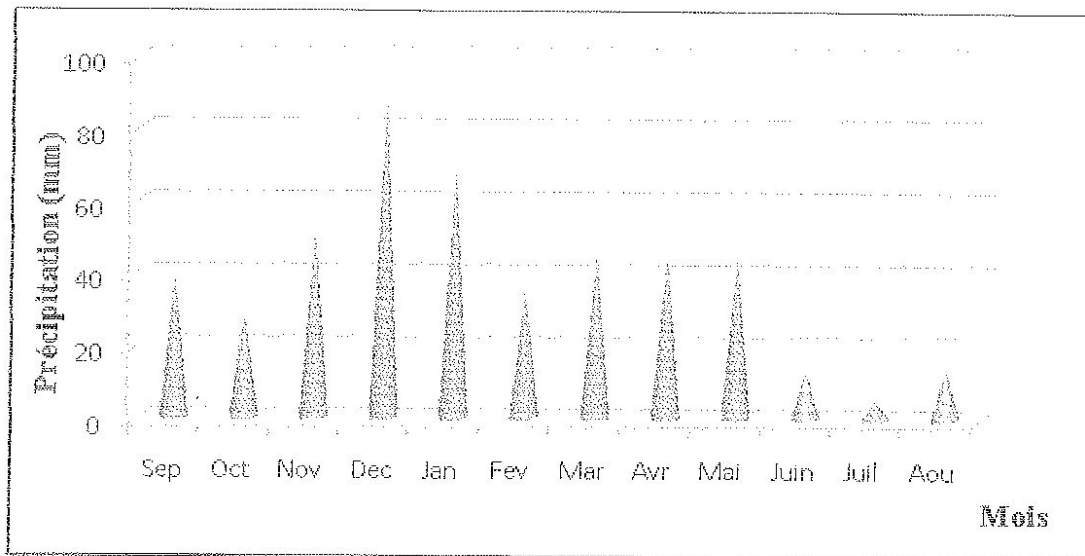


Fig. 15 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles (station Constantine 1999-2008)

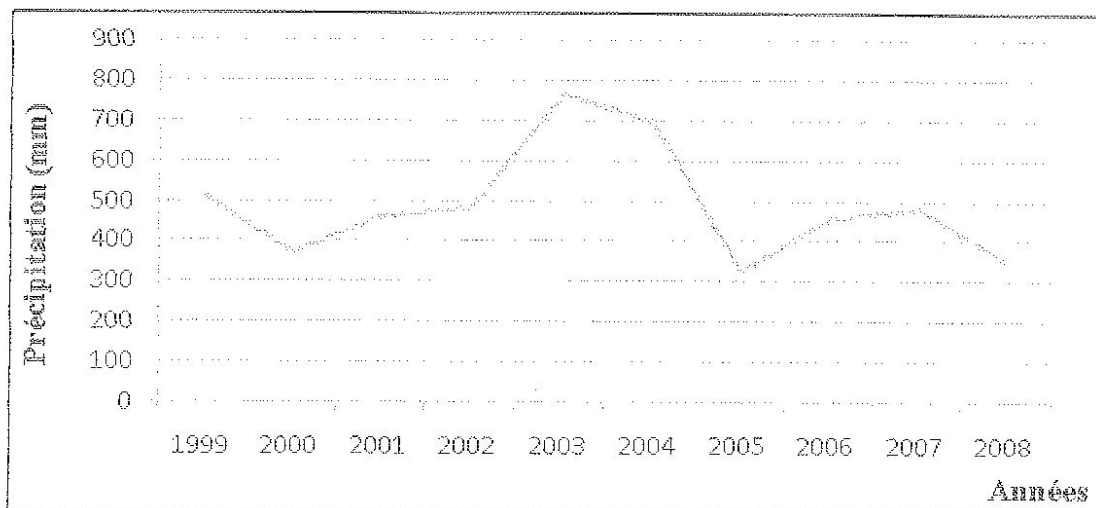


Fig. 16 : Evolution des précipitations annuelles (station de Constantine ,1999-2008)

1.1. Synthèse climatique

La combinaison des deux principaux facteurs climatiques : la température et la précipitation permettent de localiser notre zone d'étude dans un étage bioclimatique bien définie à l'aide du coefficient Q_2 .

Le coefficient pluviométrique d'Emberger Q_2 est calculé par la formule suivante :

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

Avec:

Q_2 : Coefficient pluviométrique d'Emberger.

P: Précipitations moyennes annuelles (mm).

M: Température maximale de mois le plus chaud.

m: Température minimale du mois le plus froid.

Tab. 09 : Données météorologiques de la station de Guelma 1994-2008

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Vent mensuel (m/s)	1,81	1,89	1,79	1,97	1,77	1,93	1,89	1,9	1,72	1,39	1,73	1,79
Humidité moyenne (%)	76,5	76,7	73,6	72,04	68,6	60,7	96,6	56,4	66,1	69,7	72,7	75,9
M (°C)	15,6	16,7	18,5	22,02	27,2	32,7	36,1	36,3	29,5	27,3	19,4	16,6
m (°C)	4,9	4,6	6,6	8,1	12,2	15,8	18,5	19,9	17,3	13,6	9,81	6,26
P (mm)	107,1	66,4	61,14	67,44	47,3	16,9	2,5	10,2	76,7	36,06	67,7	76,7

Tab. 10 : Données météorologiques de la station de Constantine 1999-2008

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
Vent mensuel (m/s)	2,3	2,5	2,5	2,7	2,4	2,4	2,4	2,3	2	1,9	2,3	2,4
Humidité moyenne (%)	80,9	77,5	72,7	70,6	66,1	54,1	48,7	52	65,3	68,6	76,9	82,0
M (°C)	12,2	13,2	17,3	20,2	25,9	31,6	34,9	34,6	28,9	25,2	17,0	12,6
m (°C)	2,0	2,5	5,2	7,2	11,6	15,8	18,6	18,8	15,4	12,4	6,4	3,5
P (mm)	70,5	36,5	45,8	46,8	45	13,6	5	14,4	40,4	29,8	53,6	90,4

Tab. 11: Les valeurs de Q_2 des stations climatiques

Station	Q_2
Guelma	69,07
Constantine	51,29

Ainsi, la région de Guelma présente un $Q_2 = 69,07$ ce qui la classe dans l'étage bioclimatique de végétation semi-aride. La région de Constantine présente un $Q_2 = 51,29$ ce qui la classe dans le même étage bioclimatique.

En effet, l'ensemble du bassin d'Oued-Zénati est soumis à un climat semi-aride selon le climagramme d'Emberger illustré par la figure 17.

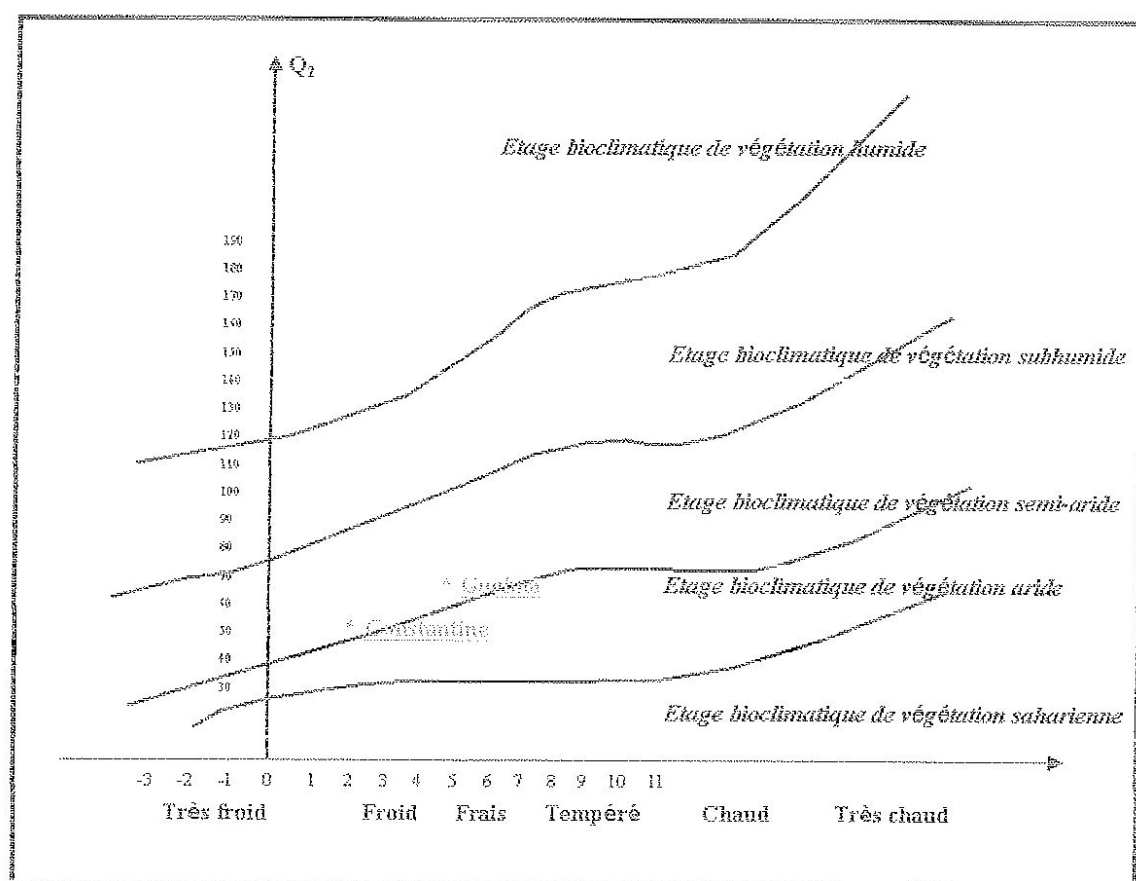


Fig.17 : Situation de la ville de Guelma et de Constantine dans le climagramme d'Emberger

II. LA SITUATION ACTUELLE DES RESSOURCES EN EAU EN ALGERIE

L'Algérie avec sa superficie de 2,381,741 km² est divisée en 48 wilayas, dont près de 80% du territoire représente une zone désertique où les précipitations sont quasi-nulles (Kettab, 2001), et les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas ; alors que les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional) [11].

Les potentialités en eau du pays sont alors estimées à un peu moins de 20 milliards de mètres cubes (m³), dont 75% seulement sont renouvelables (60% pour les eaux de surface et 15% pour les eaux souterraines) [11].

Généralement, les ressources en eau dépendent du climat qui dans le cas de l'Algérie est aride à semi-aride. Elles sont donc peu abondantes et correspondent globalement à 12.4 milliards de m³ pour les eaux de surface et 2.8 milliards de m³ d'eaux souterraines dont 800 millions de m³ dans le Sud (ressources en eau renouvelables).

D'autres parts, la pollution des ressources en eau commence à atteindre des proportions inquiétantes notamment dans la région tellienne où se trouve la plus grande partie de nos ressources en eau. La disponibilité en eau déjà faible risque de l'être d'avantage du fait de la pollution des eaux usées mais également des pollutions chimiques (industrie et agriculture) [11].

Le territoire national est actuellement subdivisé en cinq régions de bassins hydrographiques où cinq comités de bassins ont été définis (Fig. 18) afin d'assurer une gestion intégrée des ressources en eau (Kettab, 2001).

1. Oranie-Chott Chergui;
2. Cheliff-Zahrez;
3. Algerois-Hodna-Soummam;
4. Constantinois-Seybousse-Mellegue;
5. Sahara.

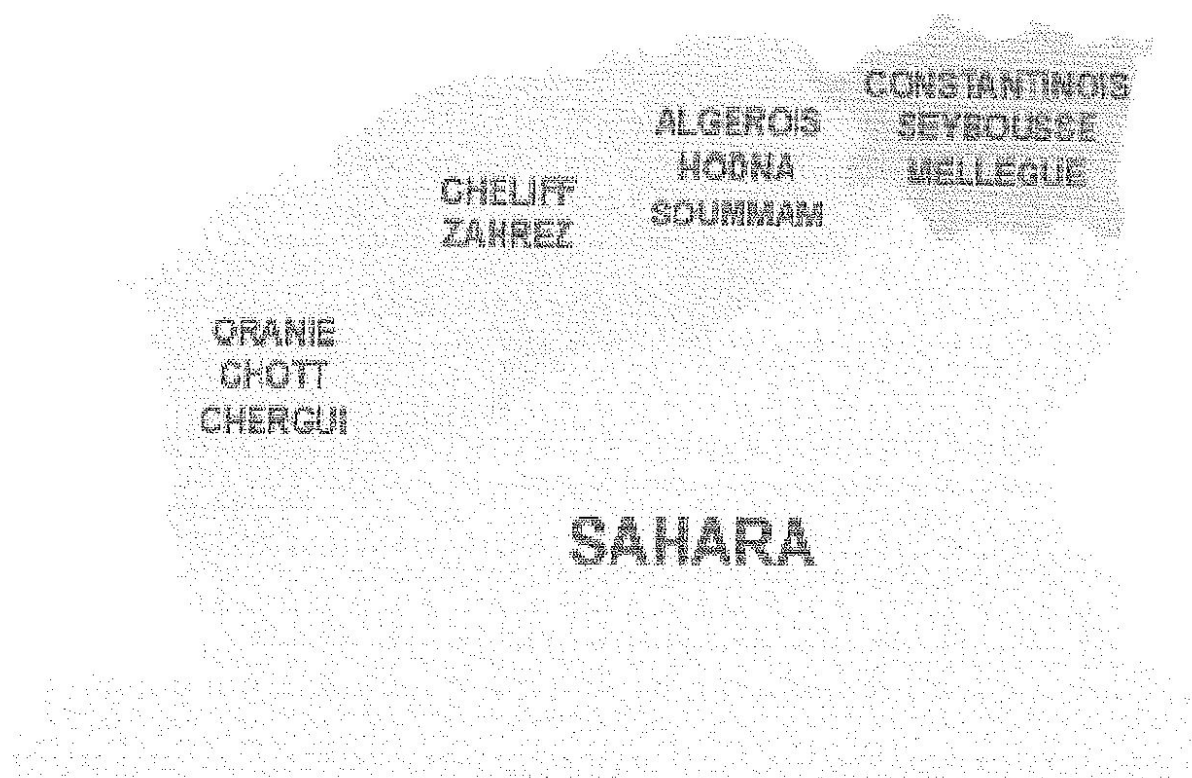


Fig. 18 : Carte géographique des cinq bassins [32]

II.1. Les ressources en eau de surface

Le volume d'eau terrestre sous forme solide, liquide et gazeuse est estimé à 1,384,120,000 km³ dont seul 0.26% sont de l'eau douce directement exploitables. On estime qu'il y a théoriquement, d'eau douce suffisamment pour alimenter quelques 20 milliards d'habitants, malheureusement elle n'est pas répartie de façon égale, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides (Kettab, 2001).

L'Algérie est un pays semi-aride, voire même aride (200 à 400 mm moyenne annuelle) et les ressources en eau sont faibles, irrégulières, et localisées dans la bande côtière, l'apport total des précipitations serait de l'ordre 100 milliards de m³ d'eau par an dont 12.4 milliards de m³ en écoulements superficiels, et seuls 6 milliards de m³ sont mobilisables en tenant compte des sites favorables techniquement (Hydrologie, topographie, géologie) (Kettab, 2001). Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ (XIX^{ème} Congrès géologique international ALGER – 1952) pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km²), autrement dit sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau (ANRH et DGAIH) et qui intègrent des années de sécheresse (jusqu'à 1993), les ressources en eau de surface sont comme suit [11] :

Tab. 12 : Répartition spatiale des eaux de surface en Algérie

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chélif Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mellègue	Sud	Total
Ressources pot. (Hm ³ /an)	1025	1840	4380	4500	600	12,34
Pourcentage(%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100.0

Le problème de la ressource en eau est lié principalement à plusieurs facteurs l'érosion des sols, le stockage, le dépôt de sédiments et à la qualité des eaux (Kettab, 2001). Notons que les débits sont irréguliers dans l'année avec des étiages souvent nuls et des crues de courtes périodes mais violentes, causant une érosion à l'amont et des inondations à l'aval. Ainsi, l'irrégularité inter-annuelle est très importante.

II.1.1. Les barrages

Les barrages ont été longtemps le principal vecteur disponible en matière de domestication des eaux superficielles. L'Algérie avec sa centaine de barrages (128) (Tab.13) ne mobilise que $4.5 \times 10^9 \text{ m}^3$ alors que le Maroc avec (104) grands barrages mobilise $10 \times 10^9 \text{ m}^3$, tandis que la Tunisie avec ses 28 grands barrages totalise $2.4 \times 10^9 \text{ m}^3$ (Hauteur supérieure à 15 m). Pour l'ensemble des barrages algériens, les sédiments déposés sont évalués à $100 \times 10^6 \text{ m}^3$ en 5 ans soit $20 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ de volume perdu (Kettab, 2001).

Tab. 13 : Le parc des grands barrages en Algérie dont la capacité est supérieure à 10 millions de m^3

Désignation	Nombre	Volume régularisé (Hm^3/an)
Études : 1- en cours de lancement 2- en cours 3- Achevées	20	
	14	190,62
	22	640,15
En construction	14	1141,68
En exploitation	58	3063,67
TOTAL	128	5036,12

Soulignons que les conditions naturelles et économiques en Algérie ne permettent pas d'avoir des barrages de plus grandes capacités comme c'est le cas par exemple de l'Égypte où le barrage d'Assouan renferme une capacité théorique de 160 milliards de m^3 (soit 4 fois les écoulements superficiels de tous les pays du Maghreb) [32]. Les barrages opérationnels aujourd'hui, en Algérie, sont répartis comme suit entre les différentes régions hydrographiques [11].

Tab. 14 : Localisation et capacité des barrages en Algérie

Bassin hydrographique	Nombre	Capacité (hm^3)	%
Oranie	11	737	10
Chéllif -Zahrez	15	2118,9	29
Algérois- Soummam -Hodna	13	1648,2	22
Constantinois- Seybouse -Mellègue	16	2215,29	30
Sud	4	575,0	7
Total	58	7294,39	100

II.2. Situation actuelle des eaux usées et leur réutilisation

Les eaux usées représentent une des composantes de l'offre globale en eau au même titre que les eaux superficielles et souterraines. En Algérie, leur volume annuel est estimé actuellement entre 600 millions et de 750 millions de m^3 par an [34] dont plus de 550 millions de m^3 correspondent aux agglomérations de taille supérieure à 50 000 habitants (MRE, 2003 ; [18]).

La capacité totale de traitement est de 4 millions de m^3 équivalent-habitants pour une population de 2,5 millions d'habitants raccordés à un réseau, ce qui signifie que seulement 20 % de la population raccordée à un réseau d'assainissement bénéficie du traitement de ses eaux usées (Medkour, 2003). En 1994 les réseaux d'assainissement totalisent 17000 km (11500 en milieu urbain et 5500 km en milieu rural) (Kettab, 2001) alors que en 2006 est d'une longueur de 21000 km et actuellement est de 38000 Km [18] ce qui a augmenté le taux de raccordement en milieu urbain de 80% en 2001 (Kettab, 2001) à 86% en 2006 [18].

Notons que 60 % des eaux usées sont rejetées soit loin des périmètres d'irrigation et des barrages soit en mer ce qui rend leur réutilisation en irrigation peu rentable (Tab. 15). Ainsi, seulement 240 millions de m^3 sont potentiellement utilisables en irrigation en raison de la localisation des points de rejet (Hartani, 2004), ou rejeté sans aucun traitement et utilisé directement en irrigation comme c'est le cas de l'Oued-Zénati.

Tab. 15 : Volumes d'eau usée rejetés en Algérie (MRE, 2003)

Type d'agglomération	Volume d'eau usée rejeté en million de m^3	
	1995	Horizon 2020
Côtières	169	282
Amont des barrages	48	122
Proches des périmètres	62	143
Autres	149	352
20000 > population > 50000	122	251
Total	550	1150

II.2.1. Les stations d'épurations

Pour ce qui est des ouvrages de traitement et d'épuration des eaux, dès les années 70, la protection des ressources en eau contre les effets de la pollution, a été prise en considération par les pouvoirs publics [11]. C'est ainsi qu'une cinquantaine de stations d'épuration (STEP) ont été réalisées en Algérie avec une capacité de l'ordre de 4 millions

équivalents habitants (Kettab, 2001) dans le cadre des programmes locaux, ensuite dans le cadre des programmes sectoriels centralisés ou décentralisés. La capacité de traitement de ces stations varie de 100.000 à 750.000 équivalents/habitants [11].

Il semblerait que sur les 300 stations d'épuration que compte l'Algérie, seules 36 sont en exploitation. Les 264 autres stations sont actuellement fermées, pour certaines depuis plusieurs années. Actuellement, avec les 750 millions de m³ par an le volume d'eau rejetée, la capacité totale d'épuration est de l'ordre de 270 millions de m³/an [34]. Cette quantité augmentera à partir de 2009 pour atteindre les 600 millions m³/an, soit une capacité de traitement des rejets de l'ordre de 82% [18]. Ce que est remarquable c'est que les STEP en Algérie ont la mauvaise réputation, d'être des ouvrages destinés fatalement à tomber en désuétude, à cause dit-on du degré trop élevé de sophistication technique, d'un manque de compétence de gestion (rapport de la CEE sur la situation des STEP en Algérie) et/ou d'un manque de financement d'exploitation [11].

II.2.2. L'utilisation des eaux usées

L'irrigation avec les eaux usées non traitées est formellement interdite par la loi, dont on trouve que les principes de la protection des eaux continentales sont énoncés dans le chapitre II du Titre III de la loi n° 83-03 du 5 Février 1983 relative à la protection de l'environnement et dans le Titre IV de la loi n° 83-17 du 16 Juillet 1983 portant code des eaux. Ces lois définissent les principes d'autorisations et du contrôle des déversements, dans les eaux continentales, de substances présentant des risques pour la vie animale et végétale. Les valeurs maximales de rejets d'effluents liquides par les établissements industriels sont définies par le décret 93-160 du 10 Juillet 1993 qui charge également les Inspections de l'Environnement des wilayas (IEW) d'effectuer les contrôles.

La compétence en ce domaine se partage entre le ministère chargé de l'environnement, le ministère chargé de l'hydraulique et le ministère chargé de la santé. Le décret n° 93-163 du même jour porte également l'institution d'un inventaire du degré de pollution des eaux superficielles, sous la responsabilité des ministères chargés de l'environnement et de l'hydraulique (MH, 1998). Cependant, on estime que 8 % des terres irriguées, notamment en petite et moyenne hydraulique, reçoivent des eaux non traitées alors que la réutilisation après traitement est quasi inexistante (Hartani, 1998). Ce constat montre que le débat sur la nécessité de promouvoir ou non la réutilisation des eaux usées est dépassé. L'alternative est

plutôt entre encourager la réutilisation des eaux usées de manière sauvage, et rationaliser ce apport afin d'assurer une pratique respectueuse des conditions d'hygiène.

Dans cette étude, on s'intéresse à une utilisation en irrigation de l'eau de l'Oued-Zénati, souillée par les rejets de l'EPH et de la ville d'Oued-Zénati, qui augmente considérablement le risque de contamination des sols, de la faune, de la flore et bien sur des consommateurs.

III. LA CONSOMMATION EN EAU POTABLE ET LES REJETS DES EAUX USEES A OUED-ZENATI

Le territoire de la wilaya de Guelma rengorge de considérables potentialités hydriques avec une réserve en sous-sol évaluée à près de 1.400 km³ favorisée par une pluviométrie variant entre 400 et 600 mm, et une hydrographie assurant une perméabilité active dans la reconstitution continuelle des nappes phréatiques.

Les plus importantes nappes aquifères sont situées dans les sous-sols des régions de Tamlouka et Sellaoua-Announa au Sud, Guelma et Héliopolis au centre, alors qu'au Nord-Est nous avons la Vallée de Bouchegouf, Oued Cheham et H'lia. La carte d'exploitation hydrique met à contribution sept zones de forage situées dans les communes de Guelma, Héliopolis, H'lia, Sellaoua-Announa, Tamlouka, Oued Chaham et Bouchegouf [31]. Ainsi 83 forages qui puisent une moyenne de 48 hm³ destinés à l'AEP (87,5%), l'irrigation agricole (8,3%) et l'usage industriel (4,2%). D'autres sources hydrauliques à usage diverses à partir de 539 puits traditionnels et 380 sources d'eau en milieu rural sont aussi connues.

Les réserves hydriques en surface sont d'une capacité nominale de 224,15 hm³ stockées dans le barrage de Bouhamdane (220 hm³), les petits barrages de Medjez Bagrat et Hadjar Gafra ainsi que 13 retenues collinaires opérationnelles. De ces capacités en surface 15 hm³ sont exploités pour alimenter en eau potable, les communes de Guelma, Bendjerrah, Roknia, Hammam Debagh, Aïn Hassainia et Medjez Amar. Pour une population de 540.000 âmes, les besoins de la wilaya sont estimés à 32 hm³ dont 30% émanent des réserves en surface et 70% des nappes souterraines [31].

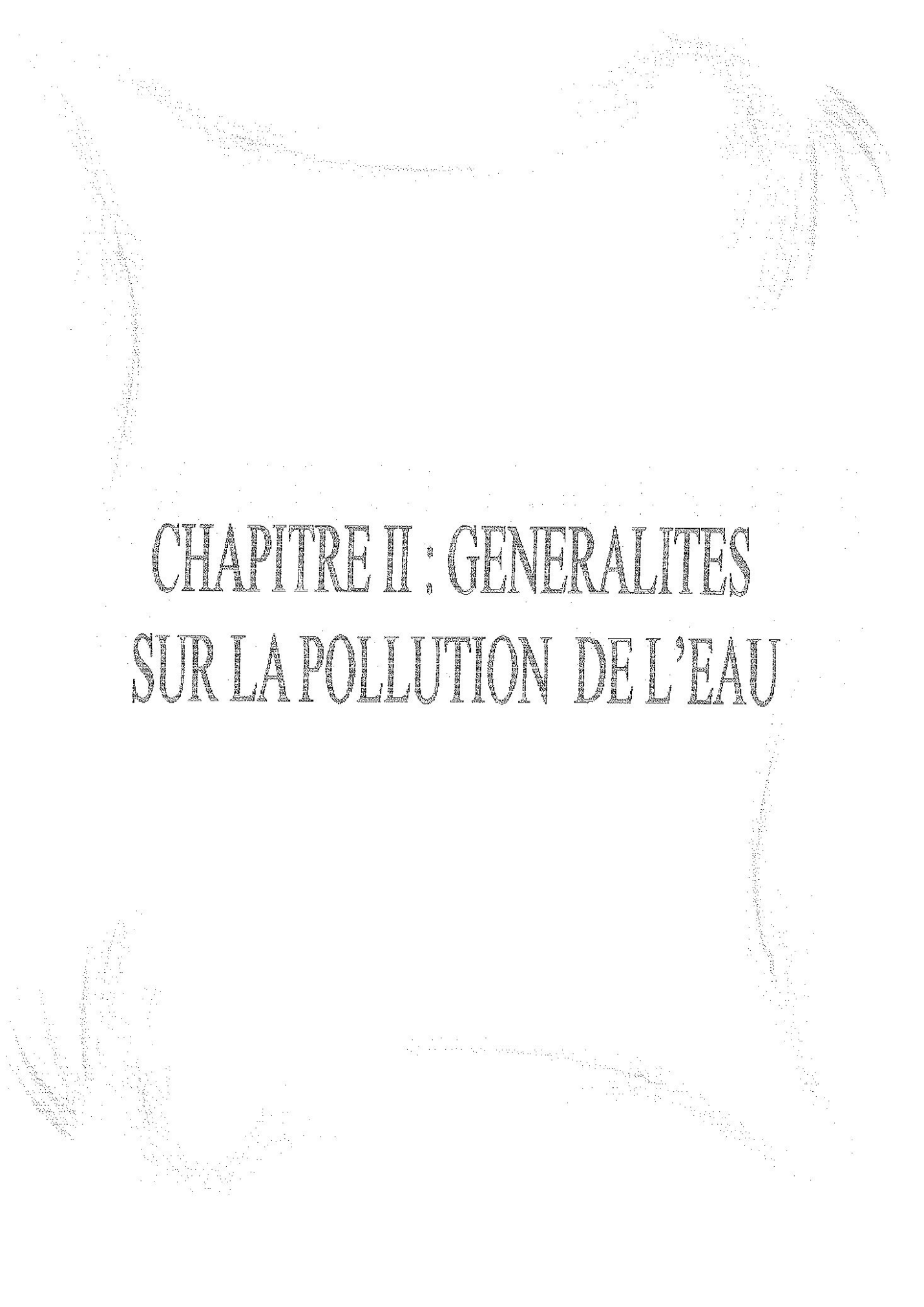
Pour la commune d'Oued-Zénati, notre zone d'étude, les habitants sont alimentés en eau potable par la nappe phréatique de Tamlouka. La grande partie ou la majorité des surfaces agricoles (les légumes, l'arboriculture et les cultures maraîchères) à proximité de l'oued sont irriguées par les eaux de ce dernier.

Compte tenu de l'immensité de la zone urbaine, du volume et du nombre des rejets un recensement fiable de la consommation et de la destination de l'eau n'est pas toujours

évident. Le tableau 16, fourni par l'ADE d'Oued-Zénati, rapporte les volumes d'eau distribué par l'agence aux communes : Oued-Zénati, Ain Regada et Bordj Sabbat. Notons que la consommation moyenne en eau potable pour ces communes varie de 100 à 150 litres par habitant et par jour et que la distribution est discontinue. L'absence de recensement fiable de la consommation globale d'eau dans ces communes se répercute sur la connaissance du volume de rejet qui est estimé de 3640 m³/jour pour l'année 2007 donc un total de 1328600 m³/an. (Tab. I.6 annexes)

Tab. 16 : Volume d'eau distribué par l'ADE à quelques communes et celui consommé par les secteurs d'activités de la daïra d'Oued-Zénati (Années : 2006, 2007 et 2008)

Communes/Secteur	L'année	Volume distribuer/consommer (m ³ /an)
Oued-Zénati	2006	1054019
	2007	1304145
	2008	1779120
Ain Regada	2006	86240
	2007	105120
	2008	124522
Bordj Sabbat	2006	438914
	2007	594220
	2008	758398
L'E P H D'OZ	2006	8254
	2007	8624
	2008	10880



CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA POLLUTION DE L'EAU

La question de l'eau est l'une des principaux problèmes de l'environnement, en raison d'une part des conséquences sanitaires et économiques de sa pollution et des pressions exercées sur les ressources du fait de l'accroissement des besoins en eau et, d'autre part de l'insuffisance de l'assainissement surtout dans les pays en voie de développement (Derwich *et al.*, 2008).

Ainsi, depuis le début des années soixantes et dans l'ensemble du monde, l'importance de la pollution des eaux a augmenté considérablement. Certes, dans les pays industrialisés, de vastes programmes ont permis de ralentir la progression de la contamination des eaux continentales, voire parfois de la faire régresser, mais ça reste insuffisant et on trouve, à l'heure actuelle, des fleuves, des oueds et leurs affluents, de même que certaines nappes phréatiques polluées de façon chronique et permanente. Ils sont même contaminés au point d'être impropres aux usages domestiques, industriels voire agricoles, avec un degré plus élevé dans les pays du tiers-monde [23].

Ainsi, devant ces besoins actuels en eau, qui sont pressé par la croissance démographique, le développement industriel et agricole, les catastrophes naturelles..., il est nécessaire de connaître le plus précisément possible la qualité des ressources en eau disponibles, afin de permettre la mise en place et l'orientation des plans de recherche, d'aménagement, de surveillance, et de protection, destinés à assurer la continuité de la ressource (Rajonson *et al.*, 1992), et l'état d'équilibre des systèmes affectés (Ouzza et Akdim, 2005). Plusieurs facteurs favorisant l'étendue et l'intensité de la pollution les principaux à savoir : la pluviométrie, la sédimentologie, la pédologie et la perméabilité des sols, des formations superficielles et des substrats, les débits et enfin les régimes d'écoulement des eaux. Si on veut alors déterminer la qualité des eaux et d'estimé son degré de pollution on doit se basé sur la mesure de multiples indicateurs comme par exemple les indicateurs d'ordre biologique, hydro-chimique ou physiques (Antoine et Dominici, 1975).

La pollution d'eau peut être définie comme suit :

✓ **Définition de Larousse**

La pollution est une dégradation d'un milieu naturel par des substances chimiques et des déchets industriels.

✓ **Définition de la pollution admise par l'UNESCO**

La pollution d'eau est tout rejet direct ou indirect, de substances ou d'énergie d'origine humaine qui a un effet nuisible sur les organismes vivants, dangereuse pour la santé humaine,

empêche l'utilisation de l'eau, altère leur qualité ou qui réduit les possibilités d'utilisation aux fins de loisirs [7].

✓ Définition de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

La pollution des milieux aquatiques est définie par l'OMS comme étant : toute modification des propriétés physiques, chimiques ou biologiques, ou tout rejet de substances liquides, gazeuses ou solides dans l'eau de façon à créer une nuisance ou à rendre cette eau dangereuse ou préjudiciable du point de vue, soit de la santé, de la sécurité et du bien être publique, soit de ses usages destinés à des fins domestiques, commerciales, industrielles, agricoles, récréatives et autres, soit de la faune sauvage et aquatique (Galaf et Ghannam, 2003).

On peut alors considérer une eau comme " eau usée ou polluée " lorsque son état et sa composition, sont modifiés par les actions anthropiques dans une mesure telle qu'elle se prête moins facilement à toutes ou certaines des utilisations auxquelles elle peut servir à l'état naturel (Mamadou, 2003). La pollution de l'eau se caractérise par la dégradation de l'aptitude de l'eau à un emploi déterminé (notamment pour la consommation humaine) [23].

Aujourd'hui, on parle de plus en plus des notions d'eaux claires, d'eaux grises et d'eaux noires :

- ✓ Les eaux claires sont synonymes des eaux pluviales collectées dans les réseaux d'assainissement.
- ✓ Les eaux noires sont celles de vanne en anglais black water sont issues des appareils d'élimination domestiques appelés toilettes à chasse d'eau (Langevin *et al.*, 1997).
- ✓ Les eaux grises sont toutes les eaux provenant des ménage (lavabo, lessiveuse, baignoire...) ; excepté les eaux de toilette.
- ✓ Les eaux domestiques sont constituées par les eaux des vannes et les eaux issues essentiellement des activités ménagères. Autrement dit, les eaux domestiques regroupent les eaux noires et les eaux grises. Ces eaux sont riches en matières organiques biodégradables.
- ✓ En fin Les eaux industrielles proviennent essentiellement des activités industrielles. Elles contiennent très souvent des composés nocifs à l'environnement. En effet, divers métaux lourds (cadmium, zinc, plomb, chrome, mercure), des composés organiques synthétiques non ou difficilement

biodégradables, des graisses, y sont présents souvent en grande quantité (Mamadou, 2005).

I. L'ORIGINE DE LA POLLUTION DES EAUX

La dispersion des polluants dans l'environnement est un phénomène complexe ; il ne se limite pas à un seul endroit, mais se propage partout, il affecte généralement les ressources d'eaux superficielles et souterraines ainsi que les sols traversés par ces eaux (Antoine et Dominici, 1975). Outre les déficiences dans la gestion de la pollution et des eaux pollués restent aussi l'un des principaux facteurs causant la dégradation de l'eau de l'environnement et de transmission des maladies surtout humaine (Hartani, 1998).

A l'origine de la pollution de l'eau, il peut y avoir soit des phénomènes naturels (par exemple l'érosion naturelle des sols qui met en suspension dans l'eau des particules de terre et de sable ce qui diminue la limpidité de l'eau) (Galaf et Ghannam, 2003), soit des activités humaines : l'urbanisation, l'industrie et l'agriculture (AEE, 1999 ; Margat et Vallée, 1999) ; les deux pouvant aisément se combiner.

En terme de pollution due à l'homme (pollution anthropique), on distingue trois types d'activités :

A. Les activités domestiques

Les activités domestiques contribuent généralement à une pollution urbaine due principalement aux rejets domestiques, elle est dans ce cas liée aux grandes concentrations urbaines. Cette pollution est causée également par les polluants urbains représentés par : les déchets domestiques, les eaux d'égouts et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération. Le flot déversé est très variable en fonction de l'importance de l'agglomération et de son activité.

Dans l'égout, on trouve également les excréments, les restes d'aliments, les déversements d'abattoirs, les déversements hospitaliers, les lessives, les détergents, les insecticides, les hydrocarbures, les déchets de la petite industrie et divers produits toxiques (Galaf et Ghannam, 2003). Elles sont chargées en microorganismes généralement dangereux pour la santé [13]. Selon Haddad (2004) et Chocat (1997) les eaux usées domestiques contiennent, par 100 ml, 10^6 - 10^{10} germes de coliformes fécaux, 10^5 - 10^7 germes de streptocoques fécaux, 10^3 - 10^4 germes de *Salmonella* et 4 à 460 virus entériques auxquels on

peut ajouter les *Pseudomonas* (10^3 - 10^4 /100 ml), les Vibrions (*choléra* et *parahaemolyticus*), etc.

Pour les matières fécales et les urines humaines 30-45 kg environ de matières fécales humides sont produites par personne et par année, donc une moyenne de 10-15 kg de matières sèches fécales par année (Aounallah, 2007). Selon Kafi-Benyahia (2006), la production journalière moyenne par habitant d'urine et de matières fécales est respectivement de l'ordre de 1060 ml/hab/j et 112g/hab/j. D'autre part, (Almeida *et al.*, 1999) donnent les masses de matières en suspension, de matières organiques et azotées pour 1ml d'urine et 1g de matière fécale (Tab. 17).

Tab. 17 : Charge des excréments humains en masse de MES, de matières organiques et azotées (Aounallah, 2007).

Mg	1 g de matière fécale	1 ml d'urine
MES	208	21
DCO	287	17,5
N- NH_3	1,5	2,49
N- NO_3	0,03	0,012

Ces données indiquent une production individuelle allant de 84 à 117 l/hab. /j. selon le type d'usage, les toilettes contribuent également fortement à l'apport en eaux usées, suivies des bains et des douches. On peut donc résumer le taux de ses éléments produit par une eau usée de type domestique dans le Tab. 18.

Tab. 18 : Les constituants générales d'une eau résiduaire urbaine (Kafi-Benyahia, 2006).

Paramètres	Concentration moyenne (mg. l ⁻¹)	Quantité journalière rejetée par habitant (g)
MES	300 – 600	130
MVS	120 – 400	100
DBO ₅	100 – 500	80
DCO	200 – 1200	200
COT	50 – 300	40
Azote total (N)	50 -100	15
Phosphore total (P)	10	5

Ces matières fécales sont également chargées en matière azoté sous plusieurs formes : organique, ammoniacale et minérales (le nitrite et surtout le nitrate). La concentration moyenne en nitrate rencontrée dans les eaux usées domestiques est d'environ 50 mg/l (ou environ $8.10^2 \mu \text{mol/l}$), concentration qui est équivalente à celle rencontrée dans les rejets

unitaires de temps de pluie (Chocat, 1997). En effet, le nitrate peut se former par oxydation de l'azote gazeux en temps de pluie (foudres), comme il peut provenir de l'oxydation (nitrification) de l'ammoniac ou du nitrite en milieux oxygénés (Haddad, 2004; Chocat, 1997).

En plus de matières azotées, on trouve des concentrations moyennes en phosphore situées entre 10 et 20 mg/l, dont la moitié proviendrait des détergents qui contiennent 20 à 40 % de phosphate (Haddad, 2004; Chocat, 1997). Le phosphate peut aussi provenir de la minéralisation de la matière organique comme il peut être adsorbé sur les particules en suspension et réalimenter la colonne d'eau en phosphore durant les périodes estivales (Haddad, 2004). Une teneur en phosphate supérieure à 0,025-0,05 mg/l ($\sim 0,8$ -1,6 $\mu\text{mol/l}$) accélérerait le processus d'eutrophisation qui se caractérise par la prolifération de micro-algues phytoplanctoniques ou de macro-algues benthiques (Chocat, 1997 ; Lerond, 2003).

Ainsi, la pollution journalière d'une personne utilisant 150 à 200 litres d'eau par jour, est évaluée à :

- 70 à 90 grammes de matières en suspension,
- 60 à 70 grammes de matières organiques,
- 15 à 17 grammes de matières azotées,
- 4 grammes de phosphore,
- plusieurs milliards de germes pour 100 ml (Haddad, 2004; Rodier, 1984).

Donc la charge polluante en MES, en matières oxydables en azote et phosphore dans les eaux domestiques est très variée en fonction du type d'usage (eaux de vannes, eaux de cuisine...etc.) (Aounallah, 2007).

La population de la commune de Oued-Zénati estimée à 37744 habitants en 2007 donne un taux d'eau usée équivalent à 3640 m³/jour (Fig. 19) et une pollution produite estimée à :

- ✓ 123445 grammes de matières en suspension ;
- ✓ 105810 grammes de matières organiques ;
- ✓ 26452.5 grammes de matières azotées ;
- ✓ 7054 grammes de phosphore .

Sans oublier la pollution produite par l'établissement sanitaire qui est de l'ordre de 29m³/jour d'eau usée, contenant des produits chimiques (médicaments, détergeant...) et des

matières organiques et inorganiques, et qui sont directement rejetés dans l'oued. Avec 8 points de rejet, le taux de la pollution que reçoit l'Oued-Zénati deviens élevé.

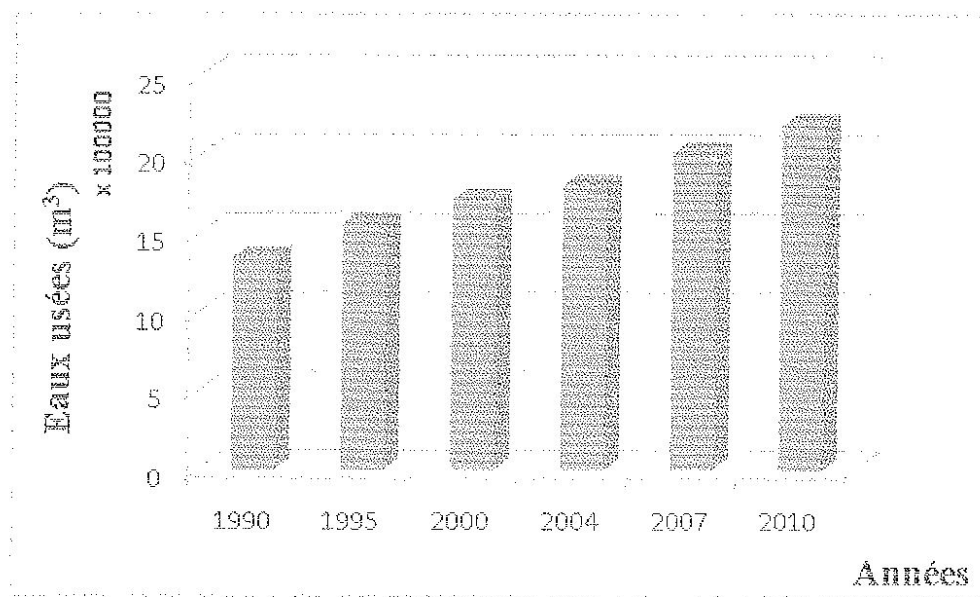


Fig. 19 : Evolution des rejets domestiques urbaines à Oued-Zénati (en m³)

(Source : DGHWG, 2008)

B. Les activités industrielles et artisanales

Partout dans le monde, le développement de l'industrialisation s'est accompagné de l'extraction des substances minérales hors de leurs gisements naturels et de leur distribution. Selon leur concentration, nombres d'entre elles ont subi des transformations chimiques par le biais de procédés techniques, pour finalement passer, finement dispersées et en solution, dans l'eau, la terre, l'air et donc la chaîne alimentaire via les effluents, les égouts, les décharges et les ordures [29]. Les activités des installations industrielles et artisanales peuvent donc être à l'origine de pollutions classiques, nutritives (phosphore, nitrates), toxiques, bactériologiques et thermiques (Murielle, 2001), et ses rejets liquides véhiculent en générale une pollution très importante, il s'agit de différents déchets provenant surtout des industries installées au niveau du rivage à la fois pour se débarrasser des déchets directement et pour faire refroidir leurs machines (Industrie alimentaire, Industrie agricole, Tannerie et textile, Papeterie, Industrie physique, Industrie chimique, Industrie pétrochimie...etc).

Parmi les substances rejetées par ces activités, on trouve les métaux, en particulier les métaux lourds, et d'autres substances chimiques [29].

A Oued-Zénati on ne trouve pas des grandes installations industrielles, mais des petites activités industrielles et artisanales :

- Usine de production de brique à Bordj Sabbat.
- Les poulaillers dans la commune d'Oued-Zénati.
- Usine de production des pâtes dans la commune d'Oued-Zénati.

Aussi, ces dernières années, la commune d'Oued-Zénati, est devenue un grand chantier rassemblant des travaux de construction et de réparation des infrastructures surtout les routes et les bâtiments. Ces activités sont à la cause d'une pollution importante qui sera logiquement transporté par ruissèlement à l'oued.

C. Les activités agricoles

L'agriculture, l'élevage et l'aviculture sont des activités responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines (Galaf et Ghannam, 2003). La pollution causée par ces activités survient quand les cultures sont traitées en excès, dont les engrais et les pesticides (herbicides, insecticides et fongicides) représentent une menace pour la qualité des eaux s'ils sont appliqués en période de fort lessivage des sols, ils ne profitent alors pas aux cultures mais sont directement infiltrés dans les sols ou évacués vers les cours d'eau [13]. Il est admis qu'une fertilisation minérale se solde par un accroissement des rendements mais les doses élevées appliquées, généralement supérieures aux besoins réels des cultures, génèrent des excès d'azote qui peuvent entraver la production agricole par plusieurs mécanismes et polluer l'environnement (Galaf et Ghannam, 2003). Pour les excréments des animaux, ils sont lessivés par les pluies, et peuvent être amenés à contaminer un point d'eau.

Pour la commune d'Oued-Zénati où l'agriculture occupe une part très importante par rapport aux autres branches d'activités (88 %), le caractère rural de la population est derrière le nombre élevé des éleveurs, ce qui provoque une forte utilisation des engrais et des produits phytosanitaires et un taux élevé des excréments d'animaux, augmentant ainsi le taux de la pollution dans les ressources hydriques que se soit souterraines ou superficielles.

Tous ces activités peuvent être une origine de pollution, mais ne le sont pas obligatoirement si des mesures appropriées de précaution et d'épuration des rejets sont mises en place. De plus, la nature possède en elle-même une certaine capacité de dépollution. En

revanche, par lessivage avec la pluie, toute pollution va (si elle persiste) soit s'infiltrer dans les sous-sols, soit se retrouver dans un cours d'eau et finir dans un barrage, un lac ou en mer [13].

II. LES TYPES DE POLLUTION

On distingue globalement quatre groupes de polluants, définies selon leur nature :

II.1. polluants " physiques "

Ces polluants sont généralement visibles. Ils sont présentés par les déchets flottants (plastiques, bouteilles, etc.) ou ceux qui se retrouvent au fond de l'eau (boîtes de conserves, bouteilles cassées...), le sable ou les argiles en suspension qui troublent l'eau, etc. [13]. Il peut s'agir d'un rejet d'eau douce qui fera modifier la salinité du lieu, d'un rejet d'eau réchauffée ou refroidie (par une centrale électrique ou une usine de regazéification de gaz liquide), d'un rejet liquide ou solide de substances modifiant la turbidité du milieu (boue, limon...), d'une source de radioactivité... La plupart du temps, un rejet n'est jamais une source unique et les différents types de pollution sont mélangés et agissent les uns sur les autres (effet de synergie). Ainsi, un égout rejette des déchets organiques, des détergents dont certains s'accompagnent de métaux lourds (pollution chimique), des micro-organismes (pollution biologique), le tout dans de l'eau douce (pollution physique) [7].

On parle donc d'une pollution physique lorsque le milieu aquatique est modifié dans sa structure physique par ses différents facteurs.

II.2. polluants " chimiques "

Ce sont les polluants issus de produits chimiques, donc fabriqués par l'homme [7]. Dans cette famille, on peut distinguer d'une part, les polluants organiques qui sont généralement biodégradables (matières organiques, les graisses) sauf les composés organiques synthétiques (par exemple les biphényles polychlorés), et d'autre part les polluants inorganiques qui sont généralement les plus toxiques. Les métaux lourds (Cd, Pb, Zn, Cr, Cu) provenant des activités industrielles, ainsi que des pratiques agricoles appartiennent à cette catégorie. Actuellement, on parle des micropolluants qui se définissent comme étant des composés présents dans les eaux usées, dans les boues ou dans les eaux naturelles à des concentrations extrêmement faibles de l'ordre du

microgramme (μg) ou du nanogramme (ng) par litre. On peut citer également les pesticides, les produits d'hygiène corporelle et/ou pharmaceutiques. Ces derniers s'introduisent dans les eaux par l'intermédiaire des urines, excréta ou du déversement des médicaments dans les latrines (Mamadou, 2005).

II.3. polluants " organiques "

Ces polluants sont issus de la matière vivante, qu'elle soit végétale ou animale et sont souvent apportées par des rejets des eaux usées domestiques ou industrielles et des rejets de sites d'élevages [13].

Cette pollution perturbe généralement l'équilibre biologique : l'activité des bactéries augmente, elles consomment de l'oxygène, par conséquent la disponibilité de cet oxygène dans l'eau diminue pour les espèces vivantes (Thierry *et al.*, 2004).

Cette pollution se caractérise par :

- ✓ La demande chimique en oxygène (DCO), qui représente la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation par voie chimique des substances polluantes ;
- ✓ La demande biochimique en oxygène sur cinq jours (DBO_5), qui exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques contenues dans l'eau par les micro-organismes du milieu ;
- ✓ Le carbone organique total (COT), qui représente la teneur en carbone liée à la matière organique (RMC, 2004).

II.4. polluants " microbiologiques "

La pollution microbiologique des eaux se traduit par une forte contamination par de nombreux agents pathogènes (François, 1995). Ainsi, certains virus et protozoaires qui peuvent infecter l'homme et lui cause des maladies telles que la salmonellose, la shigellose et la poliomyélite (Mamadou, 2005). Ces agents soulèvent dans bien des cas de redoutable problèmes d'hygiène publique qui ne sont pas limité aux seuls pays du tiers-monde (François, 1995) et proviennent généralement des excréta des porteurs sains ou des malades, mais aussi des animaux (déjections animales des élevages) et véhiculés par les rejets domestiques ou industrielles. C'est donc la catégorie de polluants de l'eau la plus dangereuse [13].

III. LES CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES

Les eaux usées constituent un système complexe avec une panoplie de constituants dont la détermination et le dosage de tous les éléments s'avèrent presque impossibles. C'est ainsi que certains paramètres ont été choisis dans le cadre de notre travail pour caractériser les eaux usées :

III.1. Les paramètres physico-chimiques

* Le pH

Le pH (potentiel Hydrogène) est l'une des caractéristiques fondamentales de l'eau (Tandía, 2007). C'est la mesure qui donne des indications sur l'acidité ou la basicité des eaux grâce à un pH-mètre (Rodier, 1996). Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène (H^+) ou d'ions hydroxyde (OH^-) contenus dans une solution. C'est le cologarithme décimal de l'activité de l'ion H^+

$$pH = -\log a_H = -\log \gamma_H \cdot C_H$$

Avec : a_H : activité de l'ion H^+ , γ_H : coefficient de l'activité de l'ion H^+ , C_H : concentration de l'ion H^+ (mol/l).

Généralement le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Il dépend de l'équilibre calco-carbonique selon la réaction suivante : (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).



Toutes modification des concentrations en CO_2 (respiration; photosynthèse, échange air-eau) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entrainera une modification du pH (Aminot et Chaussied, 1983). Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la solution) est considérée comme neutre, et le pH a une valeur aux alentours de 7. Le pH d'une solution varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique et la quantité d'ions OH^- est supérieure à celle d'ions H^+ . Au-dessous de 7, la substance est acide ; les ions H^+ sont en quantités supérieures (Tandía, 2007).

Le pH est donc un paramètre important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau. Il intervient dans ces phénomènes avec d'autres paramètres comme la dureté, l'alcalinité, la température (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

Dans le cas d'une rivière ou un oued accédé à un rejet d'eau usée le pH s'avère ici un indice de pollution (Aminot et Chausspiéd, 1983).

• La température

La température est un des paramètres essentiels régissant les équilibres chimiques et le développement de la flore et de la faune dans les cours d'eau (Luca et Renata, 2004). C'est un caractère fondamental des milieux aquatiques, dont elles présentent des faibles fluctuations thermiques au cours du cycle annuel et *a fortiori* pendant une période de plus courte durée. En effet, l'eau possède un ensemble de propriétés physiques qui concourent à minimiser les changements de température :

- ✓ Forte chaleur spécifique
- ✓ Forte chaleur latente de fusion et d'évaporation
- ✓ Maximum de densité à 4 °C

Ce pendant, la température constitue un facteur limitant dans les eaux continentales et océaniques, la plus parts des organismes leurs sont inféodés possédant une faible tolérance aux fluctuations thermiques. De faibles changements de température peuvent exercer une influence catastrophique sur les biocénoses aquatiques (François, 1995). Ainsi, lorsqu'elle est élevée, la température s'accompagne d'une modification de la densité, d'une réduction de la viscosité, d'une augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et, d'une diminution de la solubilité des gaz. Son augmentation favorise également l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation, ce qui peut présenter un intérêt dans les stations d'épuration. Comme elle peut être nuisible pour les poissons, favoriser la mortalité de certaines espèces et le développement d'autres. Généralement, la température de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé de l'homme, l'OMS donne une valeur guide concernant la température des cours d'eaux, la limite acceptable est 25°C (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

• Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée (Tandia, 2007). Ces particules ne sont

ni à l'état dissous ni à l'état colloïdal, donc filtrables (Satin et Selmi, 1995). La teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension dans les eaux sont très variables selon les cours d'eau. Elles sont en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison et des rejets. Cependant des teneurs élevées limitent le développement de la vie aquatique en empêchant la pénétration des rayons solaires ce qui réduit les phénomènes de photosynthèse et diminuer l'oxygène dissous. A cet effet elles permettent une bonne évaluation de la qualité d'une eau (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

• La conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 1996 ; Aminot et Chausspied, 1983). Elle traduit l'aptitude que possède une eau à laisser passer le courant électrique.

Le transport des charges se faisant par l'intermédiaire des ions contenus dans l'eau, et il est logique d'admettre que la conductivité d'une eau sera d'autant plus importante que sa minéralisation sera élevée (Tandia, 2007). Sa mesure donne une indication précise sur la concentration totale en sels dissous et sa comparaison avec celle de l'eau potable peut indiquer si les apports sont importants ou non (Mamadou, 2005).

La conductivité C est l'inverse de la résistivité R.

$$C = \frac{1}{R}$$

L'unité de conductivité utilisée en chimie des eaux est le micro Siemens "µS/cm"

La relation entre la conductivité et la résistivité s'écrit : (Tandia, 2007).

$$\text{Résistivité}(\Omega.cm) = \frac{1000000}{\text{conductivité}(\mu S / cm)}$$

• L'oxygène dissous (OD)

L'oxygène moléculaire dissous est un paramètre important du milieu qui gouverne la majorité des processus biologiques des écosystèmes aquatiques (Aminot et Chausspied, 1983). Il se détermine *in situ* avec un oxy-mètre en donnant une mesure indirecte du degré de pollution d'une eau (Mamadou, 2005). Ainsi, comme l'oxygène dissous est très important pour le traitement biologique aérobie et pour la vie aquatique dans le cours d'eau récepteur sa concentration dans un effluent d'eaux usées doit être adéquate (Badham, 2003).

Généralement la concentration d'OD est la résultante des facteurs physiques, chimiques et biologiques suivants :

- ❖ Echange à l'interface air-eau ;
- ❖ Diffusion et mélanges au sein de la masse d'eau ;
- ❖ Utilisation dans les phénomènes de photo-oxydation ;
- ❖ Utilisation dans les réactions d'oxydation chimique ;
- ❖ Utilisation par les organismes aquatiques pour la respiration (ce qui inclut au sens large la dégradation bactérienne des matières organiques) et pour la nitrification ;
- ❖ Production *in situ* par la photosynthèse.

Souvent, il est aussi important que la concentration, le pourcentage d'oxygène par rapport à la saturation est un élément nécessaire à l'étude d'un système aquatique. Outre la dissolution de l'oxygène dans l'eau est régie par des lois physiques et dépend de :

- ✓ La pression atmosphérique ;
- ✓ La pression de vapeur saturante ;
- ✓ La température de l'eau ;
- ✓ La salinité.

Ainsi, tout procédé exclusivement mécanique d'échange eau-atmosphère, tel que l'effet du vent ; le ruissellement, tend à porter l'eau à son niveau de saturation en oxygène (Aminot et Chausspied, 1983). Ainsi, dans les meilleures conditions, autrement dit une eau froide et pure, renferme 20 mg par litre d'O₂ (Guetaf, 2008). Les processus biologiques aussi présentent généralement une influence prépondérante sur les concentrations en oxygène (Aminot et Chausspied, 1983).

• Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La D.B.O représente la quantité d'oxygène dépensée par les phénomènes d'oxydation chimique, d'une part et d'autre part par la dégradation des matières organiques par voie aérobie (Satin et Selmi, 1995). C'est donc une mesure de la consommation de l'oxygène dissous en fonction du temps selon Antoine et Dominici (1975). Elle permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution (Mamadou, 2005). La DBO₅ indique l'influence probable des eaux usées sur les cours d'eau récepteurs du point de vue de la réduction de leur teneur en oxygène. La dégradation des composés glucidiques,

lipidiques et protidiques se traduit dans un premier temps, par une décomposition des chaînes carbonées. Celle-ci commence immédiatement et dure 20 jours. Elle demande beaucoup de temps. Dans ces conditions il a été retenu conventionnellement d'exprimer la DBO en mg de dioxygène (O_2) consommé pendant 5 jours à 20°C (DBO_5). Pour être complète, l'oxydation demande un temps de 21 à 28 jours ; on obtient alors les DBO_{21} et DBO_{28} . Plusieurs facteurs influent sur la valeur de la DBO :

- ❖ Un pH hors de l'intervalle 6,5-8,5 : la DBO mesurée ne correspond alors qu'à une fraction de la DBO réelle.
- ❖ La variation de température affecte tous les processus biologiques.
- ❖ Les micro-organismes doivent être en nombre assez suffisant.
- ❖ Un milieu pauvre en sels nutritifs (dérivés azotés et phosphatés) entraîne une baisse de la DBO.
- ❖ Les substances inhibitrices ont un effet toxique sur l'activité des microorganismes.

La présence de métaux lourds comme le cuivre, le chrome, le cadmium même en quantité faible peut inhiber l'action des bactéries. Dans un milieu nettement pollué, de faibles valeurs de DBO_5 peuvent être liées à la présence d'éléments toxiques inhibiteurs (Moussa Moumouni djermaïkoye, 2005).

• Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est une mesure de toutes les matières organiques (ou presque) contenues dans les eaux, qu'elles soient ou non biodégradables (Tardat-Henry, 1992). Elle est effectuée quand la biodégradation des matières organiques ne peut se faire simplement par les micro-organismes (Antoine et Dominici, 1975). La DCO s'exprime par la quantité d' O_2 fournie par le bichromate de potassium et elle est nécessaire à l'oxydation des substances organiques (protéines, glucides, lipides...) présentes dans les eaux résiduaires. La DCO c'est alors la demande chimique en oxygène mesurée en g/litre exprime la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder en présence de permanganate, les substances contenues dans l'eau notamment les éléments chimiques.

On a toujours un $DCO > DBO$ car les bactéries ne permettent pas d'oxyder les éléments organiques et chimiques les plus stables. Cependant, d'une façon générale, les composés azotés ainsi que certains noyaux aromatiques et certaines chaînes aliphatiques peuvent échapper à l'oxydation (Moussa Moumouni Djermaïkoye, 2005).

Les différences obtenues par la DCO et la DBO constituent une indication de l'importance des matières organiques peu ou pas biodégradables.

$$\text{Si } \frac{\text{DBO}}{\text{DCO}} \geq 0.6$$

Les substances sont dites biodégradables (Mamadou, 2005).

De même il existe une relation entre DCO et COT (Carbone Organique Total). Le rapport stoechiométrique DCO/COT d'une eau usée se rapproche du rapport des poids moléculaires du carbone et de l'oxygène.

$$\text{Selon Eckenfelder } \frac{\text{DCO}}{\text{COT}} = \frac{32}{12} = 2,66$$

D'une façon générale, le rapport varie de 1,75 à 6,65. Si ce rapport est supérieur à 1,75 mais inférieur à 6,65, on dit que les substances présentes sont non biodégradables (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

• L'Azote

C'est l'un des éléments nutritifs majeurs des êtres vivants, qui est métabolisé pour fournir essentiellement des protéines, des acides nucléiques et les polymères des parois cellulaires [15].

Différentes formes de l'azote sont à distinguer, dont la somme constitue l'azote global (N_{GL}) :

✓ Les nitrates

Les nitrates (NO_3^-) issus de la dégradation de l'azote contenu dans les matières organiques [32]. Il est leur forme la plus oxygénée [19]. Ils jouent un rôle important comme engrais, car ils constituent le principal aliment azoté des plantes, dont il favorise la croissance. Les concentrations des nitrates d'origine naturelle dans les eaux de surface et souterraines sont généralement de quelques milligrammes par litre et varient selon les saisons. Ils peuvent être aussi :

- ❖ D'origine diffuse : entraînement des nitrates provenant des engrais minéraux ou organiques non utilisés par les plantes,

❖ **D'origine ponctuelle** : rejets d'eaux usées domestiques, agricoles ou industrielles [25].

Les nitrates constituent un danger pour la faune et la flore lorsqu'ils sont présents en quantité trop importante. Ils participent à la croissance des végétaux dans l'eau, étouffant les autres organismes vivants et provoquant ce que l'on appelle un phénomène d'eutrophisation [2]. On estime qu'ils n'induisent pas de développement d'algues gênantes en dessous d'une teneur de 2 à 5 mg/l dans le milieu récepteur [15].

Actuellement, l'accroissement des teneurs en nitrate dans les ressources en eau devient de plus en plus un problème pour l'approvisionnement en eau potable. D'un point de vue sanitaire, leur présence dans l'organisme humain pourrait provoquer des troubles (hypertension, anémie, infertilité, troubles nerveux, ...), auxquels s'ajoutent des présomptions sur leur pouvoir cancérigène et leur implication dans des cas de cyanoses, notamment chez les nourrissons. Une eau chargée en nitrates (50 à 100 mg/l) est déconseillée aux femmes enceintes et aux nourrissons. Le nitrate en lui-même n'est pas très toxique. Sa toxicité vient de la chaîne de réaction : Nitrate - Nitrite - Nitrosamines.

En effet, l'accroissement des teneurs en nitrate dans l'eau provoque également un impact sur l'environnement causant avec d'autres substances telles que les phosphates des déséquilibres des écosystèmes aquatiques, continentaux ou littoraux [25].

✓ Les nitrites

Les nitrites (NO_2^-) représentent une forme oxygénée de l'azote. Cet anion est peu stable et s'insère dans le cycle de l'azote entre l'azote ammoniacal (NH_4^+) et l'azote nitrique (NO_3^-) [19]. Ils peuvent être présents dans l'eau sous forme non ionisée d'acide nitreux (HNO_2) ou ionisée (NO_2^-). La première forme, qui apparaît dans certaines conditions de température et de pH est la plus toxique pour les organismes vivants : elle intervient dans le phénomène de méthémoglobinémie et dans la production soupçonnée de nitrosamines. Dans le milieu naturel, sa toxicité se manifeste à faible dose, en particulier chez les salmonidés [15]. Chez l'homme les risques liés à la formation de nitrosamines, à savoir la survenue de cancers, sont actuellement moins bien établis.

❖ Concentration guide dans les eaux destinées à la consommation humaine : 0,1 mg/l,

- ❖ Concentration maximale admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine : 1 mg/l,
- ❖ Concentration supérieure à 1 mg/l : signe de pollution. Il convient de réaliser une analyse microbiologique si elle n'a pas été déjà pratiquée [27].

On peut trouver des nitrites par défaut d'oxygène dissous dans le milieu. Leur présence d'origine naturelle est rare. A de fortes concentrations, elle indique une pollution d'origine industrielle ou un lessivage de terres agricoles [33].

✓ L'Azote ammoniacal (NH_4^+)

L'azote ammoniacal se trouve dans les eaux sous forme ionisée (NH_4^+), peu néfaste vis-à-vis de la faune aquatique, ou sous forme hydratée (NH_3) qui en revanche peut entraîner de graves conséquences sur les milieux récepteurs du fait de sa toxicité ([15] ; [1]).

L'azote ammoniacal un indicateur d'efficacité du traitement de l'eau. Il est facilement éliminé par les stations de traitement d'eau et réagit avec le chlore en donnant des chloramines. Le niveau guide de l'azote ammoniacal dans les eaux destinées à la consommation humaine est fixé à 0,05 mg/l et sa concentration maximale admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine est de 0,5 mg/l. Pour une eau non traitée, en présence d'une concentration supérieure à 0,5 mg/l, il faut suspecter une pollution récente d'origine industrielle ou humaine [25].

L'ammoniaque provoque, même à de faibles concentrations, des lésions branchiales qui limitent les échanges entre le sang et le milieu extérieur. Souvent, il est admet comme teneur maximale en azote ammoniacal non dissocié la valeur de 0,025mg/l pour les Salmonidés, voire 0,005 mg/l afin d'écarter tout risque d'effet toxique à long terme. Le rapport $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ décroît lorsque le pH et la température augmentent. La valeur de ce rapport est donnée par la formule $1/(1+10^{(10-\text{pH}-0,03T)})$, T étant exprimé en °C. Dans la plupart des eaux superficielles, dont le pH est compris entre 6,5 et 8,5, la plus grande partie de l'azote ammoniacal se trouve sous forme ionisée, donc peu toxique [15].

✓ L'Azote kjeldahl

C'est la somme de l'ammonium et de l'azote organique [19], sa concentration maximale admissible dans les eaux destinées à la consommation humaine est fixée à 1 mg/l [26].

• Le Phosphore

Le phosphore est un élément assez rare, indispensable à tout être vivant, entrant dans les cycles énergétiques cellulaires. Comme l'azote, le phosphore est inclus dans un cycle naturel où les apports et les pertes sont limités. Le phosphore est assimilable par l'organisme sous forme oxydée : phosphates, hydrogénophosphates... ou sous forme organique [22].

Dans la nature, il provient essentiellement de la décomposition des cellules mortes qui sont minéralisées par les micro-organismes pour donner des phosphates rapidement assimilés. Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquence sanitaire. Par contre, elle favorise la croissance des algues dès lors que l'eau est exposée à la lumière : phénomène de l'eutrophisation. Les organismes tels que 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 [28].

Le phosphore se trouve dans les eaux usées sous forme de :

- ❖ Orthophosphates solubles (PO_4H_2^-);
- ❖ Polyphosphates, qui ont tendance à s'hydrolyser en orthophosphates;
- ❖ Phosphore non dissous, lié à des molécules organiques ou contenu dans les matières en suspension.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total (P_T) [15].

Les phosphates peuvent être d'origine naturelle mais leur présence dans les eaux sont plus souvent d'origine artificielle (engrais, détergents, lessives, produits chimiques, etc.) [2], et la pollution par les matières phosphorées résulte essentiellement des rejets urbains (rejets de stations d'épuration et pertes par les réseaux d'assainissement), des rejets industriels et de l'agriculture [12].

III.2. Les paramètres biologiques

Le bon état fonctionnel d'un cours d'eau n'est pas seulement caractérisé par ses paramètres physico-chimiques. Ainsi, les organismes vivants dans la rivière sont utilisés comme indicateur de la qualité de l'eau [22]. En effet, les variétés d'espèces floristiques et faunistiques présentes dans le milieu, caractéristiques de la richesse spécifique d'un site, peuvent être utilisées comme indicateur de son bon fonctionnement. Ces espèces sont

sensibles aux différentes pollutions et leur cycle de vie peut en être affecté (reproduction, développement...).

Il existe 3 types d'indices relatifs à des groupes d'organisme spécifiques :

✓ **L'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)**

Il est basé sur la combinaison de deux types d'indicateurs : l'abondance des taxons polluosensibles et la diversité du peuplement d'invertébrés. Une altération de la qualité de l'eau est susceptible de provoquer des modifications de la composition de cette faune.

La détermination des invertébrés permet donc d'évaluer la qualité globale du milieu. Un IBGN présente l'avantage d'intégrer sur une longue période tous les événements que le milieu a subit alors que la physico-chimie ne rend compte que des pollutions récentes. La valeur de l'indice IBGN varie de 1 à 20 :

$IB > 8$ Qualité biologique normale.

$6 < IB < 8$ Perturbation et pollution décelable.

$4 < IB < 6$ Pollution notable, stade critique.

$2 < IB < 4$ Pollution importante.

$IB < 2$ Pollution très importante [8].

✓ **L'Indice Biologique Diatomique (IBD)**

Il est calculé à partir des peuplements d'algues microscopiques sensibles aux conditions environnementales.

✓ **L'Indice Poissons – Rivières (IPR) ou le Peuplement Piscicole**

Il est établi à partir des peuplements piscicoles, en raison de la capacité qu'ils ont à intégrer la variabilité de leur environnement. La valeur de cet indice est déterminée suivant la richesse spécifique (nombre d'espèces présentes), la densité et les caractéristiques écologiques des différentes espèces qui composent le peuplement (régime alimentaire, sensibilité, etc.) ([12]; Pompidou, 2001; Murielle, 2001; [8]).

Donc la méthode des bioindicateurs invertébrés permet de diagnostiquer le degré de pollution de l'eau et de dégradation des habitats naturels (berges, fond du lit, végétation,...) dans le cours d'eau.

En complément aux origines de la pollution, on a les établissements hospitaliers. En effet, une structure hospitalière, quelle que soit sa fonction est traversée par un grand courant d'eau, variant de 400 à 1200 litres / jour / lit (Deloffre-Bonnamour, 1995; Brucker *et al.*, 1999) (250 à 350 litres pour l'hospitalisation et la technique médicale, 350 à 450 litres pour les services généraux). Ce volume d'eau considérable assure une dilution importante des nombreux effluents des services hospitaliers :

- ✓ Eaux "domestiques" (toilette des patients, eaux-vannes) ;
- ✓ Eaux issues des services de soins ;
- ✓ Eaux des services généraux (restauration, blanchisserie...) ;
- ✓ Eaux "médico-techniques" (hémodialyse, stérilisation...) ;
- ✓ Eaux techniques non hospitalières (chaufferie, climatisation...) (Emmanuel *et al.*, 2002; Brucker *et al.*, 1999).

Ces grands volumes d'eau se trouvent ensuite rejetés, ou évacués, au même titre que les rejets urbains classiques, vers le réseau d'assainissement communal sans traitement préalable, chargés de micro-organismes dont certains sont multirésistants et de produits chimiques souvent toxiques et parfois radioactifs. (Darsy *et al.*, 2002; Emmanuel *et al.*, 2004).

Ainsi, toutes les nouvelles technologies qui répondent à des progrès en matière de soins (hémodialyse, radiologie, laboratoires de hautes technologies...) ne doivent pas compromettre l'écosystème aquatique de nos rivières et de nos mers. A cet effet, l'homme a le devoir de protéger ses semblables et son environnement. Ce qu'on observe, à l'heure actuelle, c'est que les établissements de santé ne sont que partiellement mobilisés sur la gestion environnementale. Seuls, ou presque, les déchets solides font l'objet d'une gestion de flux et d'un suivi jusqu'à leur destruction, alors qu'elles doivent aussi maîtriser la gestion de leurs rejets liquides (Brucker *et al.*, 1999). Globalement, le devenir de tous les éléments présents dans les rejets liquides des établissements hospitaliers (humain ou vétérinaire) est une question émergente qui doit être abordée de manière intégrée par les différents acteurs [30].

III.3. Les caractéristiques des rejets liquides dans les établissements de santé

III.3.1. Origine des effluents hospitaliers

L'hôpital est un grand consommateur d'eau (400 à 1200 l/j) alors que dans le milieu domestique la consommation est de 150 à 200 l par habitant et par jour. A rajouter également à cette consommation d'eau, les eaux spéciales utilisées par l'hôpital comme l'eau stérile

(Darsy *et al.*, 2002; Segade, 1999). D'un point de vu qualitatif, les effluents liquides hospitaliers peuvent être classés en trois grandes catégories (Deloffre-Bonnamour, 1995; Emmanuel, 2004) :

- 1) Les rejets d'origine domestique ;
- 2) Les rejets assimilables ;
- 3) Les effluents spécifiques aux établissements de santé (Clotilde, 2008).

A. Les rejets de nature domestique et les rejets assimilables à des effluents industriels

Il s'agit des rejets destinés exclusivement à satisfaire les besoins des personnes physiques. Dans cette catégorie, on trouve : les rejets des cuisines, les rejets des produits détergents, les rejets des garages et des ateliers, ceux de la blanchisserie, de la chaufferie et de la climatisation (Darsy *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997). La pollution dans ce cas présente essentiellement un caractère physique lié à la température des effluents et à leur teneur en éléments solides [9].

* Les rejets des cuisines

La confection des repas pose principalement le problème de rejet d'eaux grasses. Celles-ci outre les problèmes de putréfaction qu'elles génèrent, provoquent des dépôts dans les canalisations et le colmatage du réseau d'assainissement (Darsy *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997). Ainsi, les règlements sanitaires prévoient la mise en place d'un bac à graisses et d'un séparateur à féculs [9].

* Les rejets de produits détergents et d'entretien

La consommation de détergents et de produits d'entretien dans un hôpital est considérable compte-tenu de l'usage intensif qu'il en est fait : blanchisserie, nettoyage des surfaces, nettoyage du matériel médico-chirurgical, toilette des patients et du personnel. Pour connaître approximativement les volumes de détergents et de produits d'entretien rejetés, il suffit de se référer aux bons de commande. Les risques de pollution par ces rejets sont surtout liés à leur nature chimique, leur caractère non biodégradable pour certaine et leur utilisation intensive (Darsy *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997).

*Les rejets des garages et ateliers

Les garages et les ateliers utilisent des produits chimiques (détergents, savons, huiles...). On peut également parler d'une pollution chimique par les rejets occasionnés, avec cependant une pollution moindre pour les ateliers, où la quantité des produits utilisés étant moins importante (Darsy *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997). A cet effet, les déchets liquides doivent faire l'objet d'une collecte spécifique. Par ailleurs, la mise en place d'un séparateur à hydrocarbures est obligatoire [10].

B. Les rejets de nature spécifique à l'hôpital

Ces rejets sont spécifiques d'une part de l'activité de soins concernant de nombreux services et d'autre part de l'activité de certains services.

B.1. Les rejets spécifiques communs aux différents services de soins

On retrouve dans cette catégorie de rejet de tout ce qui est relatif aux :

- Produits désinfectants et antiseptiques
- Rejets de germes pathogènes
- Médicaments
- Métaux lourds (mercure) (Dremont et Hadjali, 1997; Clotilde, 2008).

✓ Les rejets de produits désinfectants et antiseptiques

L'hôpital est un gros consommateur de produits désinfectants et antiseptiques, compte tenu des problèmes d'hygiène qu'on y rencontre. Les désinfectants utilisés dans les hôpitaux peuvent se classer en :

- ❖ Désinfectant couramment utilisés ;
- ❖ Désinfectant à utilisation restreinte (Emmanuel, 2004).

Les principaux produits désinfectants utilisés pour la désinfection des sols et des surfaces ou encore pour la désinfection des instruments et des matériels sont :

- ✓ soit des produits chlorés, le plus courant étant l'eau de Javel ;
- ✓ soit des produits contenant des aldéhydes tels que par exemple le glutaraldéhyde pour la désinfection de certains matériels médico-chirurgicaux (endoscopes, fibroscopes...)

ou encore le formaldéhyde sous forme liquide employé pour la désinfection des circuits d'hémodialyse ;

- ✓ soit des produits contenant des dérivés (Deloffre-Bonnamour, 1995).

Les antiseptiques, produits chimiques utilisés pour lutter contre les infections bactériennes des peaux, des plaies sont principalement le soluté de Dakin (dérivé chloré), la bétadine et la chlorhexidine (Dremont et Hadjali, 1997).

Tous ces produits chimiques présentent un risque toxique d'une part pour le personnel du bloc et d'autre part, dans le cas d'élimination pour le personnel intervenant dans la maintenance, par exemple, des réseaux d'eaux usées et par la suite sur l'environnement (Darsy *et al.*, 2002).

- ✓ Les rejets contenant des éléments pathogènes

L'hôpital est un lieu où sont concentrés plusieurs types de germes pathogènes (Dremont et Hadjali, 1997). Elles proviennent des laboratoires d'analyses, des blocs opératoires et de l'ensemble de l'établissement [9]. Pour bien évaluer donc la qualité des effluents hospitalier, on doit évaluer d'abord la flore hospitalière, qui est composée de la flore des malades et des germes de l'environnement (sols, surfaces, matériels, eau, air...).

Ainsi, les germes pathogènes que l'on trouve également dans les eaux usées hospitalières peuvent être :

- * Des bactéries présentes dans les selles ou les urines (*Salmonella*, *Shigella*, Coliformes, Vibrions, Streptocoques, Entérobactéries...) ou des bactéries responsables d'infections nosocomiales (Staphylocoques, Streptocoques, *Pseudomonas*...).
- * Des virus (hépatites, entérovirus, rotavirus...) : Les marqueurs de la pollution virale des eaux de surface, tels que les entérovirus et d'autres virus tels les adénovirus, ont été identifiés dans les effluents hospitaliers (Emmanuel *et al.*, 2002).
- * Des parasites (Amibes, *Taenia*, *Ascaris*, Champignons...) (Darsy *et al.*, 2002).

Tous ces micro-organismes viables, ou leurs toxines qui, en raison de leur nature, leur quantité ou leur métabolisme, causent des maladies chez l'homme ou chez d'autres organismes vivants (Alaoui, 2004). De plus, du fait de l'utilisation quelquefois intensive d'antibiotiques à l'hôpital certaines souches bactériennes peuvent développer des facultés de polyrésistance aux antibiotiques. Le danger de pollution peut donc être accentué par la présence de ces germes dans le réseau d'assainissement public (Emmanuel *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997).

✓ Les rejets médicamenteux

De nombreuses études ont mis en évidence la présence de médicaments à usage humain dans les eaux de surface principalement via les effluents urbains et les effluents des établissements hospitaliers (Garric et Ferrari, 2005). Ces établissements sont très intéressants du fait de la concentration de malades, d'où l'utilisation massive de médicaments. Ils constituent un pôle d'étude très instructif où les médicaments utilisés sont très variés (Corvaisier, 2000). On trouve également, les anticancéreux, les contrastants de radios, les analgésiques, les antipyrétiques, les antibiotiques, les antiviraux, les antifongiques, les immunodépresseurs, toutes ces substances posent un problème car elles sont très hydrophiles et résistantes à la biodégradation (Antoine, 2006). Ainsi, ses principes actifs présentent plusieurs risques pour l'homme et pour l'environnement. En effet, le contact direct avec ces principes actifs provoque des risques d'ordre mutagène, tératogène et cancérogène (Darsy *et al.*, 2002).

Les consommations des médicaments peuvent bien sûr varier suivant l'établissement et les services de soins. Pour avoir une approche quantitative, il faut se référer aux feuilles de commande adressées à la pharmacie par les différents services de l'hôpital.

On distingue deux voies d'élimination des médicaments, la première et la plus conséquente concerne les excréta et les liquides biologiques, la seconde le circuit d'élimination des médicaments non utilisés et du matériel souillé. Le circuit d'élimination des médicaments par les patients peut-être représenté par le schéma suivant (Dremont et Hadjali, 1997) :

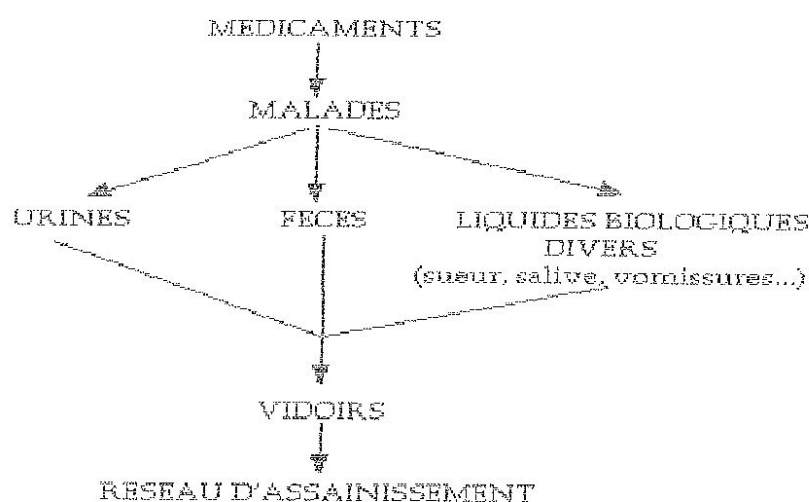


Fig.20 : Le circuit d'élimination des médicaments

✓ Les rejets contenant des métaux lourds

Les métaux lourds les plus rencontrés dans les effluents hospitaliers sont l'argent et le mercure. Le mercure c'est un métal très dangereux puisque très toxique, il est liquide à température ambiante, très utilisé en milieu hospitalier (Darsy *et al.*, 2002), peut-être retrouvé accidentellement dans les eaux usées suite à des thermomètres cassés. On trouve également du mercure dans certaines sondes gastriques, certains antiseptiques et dans la colonne des tensiomètres manuels.... En moyenne, un établissement hospitalier peut acheter 6 thermomètres par lit et par an avec des valeurs extrêmes pouvant aller de 3 à 14 thermomètres par lit et par an (Brucker *et al.*, 1999). Bien que les thermomètres de mercure ne soient plus en usage dans les hôpitaux des pays industrialisés, l'utilisation d'antiseptiques organomercuriels, facilite la présence de ce métal dans les rejets liquides des laboratoires médicaux (Cyr *et al.*, 2002). Les rejets de mercure accidentellement éliminés par le réseau d'eau usée contribuent à la contamination diffuse de trois compartiments que constituent l'eau, l'air et le sol (Darsy *et al.*, 2002).

En milieu aquatique, il est en grande partie stocké dans les sédiments, où l'action bactérienne le transforme en mercure organique (méthylmercure), ce qui a pour conséquence de le rendre biodisponible (autrement dit capable de pénétrer dans les tissus des être vivants). Généralement, les premiers organismes qui l'absorbent appartiennent au plancton. Ensuite, il est progressivement accumulé le long de la chaîne alimentaire marine jusqu'aux poissons, qui sont finalement consommés par l'homme. Ce phénomène de bioaccumulation peut être considérable pour le mercure, dont la concentration dans les poissons prédateurs peut atteindre des milliers de fois celle de l'eau (Mansotte et Jestin, 2001). La consommation régulière de poissons fortement contaminés peut provoquer des désordres neurologiques graves (Darsy *et al.*, 2002).

B.2. Les rejets spécifiques à certains services de soins

Les services concernés sont :

- ❖ Hémodialyse ;
- ❖ Radiologie ;
- ❖ Médecine nucléaire ;
- ❖ Laboratoires et Pharmacie (Darsy *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997).

✓ Le service d'hémodialyse

Les rejets de ce service sont en deux types d'une part le rejet consécutif au traitement du malade et d'autre part les rejets de désinfection des appareils. En effet, le principe des appareils d'hémodialyse fonctionne par des procédés de transfert de toxines à travers une membrane depuis le sang du patient vers le circuit de dialysat. Des rejets liquides seront donc générés et qui dans la majorité des cas se déversent à l'égout. Ces rejets sont composés à la fois de liquides biologiques (sang), de liquides chargés en produits chimiques (médicaments) et de facteurs infectieux [10]. Le second paramètre à prendre en compte concerne les protocoles de désinfection du matériel utilisant des produits chimiques tels que formol, l'eau de Javel diluée à de l'eau osmosée. Les rejets s'écoulent directement dans le réseau à l'égout (Dremont et Hadjali, 1997).

✓ Les laboratoires d'analyses et la pharmacie

Dans le cadre de leurs activités (travaux et analyses, nettoyage des appareils), les laboratoires utilisent différents produits et une très grande variété de molécules (Tab. 19) :

- **Biologiques** : du sang, des crachats, des urines ;
- **Chimiques** : des acides (acétique, lactique, citrique), des bases (soude, etc.), des solvants, des hydrocarbures benzéniques (toluène et xylène), des désinfectants (formol, alcool éthylique, eau de Javel), des colorants, des produits des services de radiologie (eaux de rinçage des clichés chargées en résidus argentiques) ;
- **Les effluents mixtes chimico-biologiques** : Ils sont composés de liquides biologiques mélangés à des réactifs chimiques lors des techniques d'analyse manuelles ou automatisées (Brucker *et al.*, 1999; Clotilde, 2008; Dremont et Hadjali, 1997). Ils constituent de ce fait une source de pollution plus ou moins importante (Corvaisier, 2000) et présentent des dangers pour l'environnement et pour l'Homme rendant nécessaire des mesures particulières d'utilisation et d'élimination.

La pharmacie utilise également dans ses activités des produits chimiques dangereux pour l'environnement et la santé publique (préparation de la teinture d'iode, désinfectants, etc.) (Clotilde, 2008).

Cependant, sa fonction de pharmacovigilance est plus apte à évaluer les risques et par conséquent à prendre des mesures adaptées pour éviter ces risques de pollution (Dremont et Hadjali, 1997).

Tab. 19 : Caractéristiques des effluents des laboratoires et risques associés (Mansotte et Jestin, 2001).

Laboratoires	Activités	Rejets polluants	Nature du risque
Microbiologie (et immunologie)	Recherche et identification des bactéries, virus et parasites	présence de germes pathogènes	à dominante infectieux
Hématologie	mesure des caractéristiques physiques et chimiques du sang	peu de substances réactives (les principaux paramètres étudiés étant les caractéristiques physiques)	Essentiellement infectieux
Anatomie pathologique	observation microscopique de tissus ou d'organes	présence de colorants et solvants, éventuellement de germes	toxique & infectieux
Cytogénétique	réalisation de cariotypes	équivalents à ceux d'un laboratoire de développement photographique	Essentiellement toxique
Biochimie	Dosage de substances contenues dans le sang, le LCR ou l'urine (parfois les selles)	présence de nombreux réactifs dont des solvants	à dominante toxique

✓ Les services de médecine nucléaire

Généralement, les hôpitaux utilisent des sources scellées et des sources non scellées.

Les sources scellées utilisées en radiothérapie ne produisent pas de déchets. Par contre, les sources non scellées utilisées dans la recherche biologique et médicale, pour le diagnostic et la thérapeutique produisent des déchets radioactifs dont la nature et l'activité sont très diverses et varient avec l'application qui est fait des radioéléments (Rodier, 1971 ; Lacronique *et al.*, 2001).

En effet, une unité de médecine nucléaire peut rejeter des effluents radio-actifs provenant :

- ❖ Des laboratoires de préparation et de manipulation ;
- ❖ Des sanitaires de l'unité ;
- ❖ Des chambres protégées réservées à l'hospitalisation des patients faisant l'objet d'une thérapie anticancéreuse (Dremont et Hadjali, 1997 ; [10]).

La liste des principaux éléments radioactifs utilisés dans un centre hospitalier est présentée dans le (Tab. 20) (Dremont et Hadjali, 1997).

Les conditions d'évacuation de ces rejets sont soumis à une réglementation précise et une autosurveillance de ces rejets doit être mise en place (analyse, registre, etc.) [10].

✓ Les services de Radiologie-Imagerie médicale

Il s'agit dans ce cas des effluents photographiques générés lors du développement des films radiologiques sur support papier ou film. La technique utilise des produits chimiques de contraste et consomme une grande quantité d'eau en particulier pour les bains de rinçage. On retrouve ce pendant, les révélateurs, les fixateurs, les sels d'argent (en quantité variable suivant l'utilisation qui a été faite), et divers éléments contaminants (acide acétique, hydroquinone, solutions contenant de 5 à 10 % de glutaraldéhyde, etc.) dans les eaux usées (Mansotte et Jestin, 2001). Ces produits sont des sources de pollution importante (Dremont et Hadjali, 1997).

Tab. 20 : Les principaux éléments radioactifs utilisés dans un centre hospitalier.

Groupe II a : Radioactivité élevée	
Iode 125	Radio-immunologie
Iode 131	Traitement de l'hyperthyroïdie
Groupe II b : Radioactivité moyenne	
Carbone 14	Radioanalyse
Cobalt 57 et 58	Dosage vitamine B12 ; Test de schilling
Chrome 51	Mesure des volumes sanguins
Fer 59	Etude du métabolisme du Fer
Yttrium 90 Rhénium 186 Erbium 169	Synoviortèse
Phosphore 32	Traitement des polyglobulies
Gallium 67	Détection des foyers inflammatoires et infectieux
Indium 111	Marquage des cellules sanguines, Scintigraphie de la moelle rouge
Thallium 201	Scintigraphie myocardique
Groupe III : Radioactivité faible	
Soufre 35	Recherches
Technétium 99	Exploration fonctionnelle et scintigraphies
Tritium	Exploration du métabolisme de l'eau
Xénon 133	Exploration pulmonaire

Après avoir définie les différentes origines des effluents hospitaliers on peut déterminer facilement leurs propriétés que se soit microbiologiques ou physico-chimiques, qui sont, globalement, très proches de celles des eaux usées domestiques ou industrielles. Avec une biodégradabilité légèrement plus faible et une toxicité sensiblement plus élevée.

III.3.2. Caractéristiques physico-chimiques

Une trentaine de paramètres physico-chimiques a été recherchée dans les effluents en sortie des hôpitaux, depuis les plus généraux - classiquement utilisés pour décrire la pollution domestique et industrielle (matières en suspension, oxydables ou inhibitrices, etc.) jusqu'à certains composés toxiques pour l'homme et/ou l'environnement dont la recherche dans les rejets industriels est courante (Mansotte et Jestin, 2001). Selon Dremont et Hadjali (1997) les principaux paramètres retenus par la majorité des agences de l'eau pour les effluents des établissements hospitaliers sont :

- MES (matières en suspension) ;
- MO (matières oxydables : DCO, DBO, DBO 5) ;
- NR (azote réduit) ;
- P (matières phosphorées) ;
- AOX (composés organo-halogénés absorbables sur charbon actif)
- NO (azote oxydé) ;
- pH ;
- Température.

En plus de ces paramètres physico-chimiques, compte tenu de la spécificité des rejets hospitaliers, la recherche de certaines substances polluantes est primordiale. En effet, la recherche des métaux lourds donne ainsi une idée plus concrète et plus précise sur le type de pollution engendrée par les effluents hospitaliers (Dremont et Hadjali, 1997). Ces paramètres présentent, en générale, de très fortes fluctuations en fonction des hôpitaux, énoncée par Hartemann *et al.* (2005). Plusieurs éléments peuvent expliquer ce fait :

- Les hôpitaux ont des pratiques et usages différents en fonction de leurs spécialités médicales et de leurs contextes (géographique, socioéconomique) ;
- Les pratiques et usages évoluent au cours du temps, il s'agit d'accidents ponctuels et des erreurs de transcription.

Leprat *et al.* (1996) ont d'ailleurs montré la grande variabilité de la charge polluante au sein d'un même établissement, selon le lieu de prélèvement.

Concernant des paramètres plus spécifiques, la présence d'AOX et désinfectants (dont des molécules chlorées) est en concentrations élevées. Ces données sont confirmées par les études de (Leprat, 1998 ; Jolibois *et al.*, 2002). Des concentrations parfois supérieures à 10 mg/l ont été dosées (Garric et Ferrari, 2005). Selon Garric et Ferrari (2005), Steger-Hartmann *et al.* (1999), ce sont les agents de contraste iodés aux rayons X ainsi que certains solvants, désinfectants, détergents et médicaments chlorés qui contribueraient à l'existence de fortes concentrations en AOX dans le réseau d'assainissement. Ainsi, selon Hartemann *et al.* (2005), la charge en désinfectants peut varier entre 2 et 200 mg/l selon la taille de l'établissement et sa consommation en produits désinfectants. Des concentrations de glutaraldéhyde allant de 0,50 à 3,72 mg/l ont d'ailleurs été mesurées dans les effluents d'établissement de santé (Leprat, 1998).

Les métaux lourds (argent, cuivre, zinc, plomb, mercure, chrome et nickel) marquent une présence ponctuelle dans les effluents hospitaliers. Selon Garric et Ferrari (2005), les concentrations en métaux lourds seraient du même ordre de grandeur dans les effluents domestiques sauf pour le platine, le mercure et le gadolinium qui seraient en concentrations plus importantes dans les effluents hospitaliers.

III.3.3. Caractéristiques microbiologiques

L'étude de la qualité microbiologique des effluents hospitaliers consiste à :

- Effectuer le dénombrement d'un large panel d'indicateurs bactériens ;
- Isoler les différentes colonies présentes, au moyen de milieux de culture spécifiques ;
- Identifier les souches correspondantes, au moyen de tests biochimiques spécifiques (galeries API) ;
- Evaluer la résistance de ces souches vis à vis de différents antibiotiques.

D'un point de vue quantitative, les travaux de caractérisation, de la microbiologie des effluents hospitaliers, révèlent des faibles concentrations de la flore bactérienne, sur ce plan, les effluents sanitaires sont globalement moins chargés que les eaux usées urbaines (Leprat, 1999) (en moyenne 10^4 et 10^6 germes/ 100ml) (Chedevergne, 1995 ; Dremont et Hadjali, 1997; Maddalena, 1993) soit une flore totale constante de 3×10^5 germes/ 100ml pour ces

rejets (Emmanuel, 2004) si on les compare à celle de 10^8 /100ml généralement présente dans les rejets liquides communes (Leprat, 1988 ; Emmanuel, 2004 ; Clotilde, 2008).

Selon Emmanuel *et al.* (2004; 2005) des concentrations de 2×10^3 et 2×10^6 coliformes fécaux par 100 ml, ainsi des concentrations de $2,05 \times 10^7$, $1,92 \times 10^7$ et $9,10 \times 10^5$ germes par 100ml peuvent être respectivement décomptés dans les effluents hospitaliers pour les coliformes totaux, *E. coli* et les streptocoques fécaux. Le danger résiderait plus dans la présence de certaines bactéries multirésistantes aux antibiotiques et de certaines souches typiquement hospitalières (SFHH, 1993; Leprat, 1998; Schwartz *et al.*, 2003; Emmanuel *et al.*, 2005; Hartemann *et al.*, 2005).

Pour Clotilde (2008), les germes témoins représentent assez fidèlement le risque lié à la présence de pathogènes, dont les caractéristiques de résistance restent finalement assez banales dans le contexte hospitalier, si l'on excepte une résistance assez préoccupante aux quinolones.

Cette tendance se renforce lorsque les méthodes mises en œuvre sont plus spécifiques (dénombrement d'*E. coli* et des entérocoques) (Mansotte et Jestin, 2001). En utilisant des entérocoques, des staphylocoques, des Enterobacteriaceae et des bactéries hétérotrophiques en tant qu'indicateurs de présence des bactéries multirésistantes dans les biofilms formés dans le réseau d'assainissement hospitalier, Schwartz *et al.* (2003) ont relevé une importante présence de germes multirésistants aux antibiotiques. Il est très probable que ces observations soient liées à la dilution et à la présence de désinfectants en quantité importante, ainsi que d'antibiotiques, dans les effluents hospitaliers par rapport à les effluents urbains (Mansotte et Jestin, 2001; Clotilde, 2008).

CHAPITR III : MATERIEL ET METHODES

I. MATÉRIEL ET MÉTHODES

I.1. Points de prélèvements

En raison de la complexité du lit de l'Oued-Zénati, de la multiplicité et de la diversité des rejets déversés dans ce dernier, il nous a été très difficile de faire un choix judicieux des points de prélèvements. De ce fait, trois points de prélèvement ont été aléatoirement choisis :

- ✓ Un premier pris comme témoins est réalisé en amont de la commune de Ain Regada qui pourrait nous donner des renseignements sur la qualité de l'eau de l'oued (Site 1 : P1) ;
- ✓ Le deuxième est choisi juste à la sortie de la commune de Oued-Zénati, là où se collecte les rejets des eaux usées (Site 2 : P2) ;
- ✓ Le dernier est à 7 km de la commune de Oued-Zénati (à Lama), lieu riche en hélophytes "Scripes, Typhas, Phragmites...." (Site 3 : P3). (Fig. 21)

I.2. Échantillonnage

L'échantillonnage est primordial car il conditionne la pertinence de l'analyse. Il doit être de qualité mais également représentatif de ce que l'on veut analyser [35]. Le prélèvement des échantillons doit donc se faire d'une manière appropriée si l'on veut que l'échantillon soit représentatif de l'eau que l'on veut analyser [3].

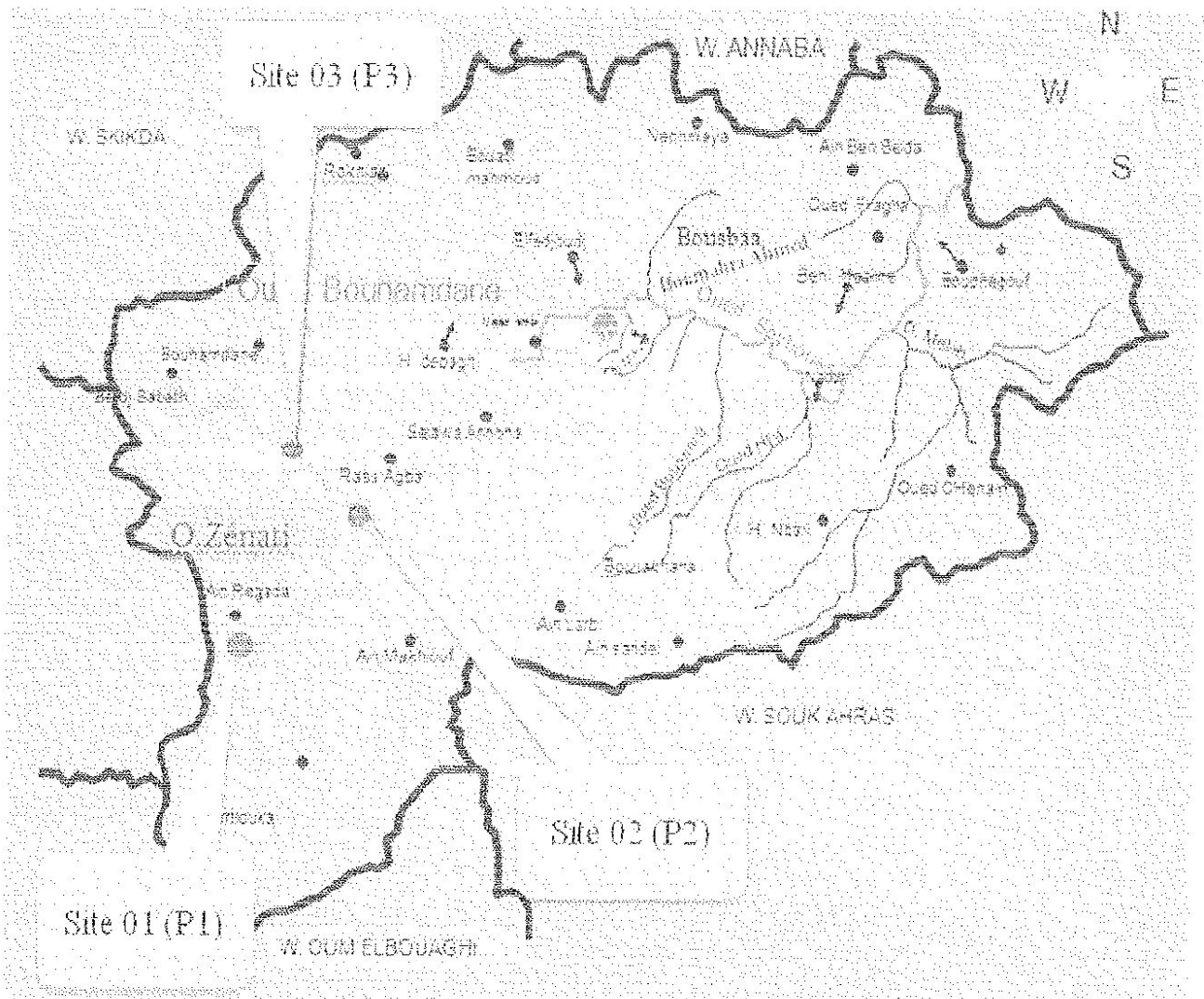
Les prélèvements ont été effectués en prenant des précautions d'hygiène. Les échantillons ont été prélevés à une profondeur d'environ 30 cm et à 1 m de la berge (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

Les échantillons d'eau ont été prélevés durant neuf campagnes. Un prélèvement mensuel est alors effectué au niveau de chaque point pour la période allant du mois de septembre 2008 au mois de mai 2009 (à raison de 9 prélèvements par site ; soit un total de 27 prélèvements). Ils sont réalisés, dans la même journée, de l'amont vers l'aval à partir de 8 h du matin jusqu'à 11 h 30 min.

I.2.1. Prélèvement pour les analyses physico-chimiques

Le prélèvement est réalisé selon le protocole suivant :

Avant le prélèvement, les flacons ont été soigneusement nettoyés et rincés avec de l'eau distillée. Au moment du prélèvement *in situ*, les flacons préalablement lavés ont été rincés trois fois avec l'eau à prélever.



Thème 21 : L'impact des énergies renouvelables

Pendant le prélèvement, le flacon est plongé jusqu'à 30 cm de profondeur, goulot dirigé à contre-courant, selon les recommandations de Rodier (1984). Le flacon rempli d'eau est retiré du plan d'eau et fermé hermétiquement. Les échantillons soigneusement étiquetés sont placés dans une glacière puis conduit au laboratoire (Derwich *et al.*, 2008). L'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible. Les éléments comme les nitrates etc.... peuvent subir des modifications lors de la conservation (Coulibaly, 2005).

1.2.2. Prélèvement pour les analyses microbiologiques

Les échantillons sont prélevés à l'aide de flacons en verre pyrex munis de bouchons à vis, stériles (Derwich *et al.*, 2008). Le flacon débouché et immergé complètement à une profondeur de 30 cm en position verticale renversée en le tenant par le fond : il est alors retourné jusqu'à ce que l'ouverture soit légèrement plus haute que le fond et dirigée dans le sens contraire du courant. Après le prélèvement, les flacons doivent être soigneusement rebouchés. De toutes façons, il faut éviter de heurter les rives, le fond, la proximité de la surface (Guiraud, 1998).

Les échantillons sont transportés dans une caisse isothermique (4-6 °C) jusqu'à leur arrivée au laboratoire (Haddad, 2004). La teneur des échantillons en coliformes se modifie entre le moment du prélèvement et celui d'examen. Il est important donc de procéder à l'analyse le plus rapidement possible, de préférence dans l'heure suivante et en aucun cas après 24 heures (Coulibaly, 2005).

1.3. Méthodes analytiques utilisées

1.3.1. Les méthodes de détermination des caractéristiques microbiologiques

De nombreuses bactéries pathogènes peuvent se trouver dans l'eau par souillure de cette dernière, par des excréments d'animaux et humains ou par des eaux d'égouts (Rajonson *et al.*, 1992). Cependant, les eaux destinées à l'alimentation humaine, mais aussi celles qui sont destinées à l'alimentation animale, à l'arrosage des légumes et des fruits, à la baignade et à un grand nombre d'autres usages doivent être exemptes de tous organismes pathogènes ou opportunistes susceptibles de provoquer des troubles de santé chez ceux qui les consommeraient ou les utiliseraient [14]. En effet, une analyse microbiologique de ses eaux est plus qu'une obligation.

Actuellement et malgré le développement des méthodes moléculaires, il n'est toujours pas possible de détecter de manière exhaustive, dans un échantillon d'eau, l'ensemble des microorganismes présents. Il est également impossible de baser la surveillance de la qualité de l'eau sur la détection des germes pathogènes eux-mêmes pour les raisons suivantes :

- ✓ La très grande variété et diversité des micro-organismes pathogènes qui peuvent être présents dans l'eau (virus, bactéries, protozoaires,...) ;
- ✓ La faible abondance de chaque espèce de pathogène (nécessité de concentrer de très grands volumes d'eau pour les détecter) ;
- ✓ L'inexistence de méthodes standardisées et rapides pour la détection de tous ces micro-organismes pathogènes (Tamara, 2006).

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux est en conséquence basée sur le concept de germes dits "indicateurs". Ces indicateurs (ou bactéries indicatrices de contamination) n'ont pas nécessairement par eux-mêmes un caractère pathogène, mais leur présence indique l'existence d'une contamination par des matières fécales et leur abondance est une indication du niveau de risque de présence de micro-organismes pathogènes (Tamara, 2006). Cependant, la recherche de germes pathogènes ou opportunistes se heurte à un certain nombre de difficultés parmi lesquelles l'impossibilité ou la grande difficulté de recherche et de caractérisation d'un certain nombre de germes (*Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Vibrio*, virus de l'hépatite A, virus de la poliomyélite, rotavirus, etc.), le coût des analyses, voir leur absence de signification dans le domaine de la prévention vis-à-vis des contaminations (présence aléatoire, irrégulière, trop dépendante de conditions environnementales peu ou pas maîtrisées ou connues ou de traitements avec des agents antimicrobiens ou des désinfectants, etc.) [14].

On admet généralement que si on trouve ces germes témoins de contamination en nombre suffisant dans un milieu, c'est que ce milieu a été à un moment ou à un autre, pollué par des déjections et des excréments d'origine animale et/ou humaine. On admet également que, dès lors, la probabilité que ces matières fécales polluantes aient pu abriter des germes pathogènes de même origine est importante.

Evidemment, on retiendra les numérations de ces différents types de germes, mais aussi les variations observées et particulièrement les augmentations brusques qui signalent remarquablement une altération évidente de la qualité microbiologique d'un milieu aquatique [14].

Différents groupes de bactéries sont utilisés comme indicateurs de contamination fécale dans différents pays et sous différentes juridictions. Les coliformes totaux et fécaux ont été

très longtemps les principaux indicateurs de contamination fécale mais aujourd'hui, *Escherichia coli* et les entérocoques intestinaux sont reconnus comme plus appropriés (Tamara, 2006), aussi les spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices (*Clostridium* sulfito-réducteurs) et les staphylocoques. Généralement l'ensemble de ces germes sont appelées germes-test de contamination fécale (GTCF) (Rajonson *et al.*, 1992). Il est cependant important de comprendre les potentialités et les limitations de ces différents indicateurs. Quelques caractéristiques des indicateurs les plus couramment utilisés sont présentées ci dessous : (Tamara, 2006)

❖ Les coliformes totaux

Les coliformes totaux (CT) appartiennent à la famille des Entérobactéries ; ce sont des microorganismes en forme de bâtonnets, non sporogènes, à Gram négatif, ne possédant pas d'oxydase, aérobies ou anaérobies facultatifs (El Blidi *et al.*, 2006), capables de croître en présence de sels biliaires, ou autres agents de surface ayant des propriétés inhibitrices de croissance analogues et capables de fermenter le lactose avec production d'acide (ou d'aldéhyde) et de gaz en 24 à 48 heures à la température de 37°C (DGS, 1999).

L'utilisation des bactéries de ce groupe comme indicateur de l'innocuité bactériologique de l'eau remonte presque au moment où elles ont été isolées pour la première fois dans les matières fécales, autrement dit à la fin du XIX^e siècle. Le groupe des coliformes s'est vu attribuer ce rôle d'indicateur de pollution parce que les bactéries qui en font partie sont toujours présentes dans les voies intestinales de l'homme et des autres animaux à sang chaud et qu'elles sont excrétées en grand nombre dans les matières fécales. Bien qu'au point de vue hygiène la signification de certaines souches de coliformes soit incertaine, tous les membres du groupe peuvent être d'origine fécale et l'on doit supposer qu'ils sont tels à moins qu'on ait la preuve qu'il en est autrement. Enfin, l'eau n'est pas un milieu naturel pour les coliformes et leur présence doit au moins être considérée comme une indication de pollution, au sens le plus large [3].

Les principaux genres inclus dans ce groupe sont : *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia*, ainsi la presque totalité des espèces sont non pathogènes et ne représente pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*E. coli* et de rares bactéries pathogènes opportunistes (Chevalier *et al.*, 2003a).

❖ Les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux (CF), ou coliformes thermotolérants, sont un sous groupe des CT capables de fermenter le lactose à une température de 44-44.5°C (Fournier, 2006). Dans certains tests, l'activité de la β -D-galactosidase est utilisée pour détecter les CF (Tamara, 2006). Ils sont considérés comme plus appropriés comme indicateurs de contamination fécale que les CT. Ce groupe est majoritairement constitué d'*Escherichia coli* mais comprend aussi des *Klebsiella*, des *Enterobacter* et des *Citrobacter* (Tamara, 2006).

Bien que la présence de CF témoigne habituellement une contamination d'origine fécale ; plusieurs CF ne sont d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matières organiques, tels les effluents industriels du secteur des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire. C'est pourquoi il serait plus approprié d'utiliser le terme générique " coliformes thermotolérants " plutôt que celui de CF. L'intérêt de la détection de ces coliformes, à titre d'organismes indicateurs, réside dans le fait que leur survie dans l'environnement est généralement équivalente à celle des bactéries pathogènes et que leur densité est généralement proportionnelle au degré de pollution produite par les matières fécales (Chevalier *et al.*, 2003b).

La bactérie *E. coli* représente toutefois 80 à 90% des coliformes thermotolérants détectées (Chevalier *et al.*, 2003b). Ils sont méthyle (+), acétoïne (-), citrate (-), KCN (-), possèdent une glutamate décarboxylase et qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, ainsi la bactérie *E. coli* possède l'enzyme β D-glucuronidase, où l'activité de cette enzyme est considérée comme spécifique et son détection est utilisée dans certaines méthodes d'énumération de *E. coli*.

De nombreuses études ont montrées que cette espèce était généralement associée à une source fécale. Aujourd'hui *E. coli* est considéré comme le meilleur indicateur d'une contamination récente du milieu aquatique par des matières fécales humaine ou d'animaux à sang chaud (Tamara, 2006).

❖ Les streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux (*Enterococcus* ou streptocoques D ou encore entérocoques intestinaux) sont des commensaux de l'intestin. Ils sont considérées comme un bon indicateur spécifique de la contamination fécale (Roux, 2003).

Ce sont des bactéries Gram positives, catalases (-), en forme de cocci de 0,5 à 1 μ m de diamètre. Leur GC% varie entre 33 à 44 (Lebres, 2004a). Ils peuvent être définis comme des

microorganismes capables de se développer entre 10 et 45°C à pH 9,6 et dans 6.5% de NaCl. Ils sont des microorganismes capables de se développer en aérobiose et d'hydrolyser le 4-methylumbelliferyl β -D-Glucoside en présence d'acétate de thallium, acide nalidixique et 2,3,5- triphenyltetrazolium chloride (TTC) (Tamara, 2006). Ce sont des germes exigeants : ils demandent des milieux enrichis en nutriments. Toutefois *Streptococcus* se cultive sur des milieux ordinaires mais s'y développe peu excepté pour les streptocoques fécaux [38]. Le fait que les entérocoques intestinaux survivent plus longtemps dans le milieu naturel que les *E. coli* peut constituer un avantage de ce groupe si l'on cherche à identifier une contamination fécale ancienne (Tamara, 2006).

❖ Les bactéries revivifiables

Il s'agit de l'ensemble des micro-organismes capables de se multiplier en aérobiose à des températures optimales de croissance (après 24h à 37°C et 72h à 22°C) (Kéleké *et al.*, 2004). Bien que la présence en grande quantité de bactéries revivifiables ou la microflore totale aérobie mésophile n'est, *a priori*, aucune valeur indicative, leur dénombrement dans les conditions doit être régulièrement effectué car une évolution importante, peut être représentative d'un apport contaminant (matières organiques par exemple) (DGS, 1999). Certes, il n'y a pas toujours des relations étroites entre une valeur élevée de la microflore totale aérobie mésophile et la présence de micro-organismes pathogènes, mais on considère qu'il n'y a pas de risque pour la santé si cette microflore totale est importante (Kéleké *et al.*, 2004).

I.3.1.1. Dénombrement bactérien

A. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux et des streptocoques fécaux

Les méthodes utilisées pour la détermination des indicateurs de pollution fécale sont multiples, et les critères de choix d'une technique dépendent de l'origine, de la nature de l'eau à examiner (eau de forage ou de puits, eau trouble, eaux usées, etc.), des facteurs relatifs à la qualité des résultats et des facteurs relatifs au coût des analyses.

Les méthodes classiques utilisées sont :

- ✓ La filtration sur membrane ;
- ✓ L'étalement ;

- ✓ L'incorporation en gélose ;
- ✓ La dilution en milieu liquide ou le Nombre le plus probable (NPP) : Méthode utilisée (Tandia, 2007).

A.1. Méthode de fermentation en tubes multiples

La méthode par ensemencement en milieu liquide ou du nombre le plus probable (NPP) est utilisée le plus souvent dans le cas des eaux troubles (Tandia, 2007).

✓ Principe

La technique du NPP fait appel à la méthode de fermentation en tubes multiples (Roux, 2003). Son principe consiste à ensemer de nombreuses prises d'essai d'un même échantillon et/ou de dilutions de celui-ci dans des tubes de milieu de culture liquide.

Les prises d'essai de l'échantillon ou des dilutions, sont donc incorporées dans des séries de tubes (3 série), 3 à 5 tubes par série, de milieu non véritablement sélectif : c'est le test de présomption (croissance ou non).

On enseme une deuxième série de tubes de milieu plus sélectif en repiquant les tubes ayant donné un résultat positif dans les premières séries : c'est le test de confirmation (Tandia, 2007).

La lecture des tubes inoculés et la détermination du nombre des germes se fait par détermination du Nombre le Plus Probable (NPP) (Rajonson *et al.*, 1992), qui n'est qu'une estimation statistique du nombre de bactéries qui, plus probablement qu'un autre, donnerait les résultats observés; il ne s'agit pas du nombre réel de bactéries présentes [3].

✓ Ensemencement

• Ensemencement des milieux présomptifs (Milieu simple concentration)

Selon le principe de la technique du NPP, nous réalisons 3 séries logarithmiques, dont les termes sont en progression géométrique pour chaque échantillon d'eau à analyser, à raison de 5 tubes pour chaque série, on aura donc des séries de dilution décimales : 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} . Les dilutions sont toujours effectuées dans des conditions aseptiques (Bourgeois et Leveau, 1980).

❖ Pour les coliformes totaux

Nous prenons 5 tubes de Bouillon Lactosé au Bromocrésol Pourpre (BCPL), simple concentration, munis d'une cloche de Durham. Après l'avoir homogénéisée soigneusement, prélever 1 ml d'eau à analyser à l'aide d'une pipette Pasteur et la porter dans le premier tube de la série de dilution (10^{-1}). La pipette ne doit entrer en contact ni avec les parois des tubes, ni avec le liquide diluant. Avec une nouvelle pipette Pasteur, homogénéiser par aspiration et soufflage le contenu de ce tube (10^{-1}), prélever 1 ml et ensemercer le tube (10^{-2}), et ainsi de suite jusqu'au tube (10^{-5}). Changer à chaque fois de pipette (Bourgeois et Leveau, 1980). (Fig. 22)

Les coliformes totaux sont dénombrés après une incubation de 24 h à 48 h à 37°C.

- ✓ Observer d'abord le changement de couleur ou non dans les tubes ;
- ✓ Observer ensuite le trouble dans le milieu, dû à la croissance des bactéries présentes ;
- ✓ Observer enfin la production de gaz traduite par le soulèvement de la cloche de Durham introduit dans le milieu (au moins 1/10 de la cloche devra être vide) (Tandia, 2007). (Fig. 22)

Après l'ensemencement des tubes, il faut vérifier qu'il n'y a pas de bulles d'air sous la cloche, pour éviter de fausser les résultats.

❖ Pour les streptocoques

Leur recherche est effectuée sur le milieu Rothe (Bricha *et al.*, 2007), suivant le même procédé décrits pour les CT. L'incubation à 37°C pendant 24 h. (Fig. 23)

• Ensemencement des milieux confirmatifs

A partir de chaque tube de milieu présomptif ayant donné un résultat positif, ensemercer avec une anse bouclée ou une pipette Pasteur les milieux confirmatifs.

❖ Pour les coliformes fécaux

Généralement, les tubes positifs (fermentation du lactose et production de gaz) du (BCPL) sont repiqués pour un test confirmatif dans un milieu sélectif contenant des sels biliaires, le bouillon bilié au vert brillant muni d'une cloche de Durham, et un autre tube contenant l'eau peptonnée exempte d'indole puis incubés pendant 24 h à 48 h à 44°C.

La production de gaz dans le premier et l'indole dans le second, témoigne la présence de

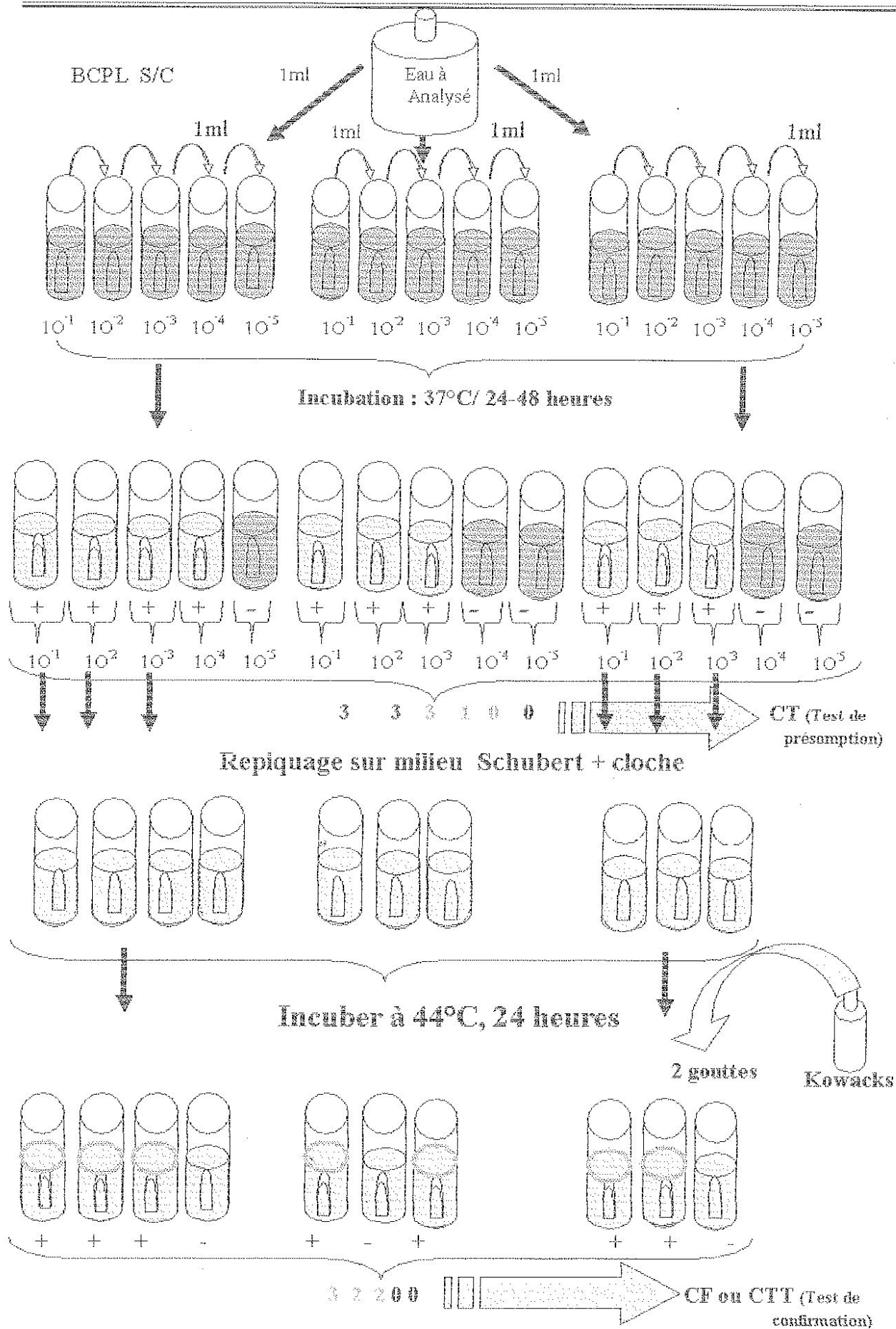


Fig. 22 : Dénombrement des coliformes totaux et fécaux

coliformes fécaux (Bricha *et al.*, 2007).

Dans notre étude nous avons procédé à la recherche simultanée de ces deux réactions, et ce, dans un laps de temps n'excédant pas 24 heures. En effet, on a utilisé le milieu de Schubert contenant du mannitol. Le mannitol fermenté par *E. coli* (généralement dans 98 % des cas) donne du gaz dans les mêmes conditions que le lactose mais ne gêne en rien la production d'indole lors de la dégradation du tryptophane. Après incubation à 44°C pendant 24h, on ajoute quelques gouttes de réactif Kowacks dans les tubes montrant un trouble. Une réaction considérée positive correspond à la formation d'un anneau rouge (Mazieres *et al.*, 1980). (Fig. 22)

❖ Pour les streptocoques fécaux

A partir des tubes de Rothe positifs, on effectue une subculture sur milieu EVA Litsky à 37°C pendant 24 h. Le milieu d'Eva-Litsky n'est qu'un milieu de Rothe additionné d'éthyle-violet. La présence de streptocoques se traduit par un trouble plus ou moins important et la formation d'une pastille violette au fond du tube (Roux, 2003). (Fig. 23)

✓ Estimation du NPP

On suppose que pendant l'incubation, chaque tube ayant reçu un ou plusieurs organismes avec l'inoculum présentera une croissance qui provoquera ou non des modifications caractéristiques dans le milieu. Le NPP ne peut être estimé qu'à partir du nombre de tubes positifs. La précision est la force de cette méthode et dépend du nombre de tubes ensemencés : elle croît comme une fonction de la racine carrée du nombre de tubes utilisés (Tandia, 2007).

✓ Expression des résultats

On recherche le nombre le plus probable (NPP) ; pour cela, il faut déterminer le nombre de tubes positifs correspondants à 3 dilutions consécutives. Ces dilutions sont choisies selon les règles suivantes :

1- Il existe une ou plusieurs dilutions révélant 3 tubes positifs

- ✓ Choisir la dilution la plus forte (celle contenant la plus faible concentration de l'échantillon) révélant 3 tubes positifs, ainsi que les deux plus fortes dilutions qui suivent immédiatement.

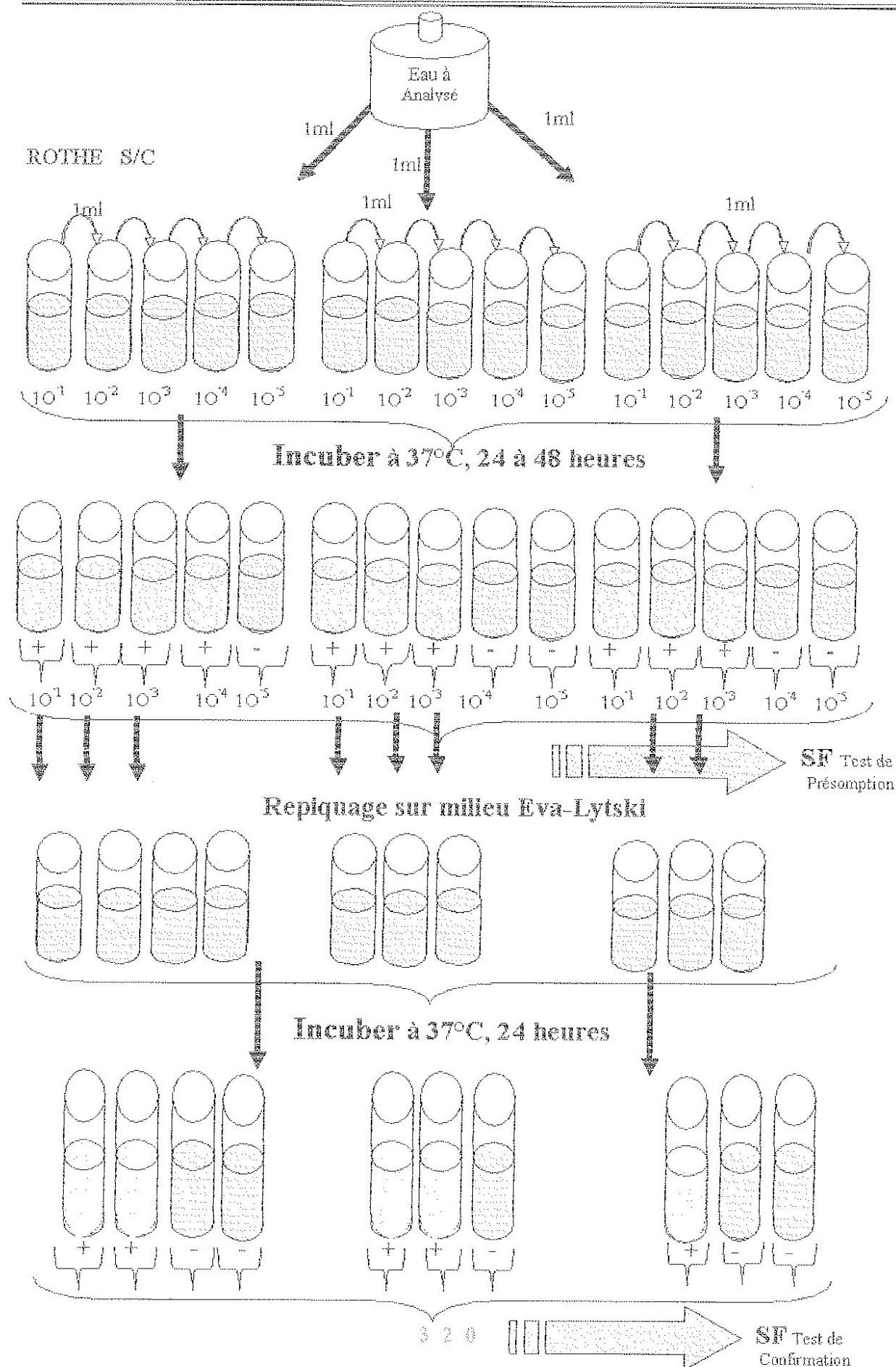


Fig. 23 : Dénombrement des streptocoques fécaux

- ✓ Choisir les 3 plus fortes dilutions de la série (celles qui ont la plus faible concentration en échantillon) au cas où il aurait été préparé un nombre insuffisant de dilutions au-delà de la dilution la plus forte révélant 3 tubes positifs.

2- Il n'existe aucune dilution révélant 3 tubes positifs

- ✓ Retenir la dilution correspondant à la plus forte concentration de l'échantillon et les deux dilutions qui suivent immédiatement.

3- Cas particuliers

- ✓ Si un résultat positif est noté pour une dilution plus grande que la dernière ainsi choisie, il faut l'ajouter à celle-ci ;
- ✓ Si enfin, le nombre de tubes positifs est très réduit, choisir le nombre caractéristique de façon à ce que la dilution positive occupe le rang des dizaines (Tab. III.1 Annexes) (Tandia, 2007).

✓ Mode de calcul

Le nombre d'indicateurs recherchés (coliformes totaux et/ou de coliformes thermotolérants, streptocoques) par 1 ml d'échantillon (on le ramène à 100 ml) est donné par l'expression suivante :

$$N = \frac{NPP}{Tx}$$

Avec : N = nombre d'indicateurs recherchés ;

NPP = nombre le plus probable ;

Tx = taux de dilution correspondant à la dilution la plus forte retenue (Tandia, 2007).

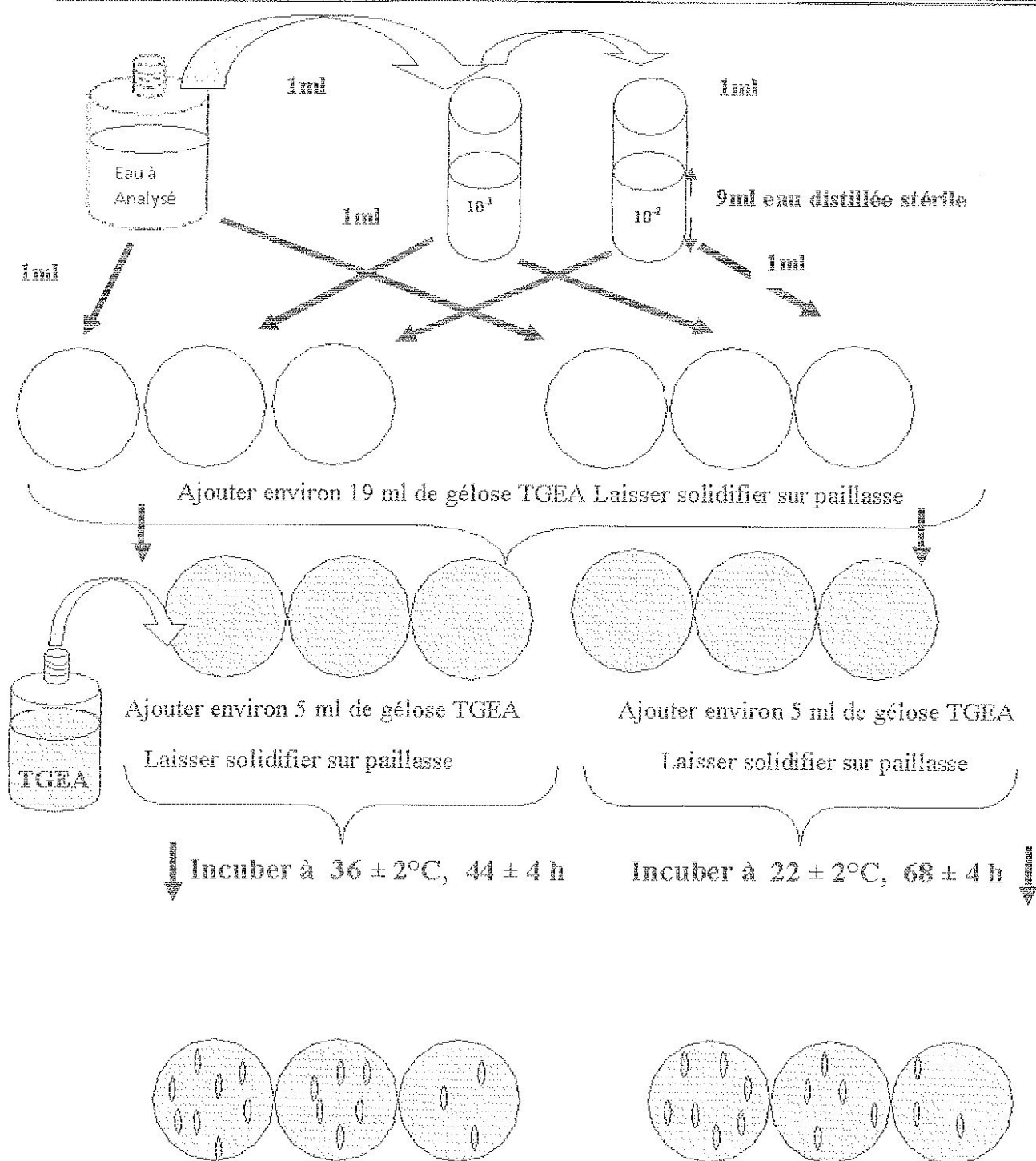
B. Le dénombrement de la flore totale

✓ Mode Opératoire

A partir de l'eau à analyser (SM) et/ou des dilutions décimales 10^{-1} et 10^{-2} , porter aseptiquement 1 ml en double dans deux boîtes de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage comme l'indique le schéma (Fig. 24).

- Compléter ensuite avec environ 19 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$.

Le temps qui s'écoule entre le moment où l'on a distribué l'inoculum dans la boîte et celui où le milieu est coulé ne doit pas excéder 15 minutes.



Page 24 of 24

- Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose, sur une surface fraîche et horizontale.
- Laisser solidifier les boîtes sur pailleasse, puis rajouter une deuxième couche d'environ 5 ml de la même gélose ou de gélose blanche. Cette double couche, a un rôle protecteur contre les contaminations externes diverses.
- Les boîtes seront partagées en deux séries distinctes :
 - ❖ La première série sera incubée à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 68 ± 4 heures,
 - ❖ La seconde série sera incubée à $36 \pm 2^\circ\text{C}$, pendant $44 \pm 4^\circ\text{C}$ heures (Lebres *et al.*, 2006).

✓ Lecture

Les colonies de microorganismes revivifiables apparaissent en masse sous formes lenticulaires et bien distinctes. Retenir les boîtes contenant moins de 300 colonies, au niveau de deux dilutions successives. Il faut qu'une boîte renferme au moins 15 colonies. Calculer ensuite la valeur du nombre N, de microorganismes revivifiables à $22 \pm 2^\circ\text{C}$ à part et celle du nombre N de microorganismes revivifiables à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ à part, en tant que moyenne pondérée, à l'aide de l'équation suivante :

$$N = \frac{\sum c}{1.1 \times d}$$

Où :

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

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

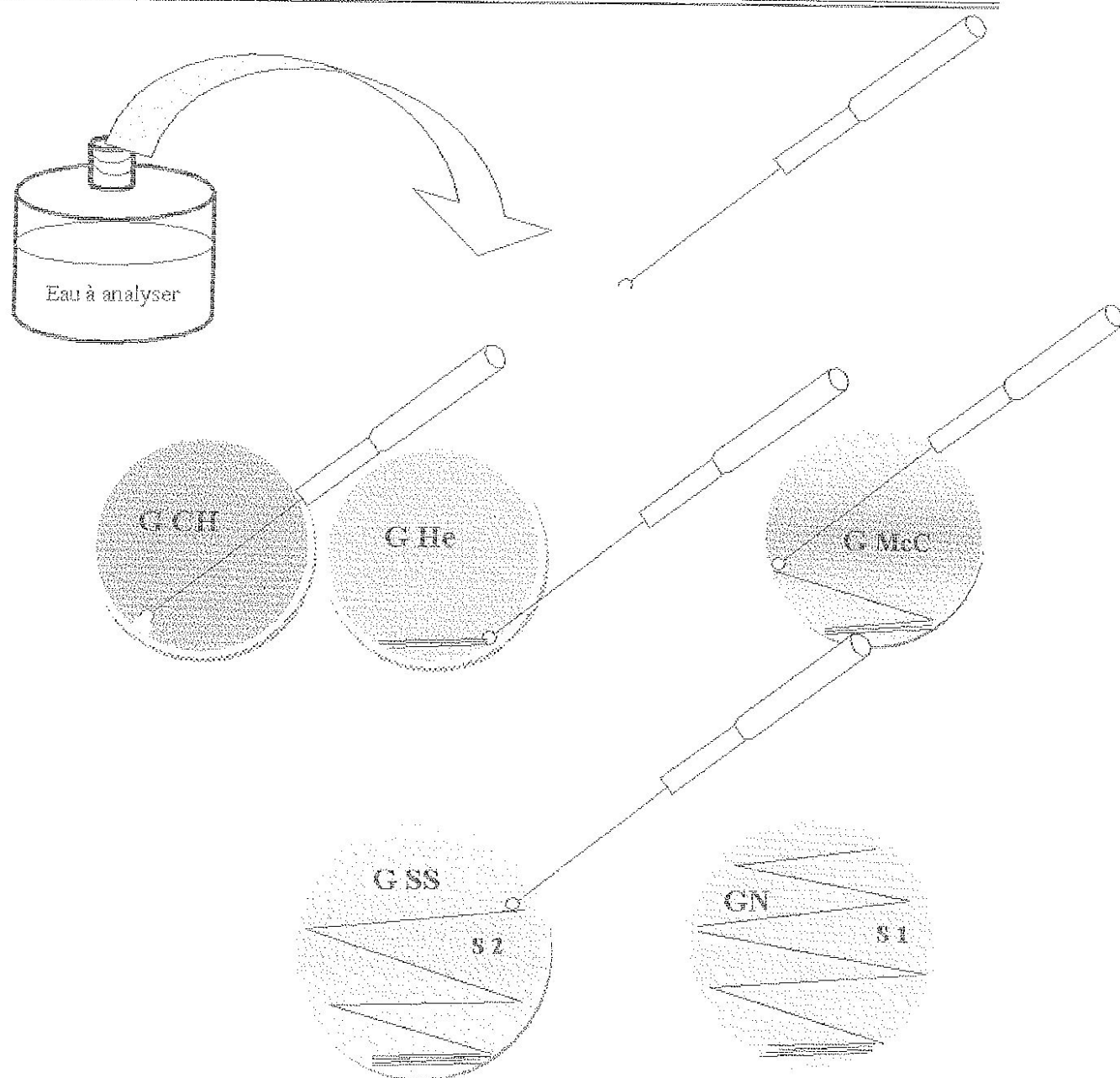
Arrondir les résultats calculés à deux chiffres significatifs après la virgule. (Lebres *et al.*, 2006).

I.3.1.2. Recherche bactériologique

A. Méthode d'ensemencement sur gélose

Pour chercher et identifier les bactéries de la solution mère (l'échantillon) nous avons utilisés la technique d'isolement par strie sur géloses coulées dans des boîtes de Pétri [24]. (Fig.25)

Les géloses employées sont : Gélose nutritive, Gélose Mac Conkey, Gélose Hektoen, Gélose SS (*Salmonella-Shigella*), et Gélose Chapman.



Incuber à 37°C pendant 24 - 48 heures

Fig. 25 : Méthode d'ensemencement par des stries

Nous avons utilisé quatre milieux sélectifs présentant des caractéristiques différentes et un milieu non sélectif qui nous permettra l'observation macroscopique de toutes les colonies.

- ✓ La gélose Nutritive Ordinaire (GNO) qui est un milieu non sélectif est utilisée pour l'observation macroscopique des différentes colonies de la semence. Toutes les colonies se développant hors des stries d'isolements seraient une contamination possible.
- ✓ Milieu de Chapman : est sélectif pour les bactéries Gram (+) halophiles autrement dit les staphylocoques ou les microcoques.
- ✓ Les autres milieux, Gélose Mac Conkey, Gélose Hektoen, Gélose SS (*Salmonella-Shigella*) sont utilisés pour l'isolement des bactéries Gram - (les Entérobactéries) [24].

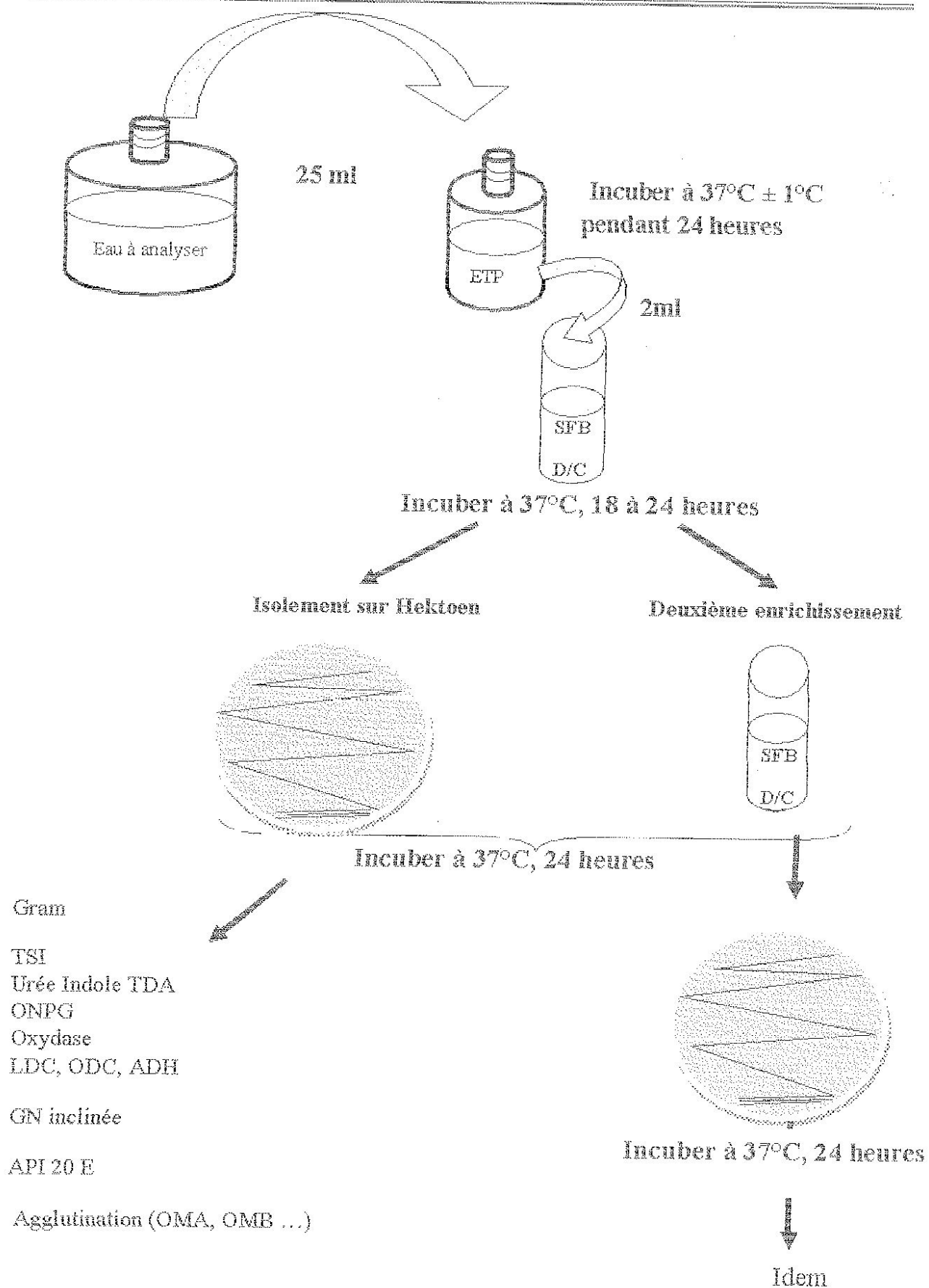
L'inoculum est prélevé directement à partir de l'eau à analyser est déposé sur un point périphérique de la gélose puis disséminé par stries sur toute la surface. Les boîtes sont codées puis incubées à 37°C pendant 24 - 48 heures. (Fig. 25)

❖ Recherche de *Salmonella*

La recherche de *Salmonella* à partir des prélèvements d'eau est souvent compliquée par leur faible concentration, une première solution consiste un enrichissement mécanique ou physico-chimique lorsque cela est possible (centrifugation, précipitation) une deuxième solution plus fréquemment pratiquée consiste à utiliser des milieux d'enrichissement et parfois de pré-enrichissement liquide qui permettent la multiplication des germes avant leur isolement et identification (Guiraud, 1998).

Jour 1 : Le pré-enrichissement

Il est destiné à revivifier les cellules de façon à faciliter la culture dans les bouillons d'enrichissement il est réalisé à l'aide de plusieurs milieux, dans notre cas on a utilisé l'eau peptonée tamponnée (EPT), on peut le utiliser en double concentration pour faciliter l'incubation (Protais *et al.*, 2003). On prend 25 ml de SM (l'eau à analyser) et on l'introduit dans 225 ml de milieu EPT. L'incubation se fait à 37°C ± 1°C pendant 24 heures (Azizi, 2006). (Fig. 26)

Fig. 26 : Recherche des *Salmonella*

Jour 2 : L'enrichissement

En vue de l'isolement et de l'identification, l'enrichissement s'effectue sur des milieux sélectifs soit directement à partir de la SM ou de ses dilutions soit le plus souvent à partir du milieu de pré-enrichissement, dans notre cas on a utilisé le milieu bouillon au sélénite de Leifson (SFB ; S/C) on a prélevé 2 ml du milieu ETP (Solution pré-enrichie) et l'introduire dans le milieu SFB (Azizi, 2006), on incube à 37°C pendant 24 heures (Guiraud, 1998). (Fig. 26)

Jour 3 : Enrichissement secondaire et isolement

Le bouillon sélénite cystéiné incubé la veille fera l'objet :

D'une part, d'un enrichissement secondaire sur bouillon sélénite – cystéiné en tubes à raison de 0,1 ml par tube, d'autre part, d'un isolement sur gélose Hektoen.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 h (Lebres *et al.*, 2002). (Fig. 26)

Jour 4 : Lecture des boîtes et Identification.

D'une part, le tube de sélénite fera l'objet d'un isolement, d'autre part, la boîte de gélose Hektoen subira une lecture en tenant compte du fait que les *Salmonella* se présentent le plus souvent sous forme de colonies de couleur gris bleu à centre noir (Lebres, 2004b). (Fig. 26)

Généralement, l'isolement et la différenciation sur les milieux sélectifs ne permettent pas de façon certaine, l'identification immédiate des genres et *a fortiori* des espèces. Les indicateurs de culture et de couleur ne constituent qu'une présomption. Les colonies du type recherché doivent être toujours prélevées et ensemencées sur une galerie (traditionnelle ou rapide) ou soumises à un test immunologique si l'on désire une confirmation ou une identification précise.

❖ Identification morphologique et biochimique.

Cinq colonies caractéristiques et distinctes feront l'objet d'une identification morphologique et biochimique qui se déroule comme suit :

- Etat frais (bacilles, mobilité) ;
- Coloration de Gram (bacilles Gram négatifs) ;

- Ensemencement d'un tube de TSI qui sera incubé à 37°C, 24 h (Lactose, Saccharose, Glucose, Gaz et H₂S) ;
- Ensemencement d'un tube de gélose nutritive inclinée qui sera incubé à 37°C, 24 h qui servira à l'agglutination sur lame ;
- Ensemencement :
 - * Soit d'une galerie biochimique classique (ONPG, Oxydase, LDC, ODC, ADH, Témoin, Urée, Insole, TDA, VP, RM ...) ;
 - * Ou d'une galerie biochimique API 20E (Lebres, 2004b).

❖ Identification Antigénique

Cette dernière repose sur l'agglutination sur lame de verre, à partir des mêmes colonies isolées la veille sur GN inclinée en tubes, à l'aide des sérums de groupes d'abord OMA, OMB puis les autres après. La réglementation nationale algérienne exige que toute *Salmonella* isolée, soit confirmée au niveau du Laboratoire National de Référence des *Salmonella* au niveau de l'Institut Pasteur d'Algérie (Lebres *et al.*, 2002).

B. Examen microscopique

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

B.1. La coloration de Gram

➤ Principe

La coloration de Gram donne des indications très utiles pour la classification des bactéries selon la composition de la paroi cellulaire, de sa perméabilité, et permet aussi d'observer la morphologie.

En effet la coloration de Gram ou coloration différentielle s'effectue en trois phases :

1- Préparation et fixation des frottis (à partir d'une colonie sur milieu solide)

- ✓ Déposer une goutte d'eau sur une lame de verre ;
- ✓ Prélever un fragment de colonie à l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée ;
- ✓ Dissocier soigneusement l'inoculum dans la goutte d'eau et laisser sécher ;

- ✓ Ensuite les cellules sont fixées à l'alcool flambé (passage rapide au-dessus d'une flamme) ;
- ✓ La lame est ensuite déposée sur un portoir pour la coloration [17].

2- Coloration

- ✓ La lame est recouverte de violet de Gentiane pendant une minute, puis lavée doucement à l'eau ;
- ✓ Mordançage : On recouvre à nouveau la lame de lugol (iode) pendant une minute et on lave doucement à l'eau ;
- ✓ Décoloration : On décolore avec de l'alcool et on lave à l'eau distillée ;
- ✓ Recoloration : La lame est recouverte de Fuchsine pendant une minute, lavée de l'eau puis séchée à l'air libre.

3- Observation au microscope à immersion

- ✓ Les bactéries Gram (+) sont colorées en violet, par contre les Gram (-) en rose (Mamadou, 2005).

✓ Les bactéries Gram positives

Les parois des bactéries Gram-positives sont constituées d'une seule couche de peptidoglycane épaisse de 20-80 nanomètres d'épaisseur (Fig. 27). Le peptidoglycane est un énorme polymère contenant deux dérivés de sucre (la N-acétylglucosamine et l'acide N-acétylmuramique) et plusieurs acide aminés (D-glutamique, D-alanine). Ces parois contiennent aussi une grande quantité d'acide teichoïque qui sont reliés soit au peptidoglycane ou à la membrane plasmique (Prescott *et al.*, 2003), dans ce dernier cas, ils s'appellent des acides lipoteichoïque. Les acides teichoïques peuvent atteindre la surface et confèrent à la cellule une charge négative (Mamadou, 2005).

✓ Les bactéries Gram-négatives

Les parois des bactéries Gram-négatives sont plus complexes (Fig. 28) en effet, elles sont constituées d'une fine couche de peptidoglycane de 2-7 nanomètres d'épaisseur et d'une membrane externe de 7-8 nanomètres (Prescott *et al.*, 2003).

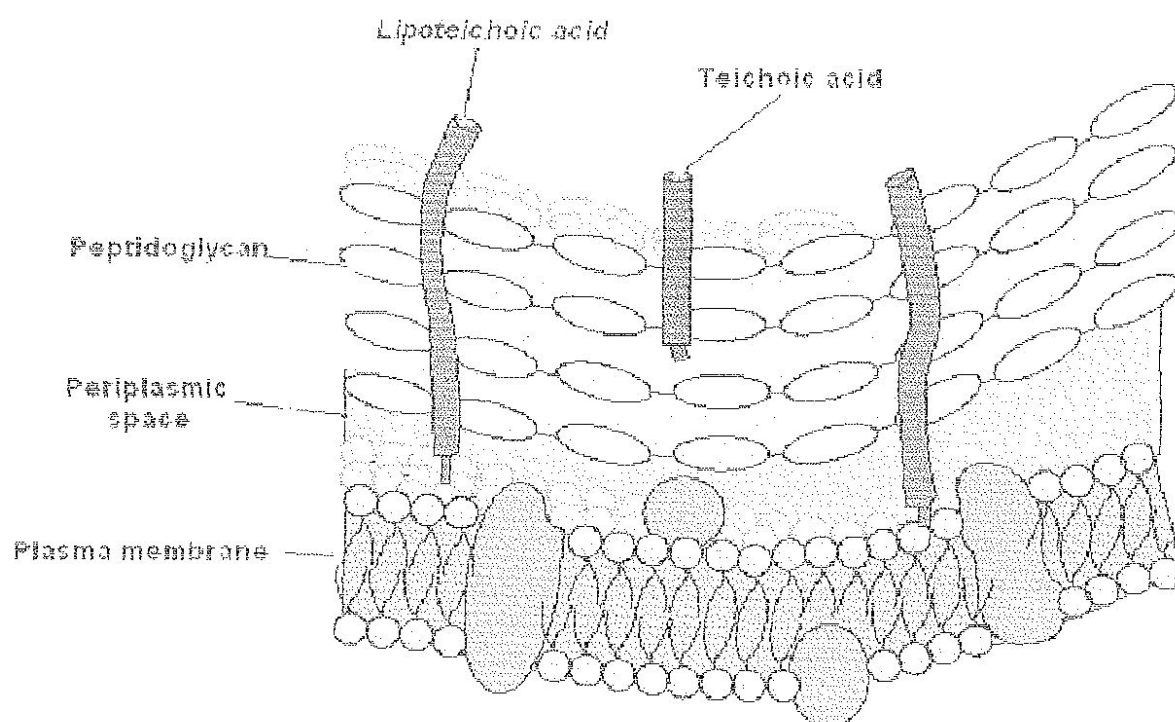


Fig. 27 : La paroi des bactéries Gram-positives

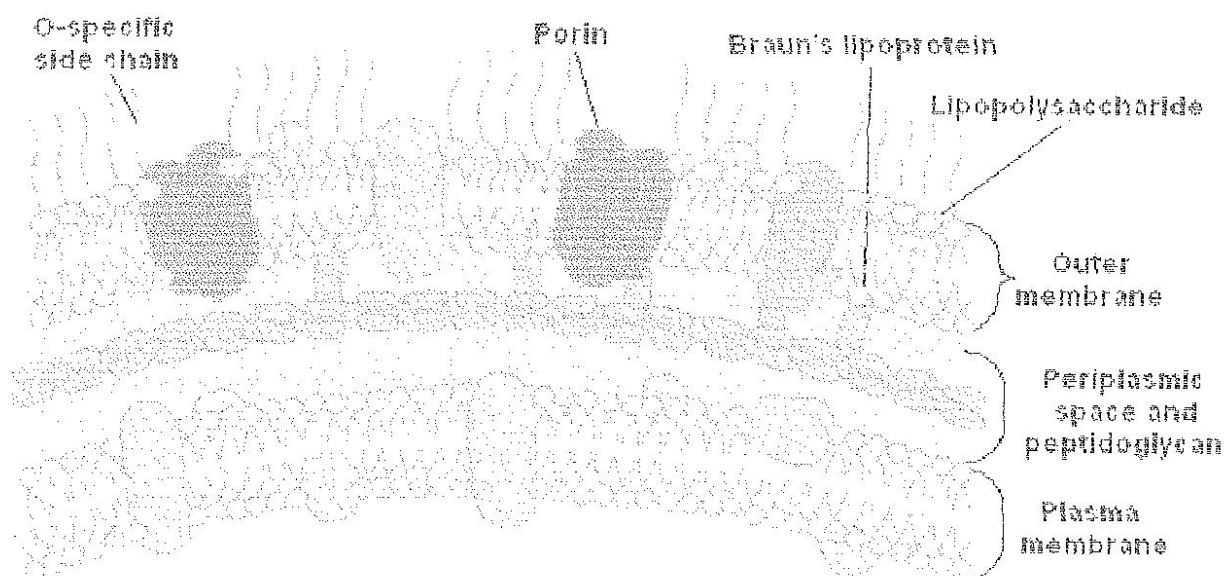


Fig. 28 : La paroi des bactéries Gram-négatives

La membrane externe est étroitement liée au peptidoglycane par une protéine abondante, la lipoprotéine de *Braun*. La membrane externe contient des lipopolysaccharides formées de trois parties : le lipide A, le polysaccharide central et la chaîne latérale O. Le polysaccharide central donne à la cellule sa charge négative à cause des sucres et des phosphates charge qui le constituent.

La différence de couleurs entre les deux parois après coloration de Gram était attribuée à la différence d'épaisseurs de la couche du peptidoglycane. Cependant, il semblerait que les peptidoglycanes ne sont pas colorés mais c'est plutôt les lipoteichoïques qui sont présents exclusivement chez les bactéries Gram-positives (Mamadou, 2005).

B.1.1 Les formes des bactéries

La paroi des cellules, rigides offre à la cellule bactérienne sa forme. Globalement, les bactéries présentent deux formes

- **Formes arrondies**

Dans ce cas on les appelle des *cocci*. Les cellules peuvent être isolées ou liées pour former des groupes caractéristiques (ex. les diplocoques : *Neisseria spp...*).

- **Formes en bâtonnet**

Les bacilles sont des bactéries en forme de bâtonnet (*Bacillus*). Il faut noter que certains bacilles peuvent être incurvés pour former soit des virgules ou des spirales imparfaites. On les donne le nom de vibrions.

Ce pendant il faut noter l'existence d'autres formes comme les hyphes, les spirilles, etc. (Mamadou, 2005).

B.2. L'identification biochimique

B.2.1. Réalisation d'une galerie biochimique classique

L'identification et la classification des espèces, sont basées essentiellement sur l'étude des caractères suivants:

- Recherche de l'ONPG
- Recherche de l'Oxydase
- Milieu TSI (Triple Sugar Iron Agar)

- Milieu Mannitol – Mobilité
- Milieu au Citrate de Simmons
- Recherche des VP – RM
- Milieu Urée Indole
- Quelques acides aminés
- Quelques sucres (Lebres, 2004c).

- Recherche de l'ONPG (orthonitrophényl-bêta-D-galactopyranoside)

- Principe

Pour que le lactose soit utilisé par les bactéries, il doit être scindé par des enzymes intracellulaires, les bêta-galactosidases. Ces enzymes sont spécifiques de la liaison bêta-1,4-osidique et elles hydrolysent le lactose en glucose et galactose. Pour qu'une bactérie utilise le lactose, il faut que le lactose puisse pénétrer dans la cellule. Cette pénétration nécessite une autre enzyme, la bêta-galactoside perméase. Si cette enzyme est déficiente ou absente, une bactérie potentiellement capable d'utiliser le lactose (possédant une bêta-galactosidase) ne pourra exprimer ce caractère et paraîtra lactose négative.

L'objet du test ONPG est d'étudier l'existence d'une bêta-galactosidase (et donc la possibilité d'acidifier le lactose), indépendamment de la présence ou de l'absence d'une bêta-galactoside perméase. La lecture est alors très rapide et on dispose ainsi d'une réaction complémentaire pour l'étude des germes apparaissant lactose négative après 24 à 48 heures d'incubation.

La bêta-galactosidase libérée de la cellule bactérienne (lyse théoriquement provoquée par le toluène) va agir sur un galactose substitué, l'orthonitrophényl-bêta-D-galactopyranoside ou ONPG. L'hydrolyse de l'ONPG libère de l'orthonitrophénol qui présente une coloration jaune très stable [17].

- Technique

Réaliser une suspension du germe à étudier dans de l'eau physiologique contenant un disque d'ONPG.

Incuber à 37 °C pendant 24 heures. (Fig. 29)

➤ **Lecture**

- ❖ Apparition d'une coloration jaune : bactérie ONPG positive.
- ❖ Absence de coloration : bactérie ONPG négative [17]. (Fig. 29)

➤ **Remarques**

Toutes les bactéries possédant une bêta-galactosidase présentent un test ONPG positif. Toutefois, certaines bactéries dépourvues de bêta-galactosidase peuvent hydrolyser l'ONPG grâce à une autre enzyme appelée ONPG ase. La dénomination de "test ONPG" est donc plus correcte que la dénomination de "recherche de la bêta-galactosidase" ([17] ; [21]).

• **Recherche de l'Oxydase**

Cette réaction est aussi simple qu'instantanée. Il suffit de prendre une colonie caractéristique puis la déposer sur un disque d'oxydase préalablement imbibé à l'aide d'une goutte d'eau distillée stérile. Le virage spontané au violet indique une réaction positive. En fait les derniers stades de la respiration cellulaire font intervenir une chaîne de métalloprotéines : les cytochromes dont le dernier maillon, le cytochrome oxydase, réagit directement et instantanément avec l'oxygène (Lebres, 2004c). (Fig. 29)

• **Milieu TSI (Triple Sugar Iron Agar)**

Le but de ce test est de mettre en évidence cinq caractères

- ✓ Fermentation du Glucose
- ✓ Fermentation du Lactose
- ✓ Fermentation du Saccharose
- ✓ Production de Gaz
- ✓ Production d'H₂S (Lebres, 2004c).

Le milieu de TSI est un milieu gélosé contenant du glucose, du lactose, du saccharose, de la peptone, un sel de fer et un indicateur de pH, le rouge de phénol. Ce milieu est reparti en tubes à essai sous forme semi-inclinée avec un haut culot et une petite tranche. Il est ensemencé par piqûre profonde du culot au fil droit et par ensemencement en stries de la tranche.

Après une période de 24 h à 37°C le milieu est examiné.

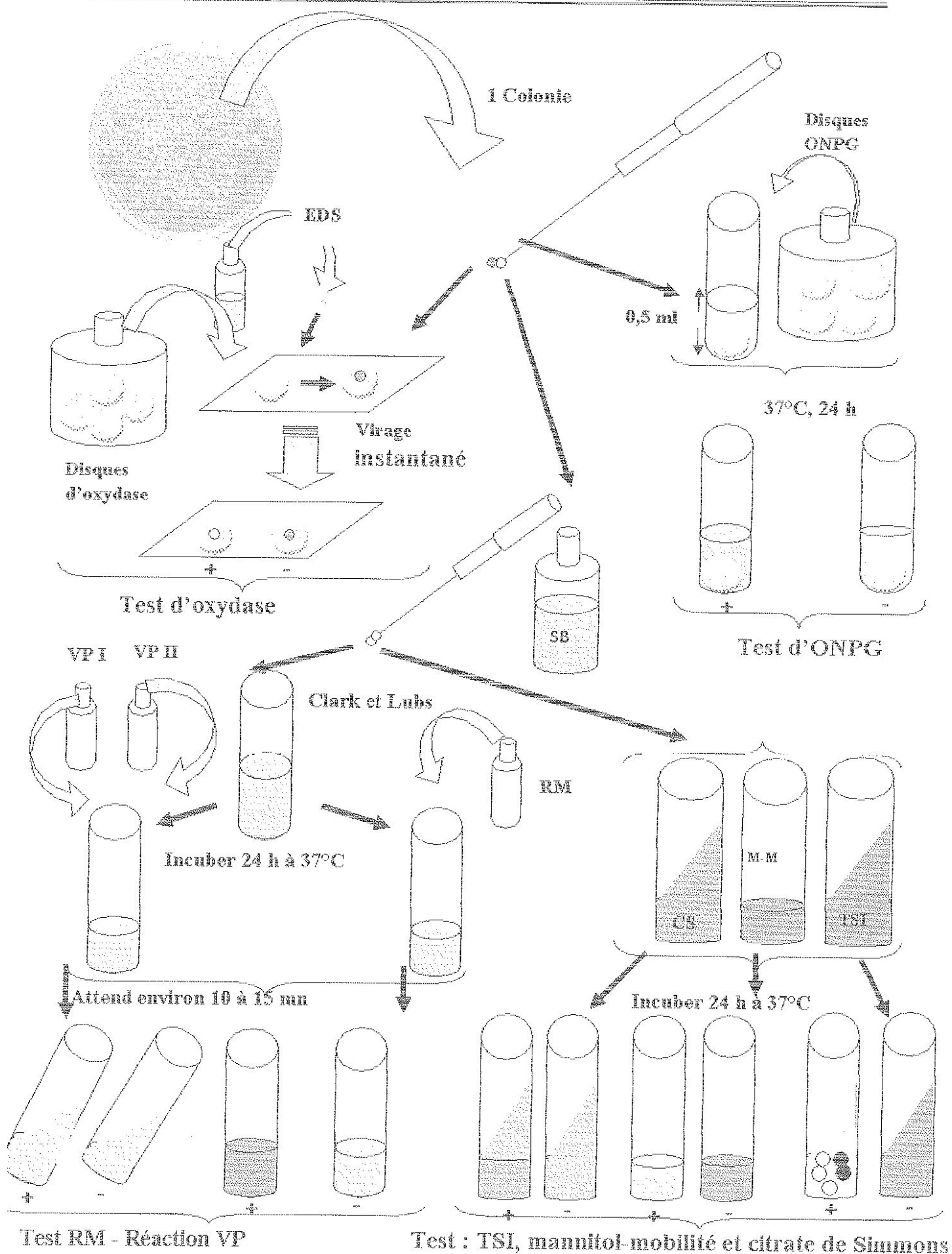


Fig. 29 : Test biochimiques complémentaires II : (ONPG, oxydase, TSI, mannitol-mobilité, citrate de Simmons, RM et réaction VP)

Dans le culot, l'anaérobiose relative favorise l'utilisation du glucose qui entraîne une acidification et le virage au jaune de l'indicateur. Sur la tranche l'aérobiose favorise l'utilisation du lactose qui entraîne le virage au jaune de l'indicateur. L'acidification due au glucose, qui est en faible quantité, est neutralisée rapidement à ce niveau par l'alcalinisation provenant de la dégradation des peptones. L'acidification de la tranche indique donc bien l'utilisation du lactose. L'apparition des bulles dans le culot traduit la production du gaz, un noircissement dû à la formation du sulfure de fer traduit celle de H_2S . Ce milieu sert aussi à la pratique des réactions à la β -galactosidase et la LDC (lysine décarboxylase). Ce milieu permet de différencier les *Salmonella* des *Shigella* [lactose(-), saccharose (-)] de la plupart des autres Entérobactéries (Guiraud, 1998). (Fig. 29)

- **Milieu Mannitol – Mobilité**

Sur ce milieu on peut étudier :

- ✓ La mobilité des bactéries
- ✓ Et la fermentation du mannitol

Le but de ce test est de déterminer si les bactéries sont mobiles à une température donnée [21].

➤ **Technique**

Ensemencer les tubes par piqûre centrale dans la gélose en culot avec les souches à tester. Incuber à 37°C pendant 24 heures [21]. (Fig. 29)

➤ **Lecture**

La mobilité se caractérise par une migration des bactéries de la piqûre centrale vers le reste du milieu entraînant ainsi une turbidité.

La fermentation du mannitol se traduit par le virage de la couleur rouge du milieu au jaune [21]. (Fig. 29)

- **Milieu au Citrate de Simmons**

➤ **Principe**

Certaines bactéries sont capables d'assimiler le citrate, autrement dit capables d'utiliser le citrate comme unique source de carbone et d'énergie. Ces bactéries possèdent une citrate

perméase et les enzymes du catabolisme du citrate. De telles bactéries sont capables de croître sur un milieu synthétique, le milieu de citrate de Simmons, dont l'unique source de carbone est le citrate de sodium. Ce milieu contient également des sels d'ammonium comme unique source d'azote et du bleu de bromothymol comme indicateur de pH. Initialement, le pH du milieu est de 7 et à un tel pH, le bleu de bromothymol a une teinte verte. La croissance sur le milieu au citrate de Simmons s'accompagne généralement d'une alcalinisation provoquant le virage au bleu (bleu outre-mer) du bleu de bromothymol [17].

➤ Technique

Ensemencer en surface le milieu au citrate de Simmons à partir d'une culture prélevée sur un milieu gélosé. Incuber à 37 °C pendant 24 heures. (Fig. 29)

➤ Lecture

La majorité des auteurs considère qu'une bactérie est citrate positive lorsqu'elle utilise le citrate en provoquant une alcalinisation du milieu.

Présence d'une coloration bleue (même localisée uniquement en surface) : réaction positive.

La présence d'une coloration verte dans tout le milieu est considérée comme réaction négative (même en présence d'une culture) [17]. (Fig. 29)

• Recherche des VP – RM

✓ Test au rouge de méthyle (RM) - Réaction de Voges-Proskauer (VP)

➤ Principe

La mise en évidence des voies fermentaires est d'une grande utilité pour le diagnostic des micro-organismes. Beaucoup de bactéries empruntent la voie dite des acides mixtes, abaissant ainsi le pH vers 4,5 à 5 et certaines bactéries VP(+) empruntent surtout la voie dite du butylène glycol (Lebres, 2004c).

La réaction de Voges-Proskauer (VP) permet l'étude des dérivés de l'acide pyruvique. Le glucose, utilisé par les bactéries, est dégradé en acide pyruvique qui est un intermédiaire clef du métabolisme des glucides. Selon les bactéries, l'acide pyruvique peut être complètement oxydé ou être le point de départ de diverses voies fermentaires conduisant à une très grande variété de composants finaux dont la nature est caractéristique du type fermentaire :

- ✓ La fermentation acide mixte conduit à la production d'acide formique, d'acide acétique, d'acide lactique, d'acide propionique, d'acide succinique, de dioxyde de carbone, d'hydrogène, d'éthanol, etc.
- ✓ La fermentation acide mixte provoque une acidification importante d'un milieu glucosé (Lebres, 2004c).

La fermentation acide mixte est étudiée par le test au rouge de méthyle. La fermentation butylène glycolique (butanediolique) conduit à la production de 2-3-butanediol. La suite des réactions conduisant au 2-3-butanediol est la suivante :

1. Condensation de deux molécules de pyruvate avec décarboxylation et formation d'acide alpha-acétolactique ;
2. Décarboxylation de l'alpha-acétolactate et formation d'acétoïne (hydroxy-3-butanone) ;
3. Réduction de l'acétoïne en 2-3 butanediol.

Le test VP permet de caractériser l'acétoïne. En présence d'oxygène et d'une base forte, l'acétoïne est oxydée en diacétyle qui forme un complexe coloré en rose en réagissant avec une fonction amine d'un groupement guanidyle des protéines. La réaction est plus sensible et plus rapide en présence d'alpha-naphtol [17].

Cependant le RM est employé depuis 1915 par Clark et Lubs comme indicateur de pH (rouge au dessus de 4.8 et jaune au dessus de 6.3) dans un milieu de culture glucosé pour différencier parmi les Entérobactéries. Les forts producteurs d'acide (RM^+) des faibles producteurs (RM^-).

Ce test, qui complète le précédent, permet de distinguer les Entérobactéries à fermentation butanediolique (RM^-) de celles qui ont simplement une fermentation acide mixte (RM^+) (Boukrouma, 2008 ; Lebres, 2004c).

➤ Technique

Ensemencer un milieu de Clark et Lubs (peptone, phosphate bipotassique, glucose, pH 7,5). Incuber 48 heures à 37 °C.

Prélever 1 ml de milieu et ajouter 0,5 ml d'Alpha-naphtol (VPI) et 0,5 ml Hydroxyde de potassium (VP II).

Prélever ainsi 1 à 2 ml de culture en milieu Clark et Lubs dans un autre tube stérile et ajouté le réactif de RM. (Fig. 29)

➤ **Lecture**

Attendre un temps maximum de 10-15 minutes.

✓ **Pour la réaction de VP**

- ❖ La présence d'acétoïne (VP positive) se traduit par une coloration rose en surface mais pouvant diffuser dans tout le milieu.
- ❖ Milieu reste incolore VP (-). (Fig. 29)

✓ **Pour RM**

- ❖ Coloration rouge réaction (+).
- ❖ Coloration jaune réaction (-) [17]. (Fig. 29)

• **Recherche de la Nitrate réductase**

➤ **Principe**

Certaines bactéries peuvent utiliser comme accepteur final d'électrons des composés minéraux riches en oxygène (respiration anaérobie). C'est le cas particulier des nitrates qui sont alors réduits en nitrites. La réduction peut aller au-delà du stade nitrites et conduit à la formation d'azote gazeux (N_2).

La recherche d'une nitrate-réductase se fait par la mise en évidence des nitrites formés. Les nitrites en milieu acétique ou sulfurique donnent une coloration rose ou rouge en présence d'acide parasulfanilique et d'alpha-naphtylamine. Toutefois, comme certaines bactéries réduisent les nitrates au-delà du stade nitrites, toute réaction apparaissant négative (absence de coloration rose ou rouge) doit être contrôlée pour constater la présence ou la disparition des nitrates contenus à l'origine dans le milieu. Dans ce but, on ajoute au milieu de la poudre de zinc. Le zinc est un agent réducteur capable de réduire en quelques minutes les nitrates en nitrites.

Si la réaction est véritablement négative, les nitrates toujours présents dans le milieu sont réduits en nitrites sous l'action du zinc et une coloration rose ou rouge apparaît.

Si la réaction est faussement négative, les nitrates ont été réduits par les bactéries en azote gazeux.

Le milieu ne contient plus de nitrates et lorsque la poudre de zinc est ajoutée, la teinte du milieu n'est pas modifiée [17].

➤ Technique

Cultiver la bactérie dans un bouillon nitraté.

Incuber à 37 °C jusqu'à l'obtention d'une culture abondante.

Ajouter une ou deux gouttes d'acide parasulfanilique en milieu acétique (réactif NIT 1) puis une à deux gouttes d'alpha-naphtylamine en milieu acétique (réactif NIT 2).

➤ Lecture

- Apparition en quelques secondes d'une coloration rose ou rouge : réaction positive, la bactérie réduit les nitrates en nitrites.
- Absence de coloration : ajouter de la poudre de zinc :
- Apparition en cinq minutes d'une coloration rose ou rouge : réaction négative.
- Absence de coloration : réaction positive (bactérie réduisant les nitrites jusqu'au stade azote gazeux) ([17] ; [21]). (Fig. 30)

• Milieu Urée-Indole

Ce milieu a pour but la recherche, la détermination de la présence d'une uréase chez la bactérie, et de savoir si elle peut produire de l'indole à partir du tryptophane à l'aide de tryptophanase (Lebres, 2004c).

En effet, ce milieu donne trois caractères

- ✓ Urée : enzyme uréase ;
- ✓ TDA : Tryptophane Désaminase ;
- ✓ Indole : Tryptophanase.

➤ Principe

Certaines bactéries désaminent puis hydrolysent le tryptophane pour donner une molécule d'indole. L'indole réagit avec la fonction aldéhyde du paradiméthylamino-benzaldéhyde pour donner un composé coloré en rouge.

Alors que, l'uréase est une enzyme qui hydrolyse l'urée et conduit à la formation d'ammoniac et de dioxyde de carbone. En solution, le produit final de la réaction est le carbonate d'ammonium qui alcalinise le milieu.

Ainsi que certaines bactéries possédant (TDA) enzyme conduite par désamination oxydative du tryptophane, à la formation d'acide indole pyruvique [17].

➤ **Technique**

✓ **Hydrolyse de l'urée (uréase)**

Ensemencer un milieu Urée-Indole contenant de l'urée, du tryptophane et du rouge de phénol.

Recouvrir la surface du milieu d'huile de paraffine pour éviter la libération d'ammoniac.

Incuber 18 à 24 heures à 37 °C. (Fig. 30)

➤ **Lecture**

- ❖ Uréase positive : le milieu présente une coloration rouge violacée ou orange foncée.
- ❖ Uréase négative : le milieu a une teinte jaune [17]. (Fig. 30)

✓ **La recherche de l'indole**

Ensemencer le milieu Urée-Indole, et incuber 24 heures à 37 °C.

Ajouter de 2 gouttes du réactif Kowacks. (Fig. 30)

➤ **Lecture**

- Réaction positive Apparition instantanée d'un anneau rouge
- Réaction négative anneau brunâtre (teinte originale du réactif). (Fig. 30)

✓ **La recherche de la TDA**

Ensemencer milieu Urée-Indole et incubation 24 heures à 37 °C.

Ajouter 2 à 3 gouttes de réactif TDA. (Fig. 30)

➤ **Lecture**

- ❖ Réaction positive virage instantané du milieu au rouge brique
- ❖ Réaction négative milieu non changé (Lebres, 2004c). (Fig. 30)

• **Quelques acides aminés essentiels**

✓ **Test LDC (lysine décarboxylase), ODC (ornithine décarboxylase) et ADH (arginine dihydrolase)**

Les bactéries dégradent les acides aminés en empruntant des voies multiples qui toutes aboutissent pratiquement à une libération d' NH_3 (Lebres, 2004c).

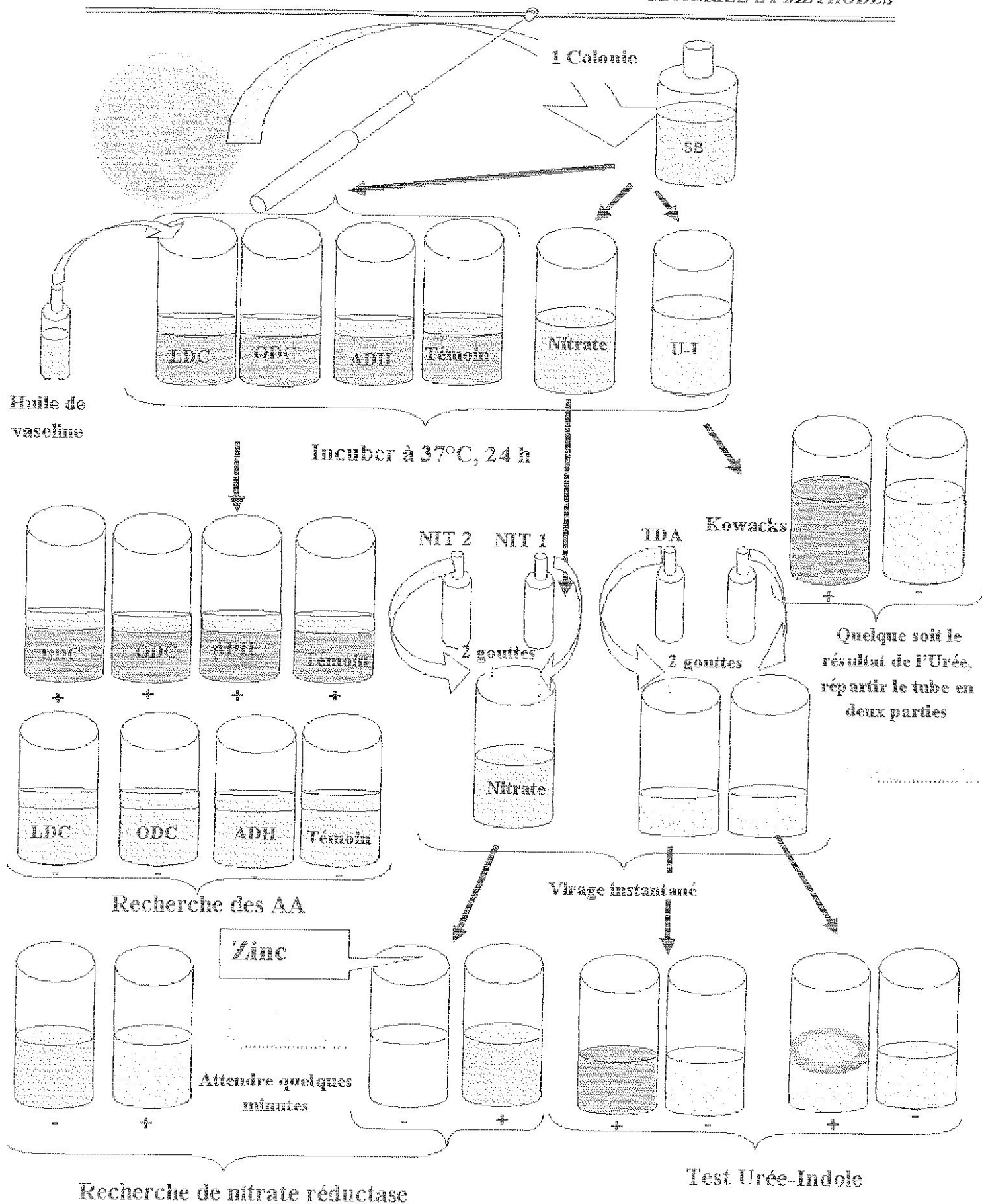


Fig. 30 : Tests biochimiques complémentaires I : (dégradation des AA, du nitrate réductase et test Urée-Indole)

➤ Principe

Ces enzymes, dont l'action est favorisée en milieu acide, forment des substances alcalines à partir des acides aminés.

La décarboxylation de la lysine produit de la cadavérine. La L-ornithine est décarboxylée en putrescine et l'arginine est décarboxylée en agmatine puis hydrolysée en putrescine. Les milieux utilisés ne contiennent qu'un seul acide aminé (lysine, ornithine ou arginine), du glucose, des extraits de levure, du chlorure de sodium et un indicateur de pH (rouge de phénol).

La recherche de ces enzymes n'est effectuée que pour des bactéries à métabolisme fermentatif. Dans un premier temps, les bactéries fermentent le glucose et les milieux s'acidifient (virage au jaune du rouge de phénol). A pH acide, la synthèse des décarboxylases est favorisée et ces enzymes présentent une activité maximale. Dans un second temps, la production éventuelle d'une décarboxylase conduit à la formation de composés alcalins et à l'alcalinisation du milieu ce qui provoque le virage au rouge du rouge de phénol [17].

➤ Technique

Ensemencer chacun des trois tubes avec une suspension bactérienne.

Réaliser une anaérobiose en recouvrant la surface du milieu d'huile de paraffine.

Incuber à 37° C pendant 24 heures. (Fig. 30)

➤ Lecture

- ❖ Apparition d'une coloration jaune (acidification du milieu) : réaction négative.
- ❖ Apparition d'une coloration orange foncée ou rouge (alcalinisation du milieu) : réaction positive [17]. (Fig. 30)

B.2.2. Inoculation de la galerie API 20 E

➤ Principe

La galerie API20 E est un système pour l'identification des Enterobacteriaceae et autres bacilles Gram négatif, utilisant 20 tests biochimiques miniaturisés, prêt à l'emploi et standardisé. En effet, cette galerie comporte 20 micro-tubes contenant des substrats déshydratés. Au-dessous de chaque tube, un sigle indique la nature du test. Les tubes sont

ensemencés avec une suspension bactérienne effectuée en eau physiologique (milieu "Suspension Medium"). Les réactions produites au cours de la période d'incubation se traduisent par des virages colorés spontanés ou révélés par l'addition de réactifs. (Tab. 21)

Un fond et un couvercle complètent la galerie et permettent de constituer une boîte d'incubation.

La galerie API 20 E permet d'effectuer les tests suivants :

- ONPG ;
- ADH ;
- LDC ;
- ODC ;
- Citrate de Simmons (CIT) ;
- Production d'hydrogène sulfuré par réduction du thiosulfate (H_2S) ;
- Synthèse d'une uréase (URE) ;
- Recherche d'une tryptophane désaminase (TDA) ;
- Recherche du pouvoir indologène (IND),
- Production d'acétoïne (VP) ;
- Synthèse d'une gélatinase (GEL) ;
- Recherche de l'acidification de neuf "glucides" :
 - ✓ Glucose (GLU) ;
 - ✓ Mannitol (MAN) ;
 - ✓ Inositol (INO) ;
 - ✓ Sorbitol (SOR) ;
 - ✓ Rhamnose (RHA) ;
 - ✓ Saccharose (SAC) ;
 - ✓ Mélibiose (MEL) ;
 - ✓ Amygdaline (AMY) ;
 - ✓ Et Arabinose (ARA).
- La galerie permet également la recherche de la nitrate réductase qui se fait dans le micro-tube "GLU" [17].
- Mode opératoire

L'opération s'effectue selon les étapes suivantes :

- ✓ Placer de l'eau dans les alvéoles présents dans le fond de la boîte afin de créer une atmosphère humide.
- ✓ Retirer la galerie de son emballage et la placer dans le fond de la boîte.
- ✓ Prélever à l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée une colonie parfaitement isolée. Dissocier soigneusement la colonie dans une ampoule de "suspension Medium".
- ✓ A l'aide d'une pipette munie d'une poire remplir les micro-tubes de la galerie. Au sein des micro-tubes, le fabricant distingue deux parties, le tube et la cupule. Selon les tests, la suspension bactérienne doit être placée uniquement dans le tube ou dans le tube et la cupule.
 - ❖ Lorsque le sigle du test est encadré, ce qui est le cas des tests CIT, VP et GEL, la suspension doit remplir le tube et la cupule.
 - ❖ Lorsque que le sigle du test est souligné (ADH, LDC, ODC, URE, H₂S), la suspension doit remplir uniquement le tube. Après ensemencement complet de la galerie, la cupule sera secondairement remplie d'huile de paraffine.
 - ❖ Lorsque le sigle du test n'est ni encadré ni souligné (ONPG, TDA, IND, GLU, MAN, INO, SOR, RHA, SAC, MEL, AMY, ARA), la suspension doit remplir uniquement le tube.
- ✓ Refermer la boîte d'incubation, écrire les références du prélèvement sur la languette du fond de la boîte et placer la boîte à 37°C durant 24 h [17].

➤ Lecture

- ❖ Sortir la boîte de l'étuve et noter sur la fiche de lecture les résultats obtenus pour les tests à lecture spontanée. (Tab. 21)
- ❖ Révéler les tests nécessitant l'addition de réactifs (Tab. 21) :
 - ✓ TDA : ajouter une goutte du réactif TDA
 - ✓ IND : ajouter une goutte du réactif de Kowacks
 - ✓ VP : ajouter une goutte du réactif VP I et une goutte du réactif VP II
 - ✓ Nitrate réductase : après avoir noté le résultat obtenu pour l'acidification du glucose, ajouter une goutte du réactif NIT 1 et une goutte du réactif NIT 2. Si aucune coloration rouge n'est obtenue (attendre deux à trois minutes), ajouter une petite quantité de poudre de zinc.
 - ❖ Noter les résultats sur la fiche de lecture.
 - ❖ Indiquer le profil numérique.

Tab. 21 : Lecture d'une galerie API 20 E

Tests*	Réactions	Composants	Ajout de réactifs	Résultats	
				Négatif	Positif
ONPG	Bêta-galactosidase	2-nitrophényl-bêta Dgalactopyranoside	Non	Incolore	Jaune
ARG	Arginine dihydrolase	L-arginine	Non	Jaune	Orange ou rouge
LYS	Lysine décarboxylase	L-lysine	Non	Jaune	Orange ou rouge
ORN	Ornithine décarboxylase	L-ornithine	Non	Jaune	Orange ou rouge
CIT	Assimilation du citrate	Citrate trisodique	Non	Vert pâle ou jaune	Bleu-vert ou bleu
TSR	Thiosulfate réductase	Thiosulfate de sodium	Non	Incolore ou grisâtre	Dépôt noir
URE	Uréase	Urée	Non	Jaune	Orange ou rouge violacé
TDA	Tryptophane désaminase	L-tryptophane	TDA	Jaune	marron ou brun foncé
IND	Production d'indole	L-tryptophane	Kowacks	Incolore ou jaune	Rose ou rouge
VP	Production d'acétoïne	Pyruvate de sodium	VP1.VP2	Incolore	Rose ou rouge
GEL	Gélatinase	Gélatine de boeuf	Non	Non diffusion du charbon	Diffusion du charbon
GLU	Glucose	D-glucose	Non	Bleu ou bleu vert	Jaune
MAN	Mannitol	D-mannitol	Non	Bleu ou bleu vert	Jaune
INO	Inositol	Inositol	Non	Bleu ou bleu vert	Jaune

(*) Pour les tests dont les sigles sont écrits en lettres noires seul le tube doit être ensemencé, pour les tests dont les sigles sont écrits en lettres rouges le tube et la cupule doivent être ensemencés et pour les tests dont les sigles sont écrits en lettres bleues seul le tube doit être ensemencé. Après ensemencement, la cupule doit être remplie d'huile de paraffine.

Sur la fiche de résultats, les tests sont séparés par groupe de trois (chaque groupe de trois tests est séparé du groupe voisin par un trait vertical). Chaque test donnant une réaction négative prend la valeur 0.

Lorsqu'un test est positif, il prend la valeur 1, 2 ou 4 selon sa position au sein d'un groupe de trois : si le premier test d'un groupe de trois est positif il est noté 1, si le deuxième test est positif il est noté 2 et si le dernier test d'un groupe de trois est positif il est noté 4.

Le 21ème test mentionné sur la fiche de résultat (OX), correspond à l'oxydase (test réalisé avant l'ensemencement de la galerie).

Pour chaque groupe de trois, additionner les chiffres correspondants. On obtient un nombre à sept chiffres qui constitue le profil numérique de la souche étudiée.

La recherche du profil numérique dans le "Catalogue analytique" commercialisé par le fabricant permet d'identifier la bactérie.

Si le profil à sept chiffres ne permet pas une identification, il convient de noter les résultats obtenus pour les tests réduction des nitrates en nitrites (NO_2), réduction des nitrates en azote (N_2), mobilité (MOB), croissance sur gélose de Mac-Cankey (McC), oxydation du glucose (OF-O), fermentation du glucose (OF-F). On obtient alors un profil numérique à neuf chiffres plus discriminant que le précédent [17].

B.3. AntibioGramme (par la méthode de diffusion)

➤ Principe

L'antibioGramme c'est une méthode analytique qui permet de définir *in vitro* l'antibiotique le plus actif sur un germe, donc celui qui a le plus de chance de guérir un malade infecté par ce germe.

Il a pour but, aussi, de déterminer d'une part la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) d'une souche bactérienne vis-à-vis des divers antibiotiques d'autre part la Concentration Minimal Létale (CML). Par définition (O.M.S.), la CMI est la plus faible concentration d'antibiotique capable de provoquer une inhibition complète de la croissance d'une bactérie donnée, appréciable à l'œil nu, après une période d'incubation donnée, alors que la CML est la concentration la plus faible d'antibiotique capable de tuer les microorganismes en générale (Soussy *et al.*, 2009).

➤ Technique

L'antibioGramme par la technique de diffusion est l'objet d'une standardisation rigoureuse. En effet, on a suivi le procédé suivant :

- ❖ Prélever une colonie parfaitement isolée à l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée.
- ❖ Dissocier la colonie dans un tube contenant 10 ml d'eau physiologique stérile. Homogénéiser soigneusement la suspension.
- ❖ Prélever 1 ml de la suspension obtenue et le transférer dans un deuxième tube contenant 10 ml d'eau physiologique. Homogénéiser soigneusement la suspension.
- ❖ A l'aide d'une pipette Pasteur, inonder la surface d'une gélose de Mueller-Hinton avec deux à quatre ml de la suspension. Enlever soigneusement l'excès de liquide.
- ❖ Sécher les boîtes à température ambiante (incuber pendant 2h).
- ❖ Appliquer les disques à l'aide du distributeur de disque. (Fig. 31)

Antibiotiques testés :

- ✓ Ampicilline,
 - ✓ Streptomycine,
 - ✓ Gentamicine,
 - ✓ Colistine,
 - ✓ Acide nalidixique,
 - ✓ Association Triméthoprim/Sulfaméthoxazole.
- ❖ Incuber 18 à 24 heures à 37°C [17].

➤ Lecture

Pour chacun des disques d'antibiotique, mesurer le diamètre de la zone d'inhibition. Comparer ce diamètre aux diamètres critiques indiqués dans le Tab. 22.

Tab. 22 : Concentrations et diamètres critiques des antibiotiques pour une espèce de la famille des Enterobacteriaceae (Soussy *et al.*, 2009).

Antibiotique	Charge du disque	Concentrations critiques (mg/L)		Diamètres critiques (mm)	
		S	R	S	R
Ampicilline	10µg	≤4	>16	≥19	<14
Sterptomycine	10µg	≤8	>16	≥15	<13
Gentamicine	10UI (15µg)	≤2	>4	≥16	<14
Acide nalidixique	30µg	≤8	>16	≥20	<15
Colistine	50µg	≤2	>2	≥15	<15
Triméthoprim/Sulfaméthoxazole	1.25/23.75µg	≤2/38	>8/152	≥16	<10

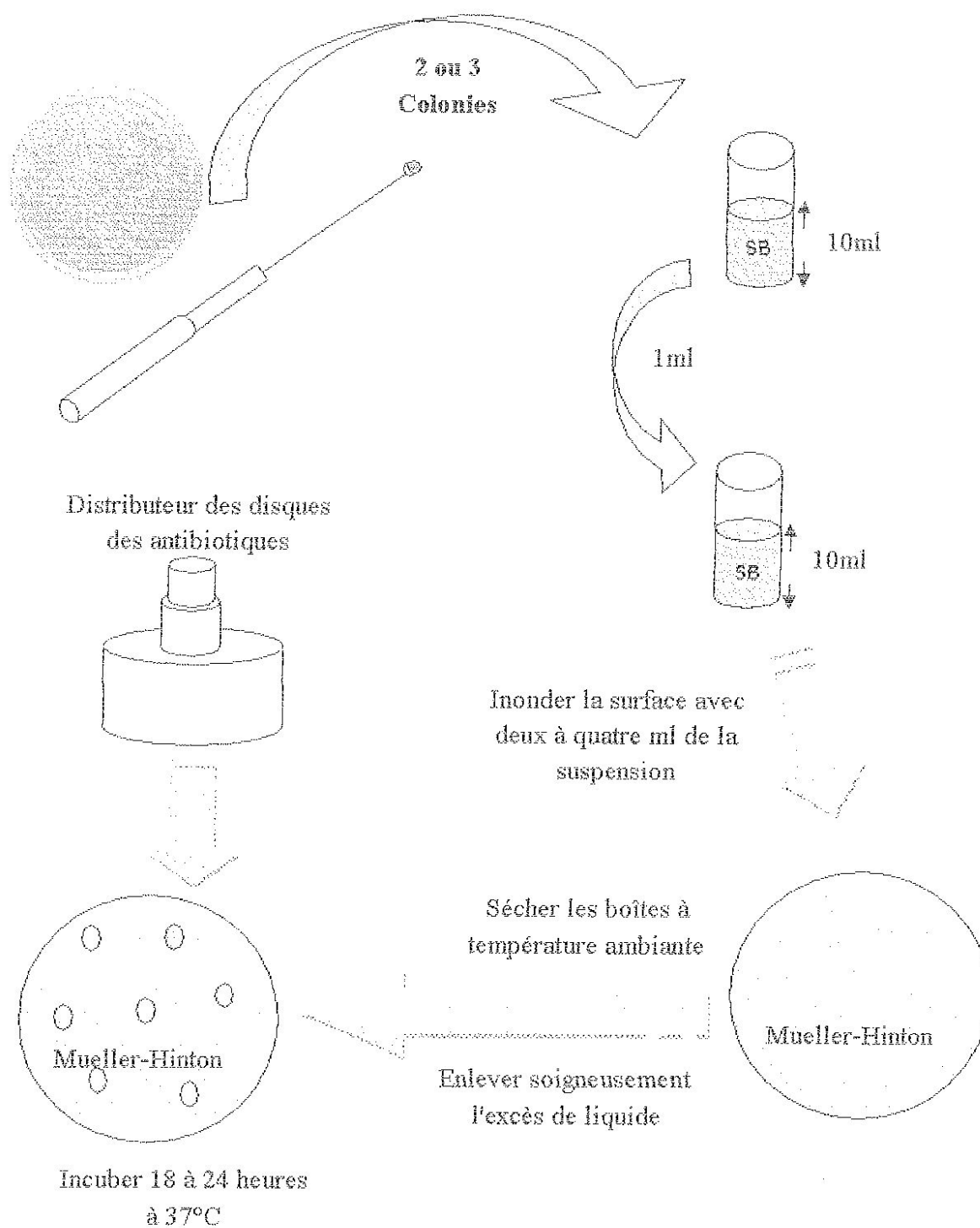


Fig. 31 : Principe de l'antibiogramme par la technique de diffusion

I.3.1.3. Recherche des levures et moisissures

A. Méthode d'ensemencement sur gélose

Nous avons utilisés la technique d'isolement par stries sur gélose coulée dans des boîtes de Pétris contenant de la gélose Sabouraud [24]. (Fig.25)

I.3.2. Les méthodes de détermination des caractéristiques Physicochimiques

A. Les mesures sur site

Certains paramètres physicochimiques ont été mesurés directement sur site au niveau de la veine principale du cours d'eau pour chaque point de prélèvement.

Ces paramètres sont :

- ❖ La température de l'eau (°C)
- ❖ L'oxygène dissous (en mg/l)
- ❖ Le pourcentage de saturation de l'eau en oxygène (%)
- ❖ La conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (CBH, 2004).

• Température

La détermination de la température est faite à l'aide d'un thermomètre incorporé à la conductimètre étalonné préalablement. Plonger la sonde dans l'échantillon pendant cinq (5) minutes (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005), et lire directement la température exprimée en degré Celsius (°C) (Coulibaly, 2005).

• Oxygène dissous

La mesure de l'oxygène dissous est réalisée à l'aide d'un oxymètre : méthode électrochimique (Rodier, 1984).

➤ Principe

La réduction de l' O_2 au niveau d'une cathode convenable engendre un courant proportionnel à la pression partielle d' O_2 dans l'eau (Rodier, 1984).

➤ Technique

Plonger la sonde dans l'eau à analyser (s'assurer que l'écoulement est de façon continue sur la membrane de la sonde).

➤ Lecture

Exprimer la concentration de l'oxygène dissous en mg/l. Après stabilisation de l'affichage sur le cadran de l'oxymètre on notant la lecture.

On a également exprimé la concentration de l'oxygène dissous en taux de saturation (%) en utilisant le même appareil (mesure automatique) (Rejsek, 2002).

• La conductivité

La détermination de la conductivité se fait par la mesure de la résistance électrique de la solution. Un voltage est appliqué entre deux électrodes plongées dans l'échantillon, et la chute du voltage due à la résistance de la solution est utilisée pour calculer la conductivité par centimètre (Coulibaly, 2005). Pour cette mesure on a utilisé un conductimètre électrique.

L'unité principale de mesure de la conductivité est le Siemens. Dans les solutions aqueuses, utiliser fréquemment le millisiemens / centimètre (mS/cm) ou le microsiemens / centimètre (µS/cm) (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

B. Les mesures en laboratoire

• Le pH

Pour cette détermination, nous avons utilisé la méthode électro-métrique avec électrode combinée selon la norme AFNOR (Coulibaly, 2005). Nous avons utilisé un pH mètre muni d'une électrode préalablement étalonné avec des solutions tampon pH = 4 puis pH = 7. La méthode a consisté à plonger l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bêcher dans lequel le barreau d'un agitateur magnétique homogénéise l'échantillon. Après stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH mètre, nous avons noté le pH (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

• Les solides totaux dissous

Pour cette mesure nous avons utilisé un multi- paramètre où la valeur des solides totaux dissous (TDS) est exprimée en milligramme/litre (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

• Les matières en suspension (M.E.S)

Pour la détermination des matières en suspension (M.E.S) nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant ($0.45\mu\text{m}$) (Jean, 2004).

➤ Principe

Vaporiser l'échantillon à une température de 105°C pendant 1 heure, et déterminer les matières en suspension par pesée différentielle (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

➤ Mode opératoire

- ✓ Mouiller le filtre avec de l'eau distillée.
- ✓ Mettre dans l'étuve 105°C pendant 1 heure.
- ✓ Sortir le filtre, puis le mettre dans le dessiccateur pour le refroidissement.
- ✓ Peser le filtre sur la balance jusqu'à obtention d'un poids stable.
- ✓ Prendre une fiole d'un volume V (50 ml), laver abondamment avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée.
- ✓ Prendre une prise d'essai de 25 ml, placer le filtre dans la rampe de filtration.
- ✓ Verser le volume d'eau (25 ml) jusqu'à filtration complète.
- ✓ Récupérer le filtre et le mettre à l'étuve à 105°C pendant 1 heure.
- ✓ Mettre le filtre dans le dessiccateur pendant 15 minutes jusqu'à refroidissement total.
- ✓ Peser le filtre.

Le taux des matières en suspension (MES), exprimé en milligramme par litre (mg/l) est donné par l'expression

$$\text{MES} = (M_1 - M_0) 40$$

Où

M_0 : La masse en milligrammes du disque filtrant avant utilisation ;

M_1 : La masse en milligrammes du disque filtrant après utilisation (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005).

Les autres paramètres physico-chimiques (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) ont été déterminés selon les méthodes chimiques classiques et instrumentales :

• Les nitrites

La température des échantillons doit être comprise entre 15 et 25°C.

- Introduire 25 ml d'eau à analyser dans un bicher ;
- Ajouter 0.5 ml du réactif 1 (SOLUTION DE SULFANILAMIDE) et mélanger ;
- Laisser reposer 2 à 8 min ;
- Ajouter 0.5 ml du réactif 2 (SOLUTION DE N-NAPHTYL-ETHYLENEDIAMINE) et mélanger à nouveau ;
- Laisser au repos pendant 10 min pour obtenir le développement de la coloration attendue (rose), pas plus de 2 h ;

Mesure l'absorbance dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 543 nm (Aminot et Chaussapied, 1983).

• Nitrates

Prendre 25 ml de l'eau à analyser ;

- Ajouter 1 ml de la solution concentrée de chlorure d'ammonium et mélanger ;
- Verser environ 2.5 ml de cette solution dans la colonne de cadmium et laisser écouler ;
- Verser alors le reste de l'échantillon
- Rejeter les 15 premiers millilitres ;
- Rincer une éprouvette graduée de 25 ml avec quelques millilitres de la solution sortant de la colonne et recueillir 25 ml de l'effluent ;
- Ajouter aussi 0.5 ml de réactif 1 (SOLUTION DE SULFANILAMIDE) et mélanger ;
- Laisser reposer 2 à 8 min ;
- Ajouter 0.5 ml du réactif 2 (SOLUTION DE N-NAPHTYL-ETHYLENEDIAMINE) et mélanger à nouveau ;
- Attendre au moins 10 min pour obtenir le développement de la coloration attendue (rose), pas plus de 2 h ;

Mesure l'absorbance dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde de 543 nm (Aminot et Chaussapied, 1983).

• L'ammoniac (NH_4^+) (méthode de Karoleff 1969)

Prendre 50 ml volume de l'eau à analyser dans un flacon ;

- Ajouter 1.5 ml de réactif 1 (SOLUTION DE PHENOL-NITROPRUSSATE) ;

- Boucher et agiter pour bien homogénéiser ;
- Ajouter 1.5 ml de réactif 2 (SOLUTION ALCALINE D'HYPOCHLORITE) ;
- Boucher et agiter à nouveau ;
- Placer immédiatement à l'abri de la lumière pendant une nuit à température ambiante ;
- Mesurer l'absorbance de la solution à 630 nm (Aminot et Chaussapied, 1983).

• **Phosphore total (Po_4^{3-})**

50 ml d'eau à analysée ;

- Ajouter à l'aide d'une pipette 5 ml de la solution de peroxodisulfate de potassium et 5 ml H_2SO_4 ;
- Faire bouillir doucement pendant 30 - 60 minutes environ afin de maintenir le volume entre 25 et 35 ml ;
- Refroidir ;
- Ajuster le pH entre 1,5 et 2,5 avec une solution de NaOH à 2 mol/l et transféré dans une fiole jaugée de 500 ml, en diluant à 200 ml avec de l'eau distillée.
- Prendre 20 ml de la solution dans laquelle ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 4 ml de la solution II molybdate acide et compléter à 50 ml avec l'eau distillée.
- Après 10 - 15 minutes mesurer l'absorbance à 700 nm (Rejsek, 2002).

CHAPITR IV : RESULTATS ET DISCUSSION

I. RESULTATS ET DISCUSSION

I.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de l'Oued Zénati

Les résultats détaillés des analyses physico-chimiques de l'eau de l'Oued-Zénati sont illustrés dans les figures : 32 à 51.

• Le pH

Pour ce paramètre on n'a pas remarqué de grandes variations entre les points de prélèvement; les valeurs enregistrées sont globalement très proches. Ces valeurs sont comprises entre 7,4 et 8,09 avec une moyenne de 7,72 (Fig. 32). Selon l'OMS (2004) le pH d'une eau superficielle doit être compris entre 6,5 et 8,5 (Guergazi et Achour, 2005).

La légère alcalinité pourrait être expliquée par l'activité biologique au sein de l'oued, par la nature des sols traversées (site 01 et 03) et/ou à l'apport des eaux des rejets de la ville de Oued-Zénati (eaux salées chargées) (site 02).

• La température

L'évolution de la température de l'eau superficielle varie généralement en fonction de la température atmosphérique (El Blidi *et al.*, 2006).

Cependant les températures de l'eau enregistrées donnent des valeurs oscillants entre 9°C pendant le mois de janvier et 24°C pendant le mois de septembre présentant également des variations temporelles indiquant bel et bien une influence de la variation saisonnière climatique, dépendant de la nature des masses d'air (tropicale humides et très chaudes en périodes estivale, courants d'air plus froid en période hivernale) (Guetaf, 2008). Des variations spatiales des valeurs de température sont à notées. On a enregistré des valeurs très élevées au point P2 avec un maximum de 24,8°C, alors que les deux autres points (P1 et P3) présentent des valeurs proches et plus faibles que P2. Les minimums notés sont respectivement 9,6°C et 9,3°C. (Fig. 33)

L'écart thermique entre ces points de prélèvements est due à la sortie des rejets des eaux usées de la ville de Oued Zénati au site 2 qui cause une augmentation remarquable de la température de l'eau à ici par apport aux deux autres.

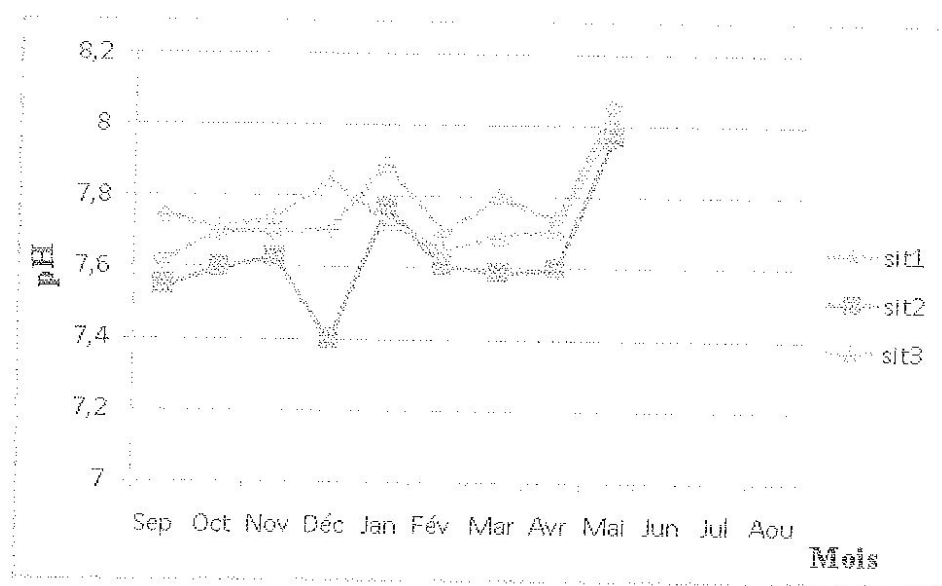


Fig. 32. Variations spatio-temporelles des valeurs du pH dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

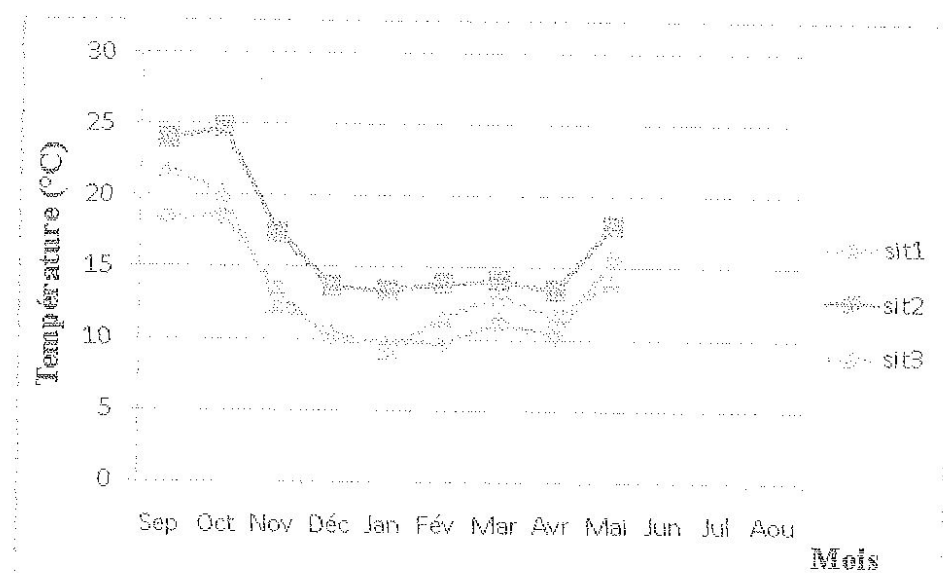


Fig. 33. Variations spatio-temporelles des valeurs de la température dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

• La conductivités électriques, la salinité et la TDS

La conductivité électrique et la salinité suivent le même rythme et sont proportionnelles aux sels dissous dans l'eau. Les valeurs obtenues montrent des variations temporelles plus importantes. On ne remarque pas de grandes variations spatiales. Les valeurs de la conductivité, de la salinité et de la TDS sont plus ou moins similaires dans l'ensemble des sites. On a également noté que les valeurs enregistrées pour la conductivité en période de crue sont plus élevées que celles notées pour les autres périodes. Elles oscillent généralement entre 1332 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrées dans le point P1 pendant le mois de mai et 2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans le point P2 durant le mois d'avril avec une moyenne annuelle pour l'ensemble de l'oued équivalent à 1769,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Fig.34). La même chose est observée pour la salinité où le maximum est enregistré à P2 et P3 durant les mois de septembre et de novembre, respectivement, soit 0,9 psu et un minimum de 0,5 psu enregistré à P1. La moyenne annuelle est de 0,66 psu (Fig.35). Egalement, la TDS présente le même phénomène. On a enregistré un maximum de 1900 mg/l à P2 pendant le mois d'avril et un minimum de 1210 mg/l pendant le mois de janvier dans le point P1 ce qui donne une moyenne annuelle de 1614,33 mg/l. (Fig.36)

Ces valeurs élevées traduisant ainsi une forte minéralisation des eaux de la région et peuvent être expliquées par l'érosion mécanique et le ruissellement pendant la période des crues et par l'apport des rejets d'eaux usées.

• Les matières sèches et sédimentation

Les valeurs enregistrées montrent des variations spatio-temporelles très importantes. Ainsi, la période des crues présente des valeurs très élevées, le maximum noté est de 372 mg/l dans le point P2 pendant le mois d'avril et le minimum de 45 mg/l dans le point P1 durant le mois de septembre avec une moyenne annuelle de 197,74 mg/l (Fig.37).

Les fortes teneurs des MES correspondent à la présence dans le milieu aux particules solides transportées par l'eau de ruissellement après l'érosion des sols soit le plus souvent des sédiments remis en suspension à la faveur d'une augmentation de la vitesse de l'écoulement de l'eau (les crues).

En effet, les teneurs élevées des MES causent une pollution importante par l'accumulation de particules flottantes et par la turbidité due aux petites particules en suspension. L'effet perturbant pour le milieu est dû aux dépôts qui peuvent gêner la vie

aquatique. D'autre part, ces teneurs de MES empêchent la pénétration de la lumière et diminuent l'oxygène dissous, qui du coup entraîne la limitation du développement aquatique et à long terme l'eutrophisation de l'oued (Moussa Moumouni Djermakoye, 2005 ; Rodier, 1984).

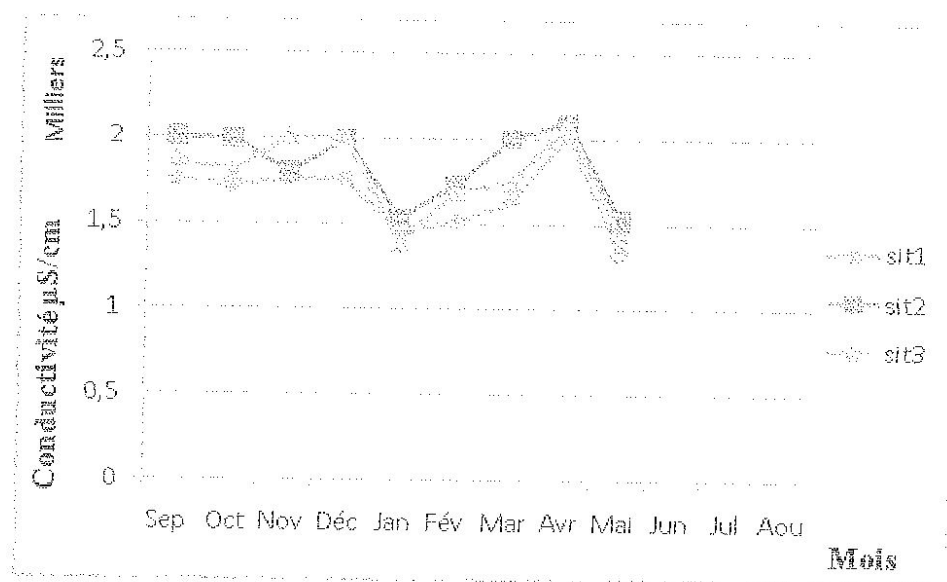


Fig. 34. Variations spatio-temporelles des valeurs de la conductivité dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

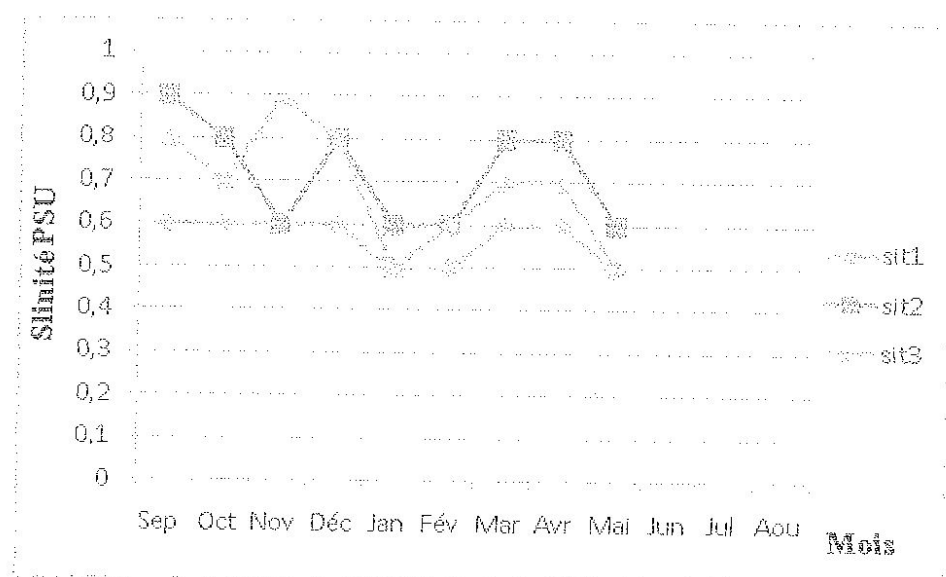


Fig. 35. Variations spatio-temporelles des valeurs de la salinité dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

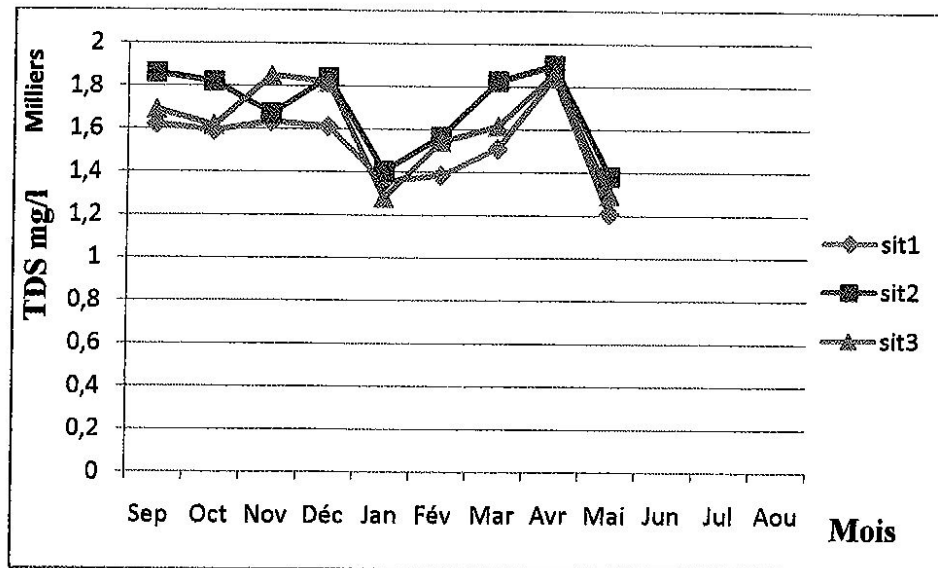


Fig. 36. Variations spatio-temporelles des valeurs du TDS dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

• L'oxygène dissous

L'oxygène est un facteur essentiel à la vie aquatique, en particulier aux organismes assurant l'autoépuration des rivières. De ce fait, cet élément est un bon indicateur de pollution d'un cours d'eau et du suivi de son autoépuration (Derwich *et al.*, 2008).

Les teneurs en oxygène déterminées pour la période d'étude présente des variations saisonnières ainsi que spatiales remarquables. On note que les taux obtenus pour l'oxygène dissous au niveau du site 2 sont les plus faibles. Ils oscillent entre 1,2 mg/l et 14,3 mg/l présentant également un taux de saturation 15% et 142 % enregistrées pendant le mois de sep. et de janvier. Cette diminution du taux d'oxygène dissous est en relation avec le métabolisme bactérien qui utilise cet élément pour dégrader les matières organiques très abondante (l'arrivée des eaux usées dans le point P2 est riche en matières organiques et en microorganismes). Cependant les deux autres points de prélèvements P1 et P3 présentent un taux élevés en oxygène dissous, avec un maximum de 15,9 mg/l enregistré dans le point P1 en janvier et 16,4 mg/l enregistré à P3 durant le même mois ce qui correspond à des taux de saturation de 152 % et 155 %. On obtient alors une moyenne annuelle de 10,26 mg/l. (Fig. 38)

L'accroissement du taux d'oxygène au niveau des sites 1 et 3 par rapport au site 2 est probablement dû à la diminution du taux de la pollution et/ou à l'arrivée des eaux des affluents (chaabats) alimentant l'oued et qui sont riches en oxygène dissous surtout en période de pluies. Durant cette période, on a globalement noté un accroissement remarquable du taux d'oxygène dissous pour l'ensemble des points de prélèvement (P1, P2 et P3).

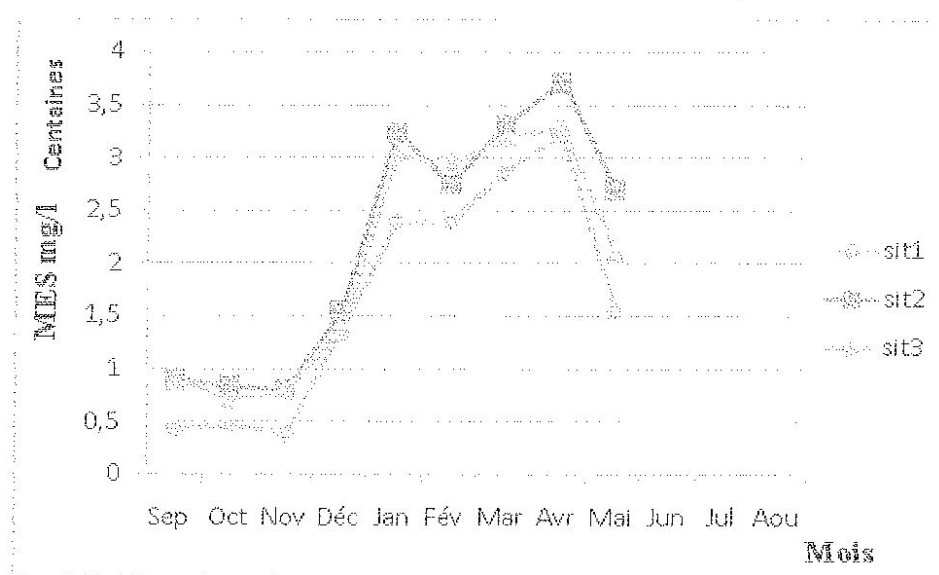


Fig. 37. Variations spatio-temporelles des teneurs en MES dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

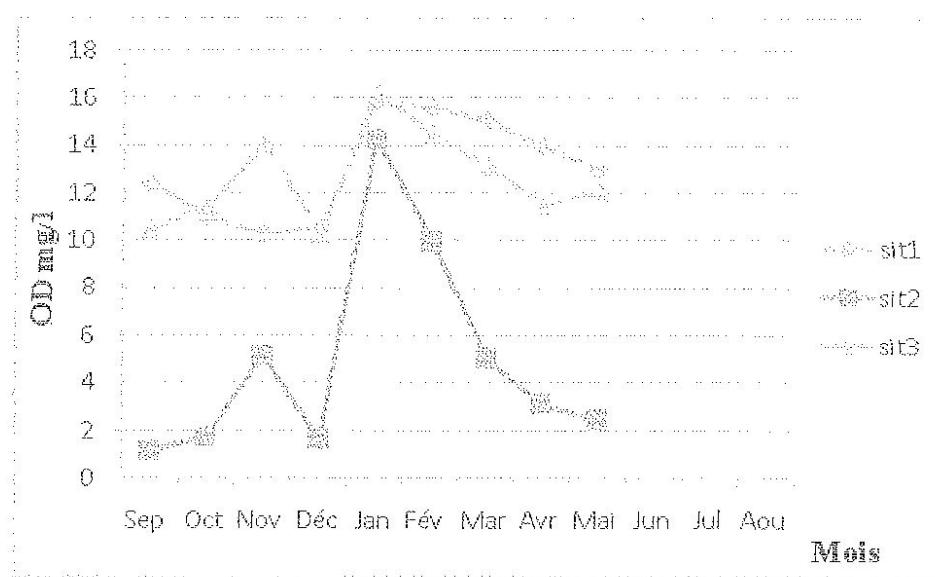


Fig. 38. Variations spatio-temporelles des valeurs de l'OD dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

• Les variations des teneurs de l'azote inorganique dissous (NID)

✓ L'azote ammoniacal (NH_4^+)

Les teneurs en azote ammoniacal fluctuent fortement tout au long des saisons du travail. Ces fluctuations sont aussi observées d'un site à l'autre. La valeur maximale est enregistrée dans le point P2 pendant le mois de novembre, alors que les concentrations les plus faibles sont observées durant le mois de mai dans le point P1 affichant une valeur minimale de 0,16 mg/l. On obtient également une moyenne annuelle de 1.14 mg/l correspondant à une fraction de 23.85 % des teneurs en azote inorganique dissous (Fig.39), ce qui représente également une pollution par cet élément d'azote réduit puisque la valeur norme pour les eaux de surface n'est que de 0,342 mg/l (Aounallah, 2007).

Les valeurs élevées d'ammonium enregistrées en période de chaleurs élevées (septembre et octobre..) sont dûs à la diminution des apports en eaux (apports météorologique), à l'évaporation qui augmente la concentration des ions dissous et à l'augmentation de l'activité bactérienne. En effet, en présence de microorganismes, l'azote organique contenu dans les matières organiques est oxydé en ion ammonium. La nitrification convertit l'ammonium en nitrate en passant par le nitrite (Fig.40). Cette biotransformation s'effectue en deux étapes, en présence de *Nitrosomas* et de *Nitrobacter*. Le nitrate formé peut subir la dénitrification par réduction, essentiellement en nitrites. La dénitrification est assurée par *Pseudomonas*, *Achronobacter*, *Bacillus* et *Micrococcus*. Les germes dénitrifiant sont les hétérotrophes (Campbell, 1995 in Derwich *et al.*, 2008).

A l'opposé la diminution de l'ammonium en période des crues est due d'une part à la dilution par les eaux de pluie et d'autre part à une régression de l'activité microbienne.

✓ Les nitrates (NO_3^-)

Les teneurs en nitrates varient au cours de l'étude de 1,53 mg/l à 2,63 mg/l en saisons sèches et de 1,82 mg/l à 5,65 mg/l durant les saisons des pluies. Ainsi ses teneurs montrent des variations dans l'espace où on distingue des taux élevés dans les points P1 et P3 par rapport à P2, avec un maximum enregistré dans le point P1 pendant le mois de mai soit 7,309 mg/l et un minimum dans le point P3 durant le mois de septembre soit 1.2 mg/l. (Fig. 41)

Les valeurs légèrement élevées du taux de nitrates en saison de pluies par rapport aux saisons des températures élevées, remarquées principalement dans les points P1 et P3, pourraient être due à la pratique agricole qui consiste à appliquer abondamment des engrais

industriels ou du fumier. L'utilisation d'engrais chimique et organique (fumures) pour amender les sols enrichit les champs en azote et sous l'effet des pluies, cet azote est lessivé à l'oued augmentant également sa teneur dans l'eau. Sous un autre angle, la charge polluante due aux rejets des eaux usées directement rejetés dans l'oued, sans traitement préalable, au niveaux du point P2 est à l'origine des teneurs des nitrates enregistrées dans ce site.

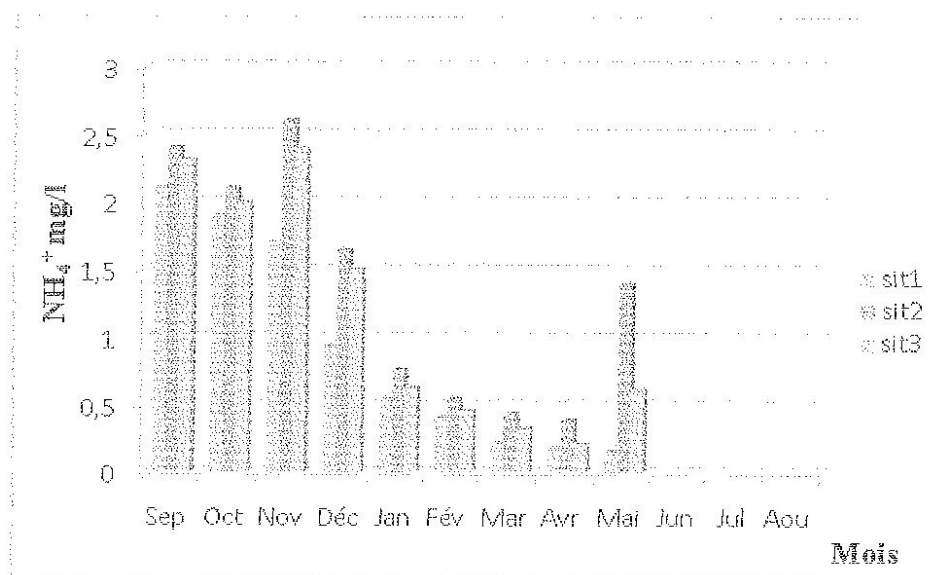


Fig. 39. Variations spatio-temporelles des $[NH_4^+]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

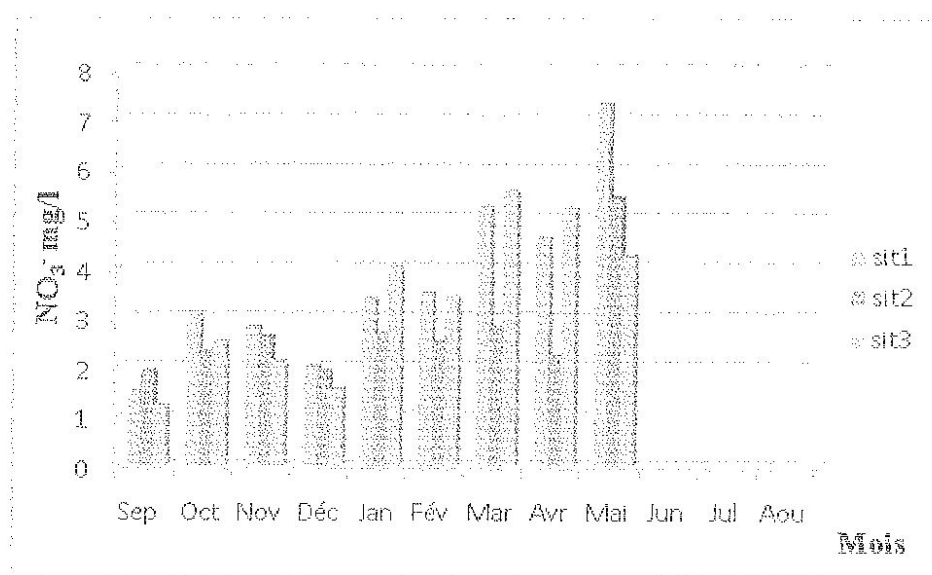


Fig. 41. Variations spatio-temporelles des $[NO_3^-]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

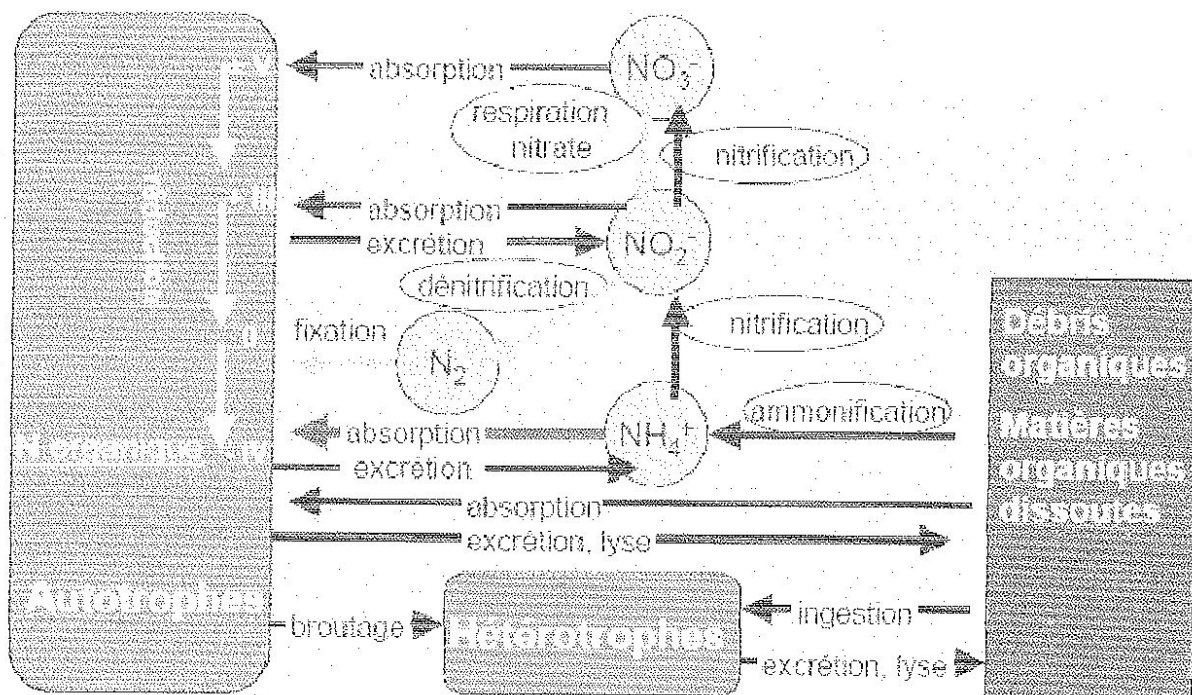


Fig. 40. Schéma du cycle bio-géochimique de l'azote (Gérard, 2001).

L'altitude des différentes formes d'azote inorganique dissous correspond à leurs niveaux d'oxydation (+V pour NO_3^- , +III pour NO_2^- , 0 pour N_2 et -IV pour NH_4^+). Les médiations bactériennes sont évoquées par les ovales jaunes.

✓ Les nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites constituent une forme transitoire de l'azote minéral dissous, passant en grande partie sous forme d'ammonium dans les conditions d'hypoxie et se transforment inversement en nitrate lorsque le milieu s'enrichit en oxygène. Il s'agit donc d'un stock convertible ou réserve potentielle (Guetaf, 2008). En effet, les résultats montrent que les teneurs en nitrites suivent un rythme saisonnier équivalent à celui du nitrate. On note ainsi des teneurs remarquables en périodes de hautes eaux, où les valeurs sont de l'ordre de 1,086 mg/l enregistrés dans le point P2, alors que les faibles valeurs sont enregistrées en périodes de température élevées dans le point P1 soit 0,2 mg/l. (Fig. 42)

Cet élément peut donc être toxique à ces concentrations exagérées (moyenne de 0,40mg/l) dépassant la valeur norme (0,184 mg/l) (Aounallah, 2007). Ceci est dû aux mêmes facteurs responsables des variations des teneurs des nitrates. La somme des différentes formes de l'azote constitue l'azote inorganique dissout et sa teneur varie au même titre que ces formes. (Tab. 23 et Fig.43)

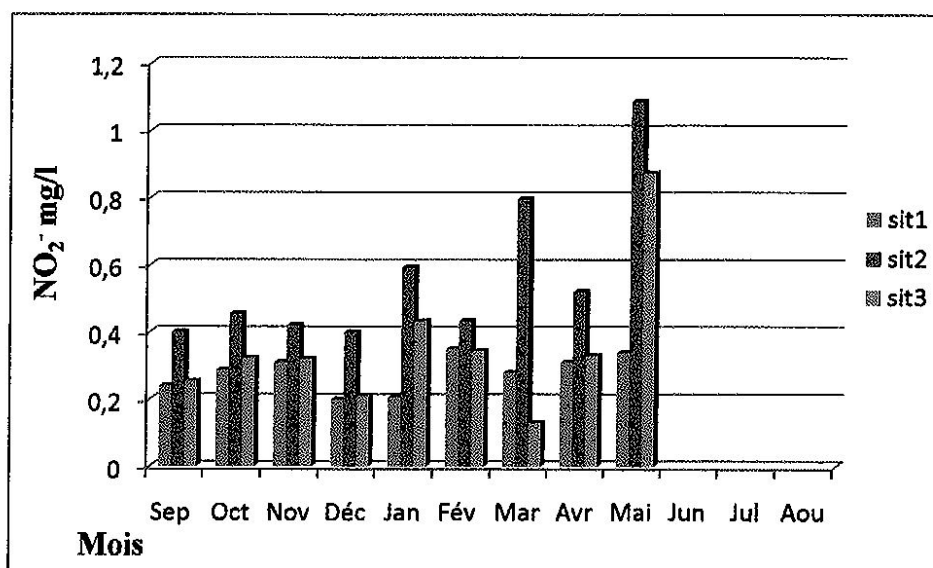


Fig. 42. Variations spatio-temporelles des $[\text{NO}_2^-]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

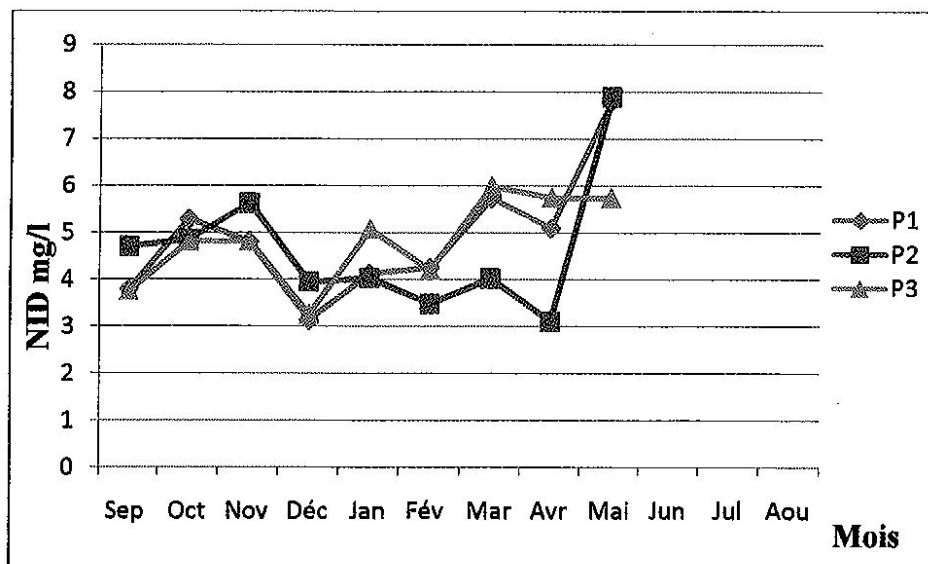


Fig. 43. Variations spatio-temporelles des [NID] dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

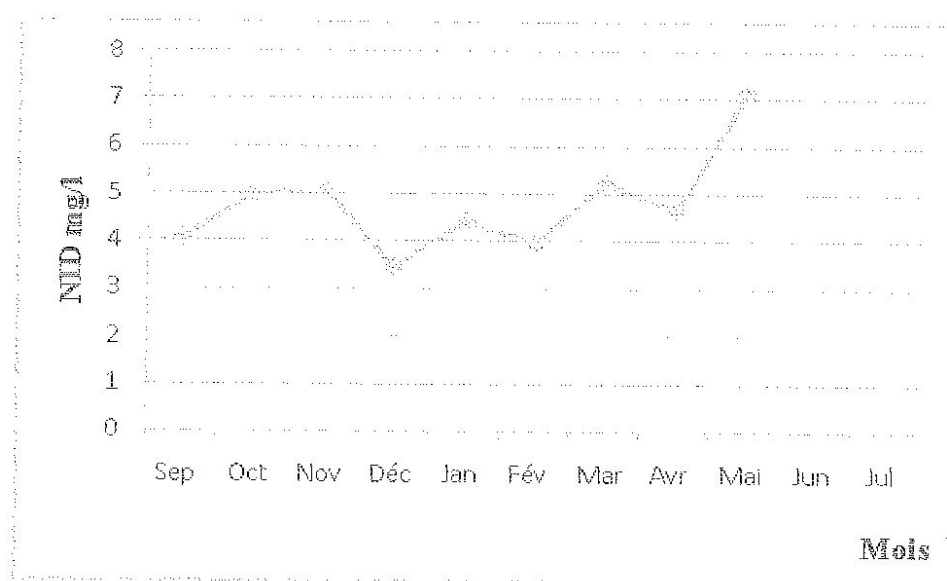


Fig. 44. Variation des teneurs en NID dans l'ensemble de l'eau de l'Oued-zénati
(septembre 2008 – mai 2009)

Tab. 23. Variations mensuelles des différentes formes de l'azote inorganique dissous (NID) : $(\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3 + \text{NH}_2)$ dans l'Oued-Zénati.

Automne	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	NID	% NH_4^+	% NO_2^-	% NO_3^-
Moyenne	2.166	0.33	2.22	1.72	4.716	45.93	6.99	47.07
Minimum	1,996	0,28	1,53	1,38	3,81			
Maximum	2,27	0,36	2,63	1,9	5,26			
Hiver	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	NID	% NH_4^+	% NO_2^-	% NO_3^-
Moyenne	0.823	0.35	2.77	1.24	3.948	20.97	8.86	70.16
Minimum	0,473	0,27	1,82	0,8	2,57			
Maximum	1,364	0,41	3,35	1,87	5,12			
Printemps	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	NID	% NH_4^+	% NO_2^-	% NO_3^-
Moyenne	0.437	0.52	4.72	1.36	5.677	7.69	9.16	83.14
Minimum	0,263	0,39	4	0,8	4,66			
Maximum	0,724	0,77	5,65	1,86	7,14			

* Les phosphates (PO_4^{3-})

Le suivi des teneurs des ions phosphates montre que cet élément est abondant tout au long de la période de travail avec des valeurs traduisant une qualité médiocre des eaux de l'Oued-Zénati, marqué par des pics observés surtout durant le mois de mars (3,095 mg/l) et

durant le mois de décembre (2,57 mg/l), bien évidemment avec une dominance remarquable observée pour le site 2 par rapport aux deux autres sites 1 et 3. (Fig. 45).

L'augmentation de la pollution urbaine et le grand diversement des eaux usées sont les principales causes de l'élévation remarquée des teneurs en phosphate. A ces phénomènes s'ajoutent les apports des phosphates anthropiques issus de l'agriculture intensive. La moyenne annuelle de 1.45 mg/l qui reste malheureusement supérieure à la valeur norme de la bonne qualité des eaux de surface (0,35 mg/l) (Aounallah, 2007).

✓ Le rapport azote/phosphate (N/P)

Ce rapport se définit généralement entre la somme des concentrations des différentes formes d'azote est la concentration de phosphate (Guetaf, 2008) selon l'équation suivante :

$$N/P = [(NH_4^+ + NO_3^- + NO_2^-)/PO_4^{3-}]$$

Les valeurs saisonnières de N/P calculées sur la base des données enregistrées pour l'ensemble des sites montrent que l'Oued-Zénati fonctionne comme un véritable égout en période des températures élevées ($N/P = 2.74$) sous l'influence des apports anthropiques (enrichis en phosphates). Les valeurs du rapport N/P s'écartent fortement de la valeur d'équilibre pour toutes les saisons. Cette altération du rapport N/P traduit une dominance du phosphore par rapport à l'azote (Fig.46 et Tab.24). En effet, le rapport N/P dans toutes les saisons est inférieur à 7. L'apport excessif des phosphores conduit donc à la prolifération des hélophytes (végétaux aquatiques). Leur dégradation aérobie entraîne l'appauvrissement de l'eau en oxygène qui est accentué par la diminution de la photosynthèse en profondeur qui est liée à l'augmentation de la turbidité. Le phosphore semble être le facteur essentiel en cause dans l'eutrophisation des eaux douces (Aounallah, 2007).

Tab. 24. Valeurs moyennes saisonnières, interval de variation des teneurs en phosphates (mg/l), et du rapport N/P, au niveau de l'Oued-Zénati.

	Automne			Hiver			Printemps		
	PO ₄ ³⁻	NID	N/P	PO ₄ ³⁻	NID	N/P	PO ₄ ³⁻	NID	N/P
Moyenne	1.72	4.716	2,74	1.24	3.948	3,18	1.36	5.677	4,17
Minimum	1,38	3.81	2,76	0,8	2.57	3,21	0,8	4.66	5,82
Maximum	1,9	5.26	2,77	1,97	5.12	2,60	1,86	7.14	3,8

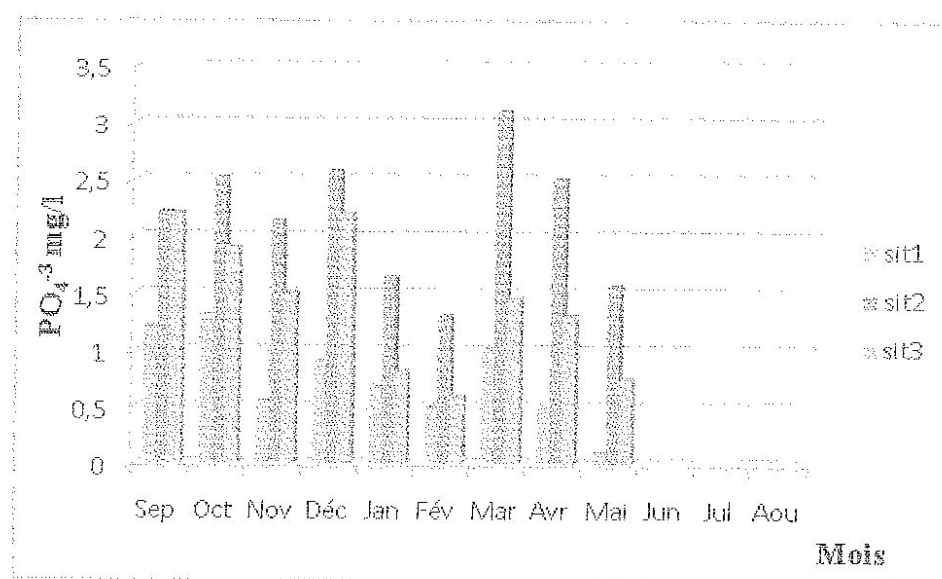


Fig. 45. Variations spatio-temporelles des $[PO_4^{3-}]$ dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

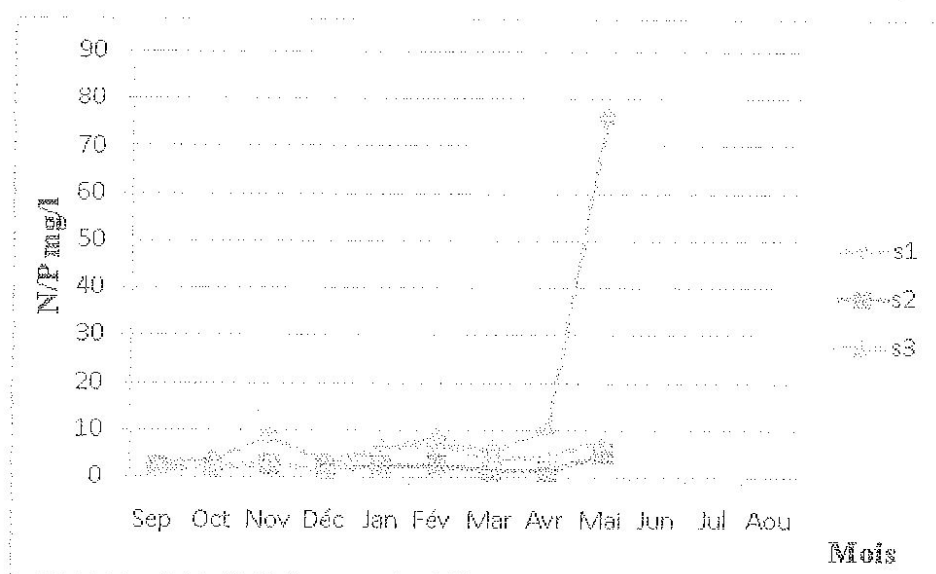


Fig. 46. Les variations spatio-temporelles des valeurs du rapport N/P de l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

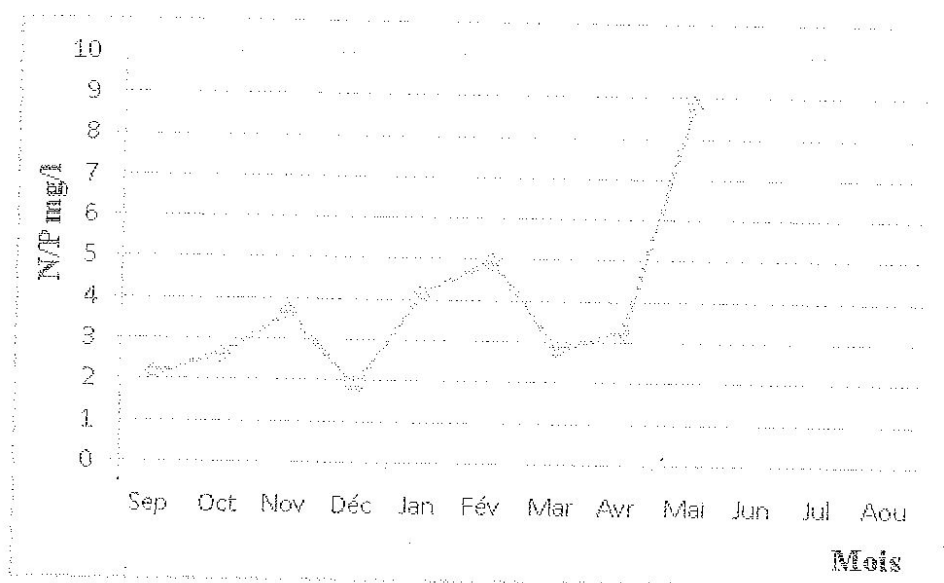


Fig. 47. Les variations des valeurs du rapport total N/P de l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

1.2. Qualité microbiologique de l'eau de l'Oued Zénati

Les variations de la qualité microbiologique de l'eau de l'Oued-Zénati ont été étudiées en fonction de deux paramètres : le temps (durée de l'étude) et l'espace (trois points de prélèvements), où des études récentes ont préalablement soulignés des variations spatio-temporelles dans les eaux de surface des milieux naturels (Chahlaoui, 1996 in Aboukacem, 2007).

1.2.1. Les germes revivifiables

• Variation spatiale

La concentration moyenne de la flore mésophile aérobie totale pour tous les sites de prélèvement est plus de 31×10^5 germes/100 ml. La valeur minimale de 3×10^5 germe/100 ml est enregistrée au niveau de P3. La valeur maximale (plus de 40×10^5 germes/100 ml) est enregistrée au niveau du P2. (Fig. 48)

• Variation temporelle

Nous constatons que la flore totale subit de légères fluctuations au cours de la période de l'étude. La concentration minimale est obtenue durant le mois de mars (3×10^5

germes/100ml), par contre la concentration maximale est observée surtout pendant la période des températures élevées (plus de 40×10^5 germes/100 ml). (Fig. 48)

1.2.2. Les coliformes totaux

• Variation spatiale

Pour les coliformes totaux, la concentration moyenne est de l'ordre de 52×10^6 germes/100 ml. La concentration maximale est enregistrée au niveau du point P2 (plus de 14×10^8 germes/100 ml), tandis que la concentration minimale est obtenue au niveau des points P1 et P3 (25×10^2 germes/100 ml). (Fig. 49)

• Variation temporelle

On note aussi des variations temporelles, où la concentration minimale est enregistrée durant les mois de décembre et de janvier (25×10^2 germes/100 ml), alors que la maximale est notée durant toute la période de l'étude (plus de 14×10^8 germes/100 ml). (Fig. 49)

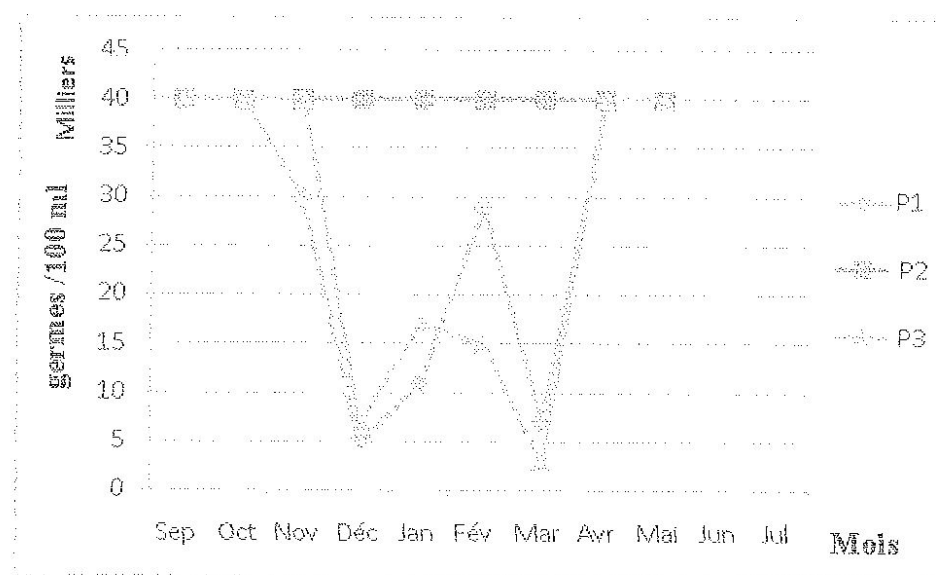


Fig. 48. Evolution des concentrations des germes totaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

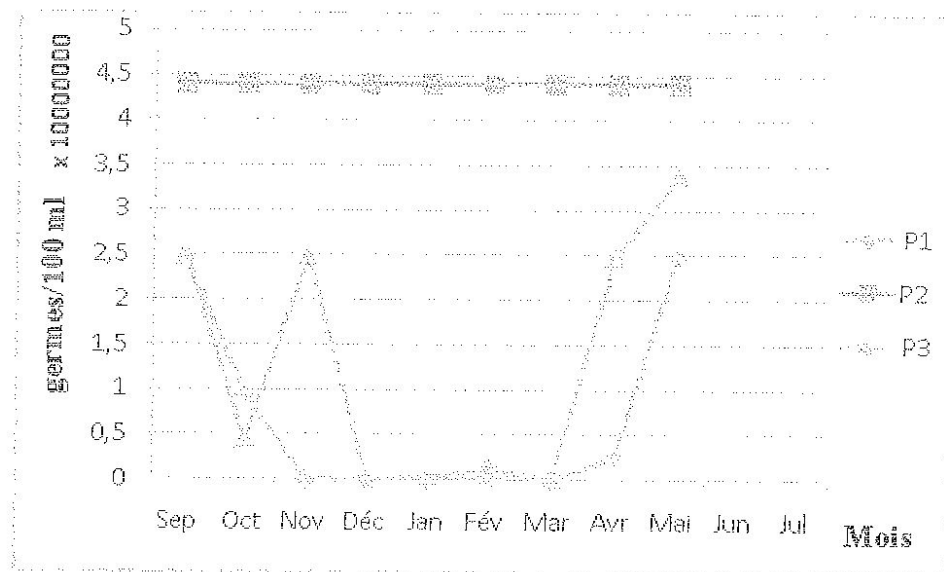


Fig. 49. Evolution des concentrations des coliformes totaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

I.2.3. Les coliformes fécaux

• Variation spatiale

La numération des coliformes fécaux nous montre que l'eau de l'Oued-Zénati renferme une concentration moyenne de l'ordre de 49×10^5 germes/100 ml. La valeur maximale est enregistrée au niveau du point P2 (25×10^6 germes/100 ml) tandis que la valeur minimale est obtenue au niveau du point P1 (9×10^2 germes/100 ml). (Fig. 50)

• Variation temporelle

La concentration maximale est enregistrée durant les mois d'avril et mai (25×10^6 germes/100 ml), par contre au cours du mois de janvier, on a enregistré la valeur la plus faible (9×10^2 germes/100 ml). (Fig. 50)

I.2.4. Les streptocoques fécaux

• Variation spatiale

Quant aux streptocoques fécaux, on note que leur concentration moyenne dans l'eau de l'Oued-Zénati est de l'ordre de 17×10^4 germes/100ml, avec une valeur maximale enregistrée au niveau du point P2 (15×10^5 germes/100 ml) et une valeur minimale enregistrée au niveau du point P1 (4×10^2 germes/100 ml). (Fig. 51)

• Variation temporelle

Par ailleurs, les résultats montrent que la concentration moyenne de l'eau de l'Oued-Zénati en streptocoques fécaux subit des fluctuations au cours de la période de l'étude. La concentration minimale est enregistrée durant le mois de décembre (4×10^2 germes/100 ml), et que la concentration maximale est enregistrée pendant le mois de octobre (15×10^5 germes/100 ml). (Fig. 51)

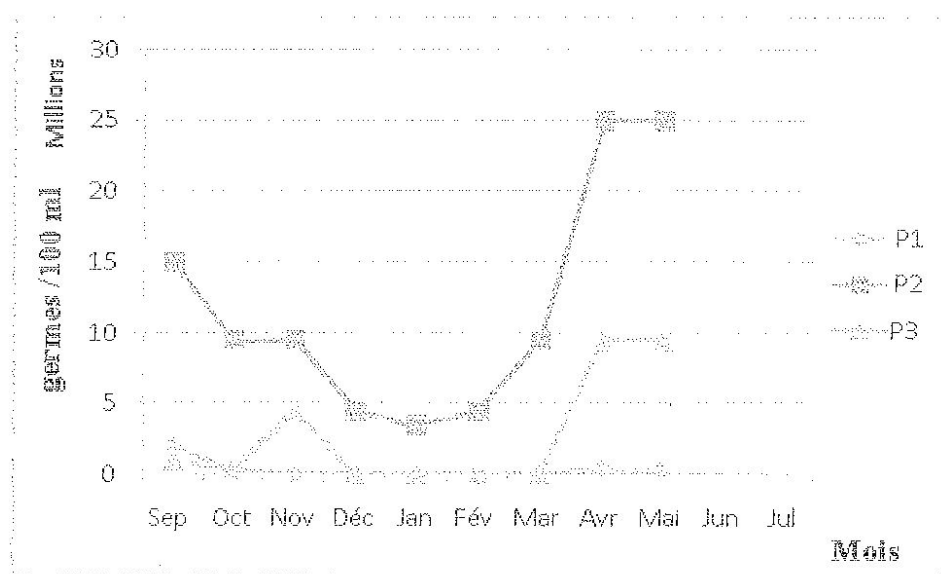


Fig. 50. Evolution des concentrations des coliformes fécaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

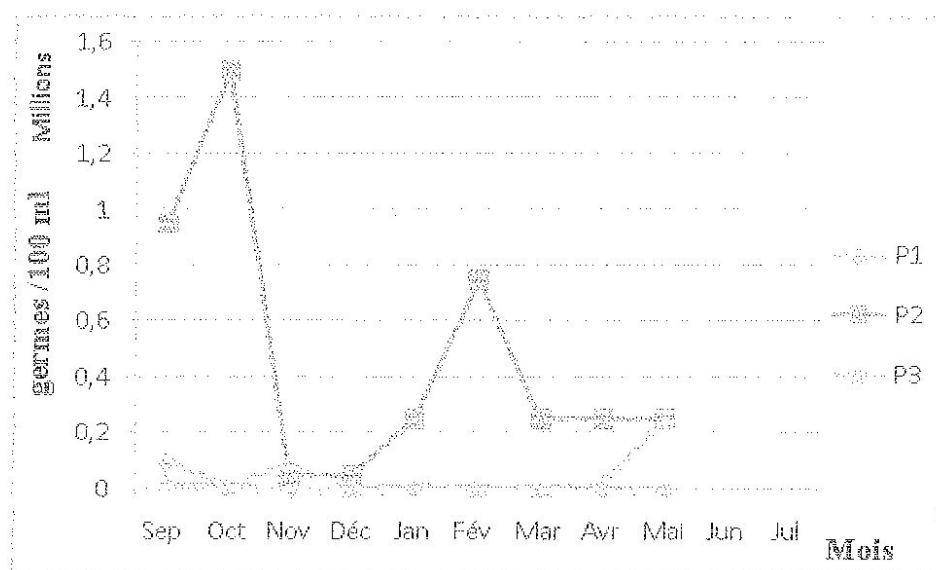


Fig. 51. Evolution des concentrations des streptocoques fécaux dans l'eau de l'Oued-Zénati (septembre 2008 – mai 2009)

Plusieurs facteurs pourraient expliquer ces variations spatio-temporelles bactériologiques des eaux étudiées :

- ✓ Des facteurs liés à l'environnement et aux comportements de la population du fait de l'absence d'un système de collecte, de traitement et d'évacuation des eaux usées.
- ✓ Des facteurs liés au système de collecte, d'évacuation et de traitement des ordures ménagères.
- ✓ La défécation dans la nature des matières organiques (déchets humain ou animal) (Dégbey *et al.*, 2008).

En effet, les variations spatiales importantes de la charge bactérienne et de la flore indicatrice de contamination fécale semblent être liées au courant de l'eau et à l'effet des rejets domestiques le long de l'oued. En outre, les rejets d'élevage du bétail ainsi que l'utilisation du fumier comme fertilisant, contribuent à leur tour à la pollution des eaux de surfaces.

Cependant les concentrations élevées des bactéries enregistrées au niveau du point P2 sont dûs aux rejets des eaux usées chargées en microorganismes et en matières organiques, alors que les quelques apports des fumiers utilisées en épandage et/ou rejetés dans la nature par les éleveurs sont probablement la source de contamination des points P1 et P3.

Concernant les variations temporelles des valeurs enregistrées, elles peuvent être expliquées par l'influence des changements des conditions hydrométéorologiques. La température et la précipitation ont le rôle le plus important en diminuant et/ou en augmentant les conditions du développement et de croissance bactérienne. En effet, la diminution de la concentration en coliformes totaux, en coliformes fécaux et en streptocoques fécaux durant les mois de décembre et de janvier est due au fait que pendant la période des pluies, le niveau d'eau augmente, provoquant une dilution du milieu. Durant cette période, la température s'abaisse et donc réduction du métabolisme et du nombre des bactéries.

Durant toute la période de l'étude et au niveau de toutes les stations, la concentration en streptocoques fécaux est plus faible que celle des coliformes fécaux. Ces résultats, concordent avec les observations de Chahlaoui (1996). Ils ont été expliqués par une différence dans le taux de déclin qui est plus rapide chez les streptocoques fécaux et qui peut être influencé par les facteurs abiotiques du milieu naturel (Aboulkacem, 2007).

1.2.5. Rapport coliformes fécaux/ streptocoques fécaux

La quantification de la flore de contamination fécale (Tab. 25) nous a permis de suivre l'évolution du rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux au niveau de l'eau de l'Oued-Zénati.

Tab. 25. Détermination du rapport coliformes fécaux/streptocoques fécaux

Mois /sites	P1	P2	P3
Sep	15,78	21,05	38
Oct	6,33	23,33	120
Nov	211,11	22,22	47,36
Déc	100	22,5	1
Jan	14	1	1,66
Fév	6	50	10
Mar	38	2,14	18
Avr	100	500	380
Mai	100	277,77	38

D'où il est possible de déterminer et de connaître l'origine de la contamination fécale par l'utilisation du rapport CF/SF (Bouchriti *et al.*, 1992 in Galaf et Ghannam, 2003).

Tab. 26. Origine de la pollution fécale selon le rapport CF/SF (Source: Borrego et Romero, 1982 in Galaf et Ghannam, 2003)

Ratio CF/SF	Source de Contamination
$R < 0.7$	Principalement ou entièrement d'origine animale
$0.7 < R < 1$	Mixte à prédominance animale
$1 < R < 2$	Origine incertaine
$2 < R < 4$	Mixte à prédominance humaine
$R > 4$	Source exclusivement humaine

En effet les résultats du rapport CF/SF montrent que la contamination de l'eau de l'Oued-Zénati est presque toujours d'origine humaine, sauf pour quelques cas où l'origine demeure encore incertaine.

I.2.6. Analyses microbiologiques

Tab. 27. Résultat de l'ensemencement des milieux de cultures utilisés

Milieux de culture / Prélèvements		Gélose Nutritive	Gélose SS	Gélose Mac Conkey	Gélose Chapman	Gélose Hektoen	Sabouraud
Site 01	Sep	+	-	+	-	+	+
	Oct	+	-	+	-	+	-
	Nov	+	-	-	-	+	-
	Déc	+	/	+	-	-	-
	Jan	+	-	-	-	+	-
	Fév	+	-	+	-	+	-
	Mar	+	-	+	-	+	-
	Avr	+	-	-	-	/	-
	Mai	+	-	+	+	+	+
Site 02	Sep	+	+	+	-	+	+
	Oct	+	+	+	-	+	+
	Nov	+	-	+	-	+	+
	Déc	+	/	+	+	-	+
	Jan	+	-	+	+	+	+
	Fév	+	-	+	-	+	+
	Mar	+	-	+	-	+	+
	Avr	+	-	+	-	/	+
	Mai	+	+	+	+	+	+
Site 03	Sep	+	-	+	-	+	+
	Oct	+	-	+	-	+	+
	Nov	+	-	+	-	+	-
	Déc	+	/	+	-	+	-
	Jan	+	-	+	-	+	-
	Fév	+	-	+	-	+	-
	Mar	+	-	+	-	-	-
	Avr	+	-	+	-	/	-
	Mai	+	-	+	+	+	-

/ : Analyse non effectuée ; (+) : Culture positive ; (-) : Culture négative.

• Les germes pathogènes

Les germes pathogènes du genre *Salmonella* ont été recherchés au niveau de toutes les stations de l'oued. Aucun prélèvement ne s'est révélé positif. Cette absence a été mentionnée dans d'autres études au niveau des eaux de surface en dépit de la présence d'une forte charge en bactéries d'origine fécale (Galès et Baleux, 1992; Chahlaoui, 1996; Schaffter et Parriaux, 2002). En revanche, la présence de *Salmonella* en absence de bactéries indicatrices de contamination fécale a été mentionnée dans certains travaux (Galès et Baleux, 1992).

1.2.7. Examen microscopique après coloration de Gram

Pour toutes les cultures positives, nous avons réalisés des colorations différentielles de Gram out nous n'avons obtenues que deux types de cellules bactériennes. (Tab. 28)

Tab. 28. Résultat de l'examen microscopique après coloration de Gram

Milieux de culture / Prélèvements		Gélose Nutritive	Gélose SS	Gélose Mac Conkey	Gélose Chapman	Gélose Hektoen
Site 01	Sep	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Oct	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Nov	bâtonnet	-	-	-	bâtonnet
	Déc	bâtonnet	/	bâtonnet	-	-
	Jan	bâtonnet	-	-	-	bâtonnet
	Fév	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Mar	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Avr	bâtonnet	-	-	-	/
	Mai	bâtonnet	-	bâtonnet	cocci	bâtonnet
Site 02	Sep	bâtonnet	bâtonnet	bâtonnet	-	bâtonnet
	Oct	bâtonnet	bâtonnet	bâtonnet	-	bâtonnet
	Nov	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Déc	bâtonnet	/	bâtonnet	cocci	-
	Jan	bâtonnet	-	bâtonnet	cocci	bâtonnet
	Fév	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Mar	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet

Site 03	Avr	bâtonnet	-	bâtonnet	-	/
	Mai	bâtonnet	bâtonnet	bâtonnet	cocci	bâtonnet
	Sep	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Oct	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Nov	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Déc	bâtonnet	/	bâtonnet	-	bâtonnet
	Jan	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Fév	bâtonnet	-	bâtonnet	-	bâtonnet
	Mar	bâtonnet	-	bâtonnet	-	-
	Avr	bâtonnet	-	bâtonnet	-	/
	Mai	bâtonnet	-	bâtonnet	cocci	bâtonnet

/ : Analyse non effectuée ; (-) : Culture négative.

I.2.7.1. Résultats de la galerie biochimique et de la galerie API 20 E

Tab.29. Résultat de la galerie biochimique classique

		P1	P2	P3
TSI	Glucose	+	+	-
	Saccharose	-	-	-
	Lactose	+	-	-
	H ₂ S	-	-	-
	CO ₂	+	+	-
Sinuous	Citrate	-	-	-
ONPG		+	-	-
OXYDASE		-	-	-
LDC		-	+	-
ODC		+	+	-
ADH		+	-	-
Manitol Mobilité	Manitol	+	-	+
	Mobilité	+	+	-
Clark et Lubs	VP	-	-	-
	RM	+	+	+
Bouillon de nitrate	Nitrate réductase	+	+	+
Eau Peptonée exempte d'Indole	Indole	+	+	+
Bactérie		<i>E. coli</i>	<i>Morganella morganii</i>	<i>Shigella spp.</i>

(+) : Culture positive ; (-) : Culture négative.

Tab. 30. Résultat de la galerie API 20 E

	Mois	Code	Espèce
Site 01	Sep	0702004	- <i>Chewanella putrefaciens</i>
	Oct	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Nov		/
	Déc		/
	Jan	5044512	- <i>E. coli</i> 2
	Fév		/
	Mar	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Avr	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Mai	3046127	- <i>Aeromonas hydrophila</i> gr. 1
			<i>Klebsiella pneumoniae</i> ssp <i>pneumoniae</i>
Site 02	Sep	3204002	- <i>Pseudomonas luteola</i>
		0204042	- <i>Acinetobacter baumannii</i>
		1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Oct	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Nov		/
	Déc		/
	Jan	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Fév		/
	Mar	5144572	- <i>E. coli</i> 1
	Avr	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
	Mai	7144204	- <i>Plesiomonas shigelloides</i>
		3046127	- <i>Aeromonas hydrophila</i> gr. 1
		5346773	- <i>Serratia odorifera</i> 1
		5304753	- <i>Serratia liquefaciens</i>

Site 03		5144572	- <i>E. coli</i> 1
			- <i>Klebsiella pneumoniae ssp pneumoniae</i>
	Sep	1042004	- <i>Chrysobacterium meningosepticum</i>
		0204042	- <i>Acinetobacter baumannii</i>
	Oct	3046127	- <i>Aeromonas hydrophila</i> gr. 1
	Nov		/
	Déc		/
	Jan	6014004	- <i>Photobacterium damsela</i>
	Fév		/
	Mar	5044512	- <i>E. coli</i> 2
	Avr		/
	Mai	3305573	- <i>Enterobacter cloacae</i>
		5215773	<i>Klebsiella pneumoniae ssp pneumoniae</i>

/ : Analyse non effectuée.

1.2.7.2. Résultat de l'antibiogramme

Tab. 31. Résultat de l'antibiogramme des principales espèces isolées

Site de prélèvement : espèce		Sigle de l'antibiotique	Charge	Zone d'inhibition (mm)	S	I	R
P1	<i>Aeromonas hydrophila</i> gr. 1	AK	30 µg	40	+		
		TE	30 µg	30	+		
		SXT	10 µg	26	+		
		AX	25 µg	26			+
		CN	25 µg	46	+		
		AM	30 µg				+
		CZ	10 µg				+
	<i>Plesiomonas shigelloides</i>	AK	30 µg	26	+		
		TE	30 µg	25	+		
		SXT	10 µg				+
		AX	25 µg	10			+
		CN	25 µg	24	+		

	<i>Chrysobacterium meningosepticum</i>	AM	30 µg				+
		CZ	10 µg	24	+		
		AK	30 µg	13			+
		TE	30 µg	30	+		
		SXT	10 µg				+
		AX	25 µg	25	+		
		CN	25 µg	40	+		
		AM	30 µg				+
		CZ	10 µg	28	+		
	<i>Klebsiella pneumoniae ssp pneumoniae</i>	AK	30 µg	28	+		
		TE	30 µg	18		+	
		SXT	10 µg	25	+		
		AX	25 µg	10			+
		CN	25 µg	24	+		
		CZ	10 µg	20	+		
P2	<i>Serratia odorifera</i>	AK	30 µg	12			+
		TE	30 µg	12			+
		SXT	10 µg	09			+
		AX	25 µg				+
		CN	25 µg	25	+		
		AM	30 µg				+
		CZ	10 µg				+
	<i>Aeromonas hydrophila gr.1</i>	AK	30 µg	40	+		
		TE	30 µg	30	+		
		SXT	10 µg	26			
		AX	25 µg	26			+
		CN	25 µg	46	+		
		AM	30 µg				+
		CZ	10 µg				+
	<i>Chrysobacterium meningosepticum</i>	AK	30 µg	13			+
		TE	30 µg	24	+		
		SXT	10 µg				+
		AX	25 µg	12			+
		CN	25 µg	12			+
		AM	30 µg				+

	<i>Klebsiella pneumoniae ssp pneumoniae</i>	CZ	10 µg	27	+		
		AK	30 µg	20	+		
		TE	30 µg	7			+
		SXT	10 µg				+
		AX	25 µg				+
		CN	25 µg	19	+		
	<i>E. coli</i> 1	CZ	10 µg	11			+
		AK	30 µg	20	+		
		TE	30 µg	16			+
		SXT	10 µg	26	+		
		AX	25 µg	15			+
		CN	25 µg	20	+		
P3	<i>Enterobacter cloacae</i>	CZ	10 µg	16		+	
		AK	30 µg	20	+		
		TE	30 µg	16		+	
		SXT	10 µg	24	+		
		AX	25 µg				+
		CN	25 µg	20	+		
	<i>Klebsiella pneumoniae ssp pneumoniae</i>	AM	30 µg				+
		CZ	10 µg				+
		AK	30 µg	24	+		
		TE	30 µg	16			+
		SXT	10 µg	26	+		
		AX	25 µg	20	+		
		CN	25 µg	24	+		
		CZ	10 µg	13		+	

En effet, les bactéries aux phénotypes sauvages appartenant à la famille des Entérobactéries sont tous sensibles aux : aminosides, aux Quinolones et aux Fluoroquinolones. Ainsi d'après nos résultats, les différentes souches obtenues ont développés des résistances contre la majorité des antibiotiques utilisés et cette résistance est bien remarquée surtout dans les sites P2 et P3 où on a noté une différence de résistances pour une même espèce rencontrée (*Chrysobacterium meningosepticum*, *Klebsiella pneumoniae ssp pneumoniae*).

La cause majeure de cette résistance développée chez ces bactéries surtout au niveau des points P2 et P3 est le contact direct avec les rejets hospitaliers. Ces derniers renfermant des taux élevés de substances chimiques (médicaments, antibiotiques, déchets hospitaliers...) favorisent l'apparition de résistances bactériennes vis-à-vis des antibiotiques (Eurin *et al.*, 2004). De plus, la présence de souches bactériennes d'origine hospitalière est également importante a citée (Emmanuel *et al.*, 2002; Dremont et Hadjali, 1997).

CONCLUSION

CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons mesuré les paramètres microbiologiques et physico-chimiques de l'eau de l'Oued-Zénati utilisée dans la plus part des cas en irrigation, en vue d'évaluer son impact sur l'environnement et sur les risques sanitaires.

L'étude microbiologique (dénombrements et recherche de coliformes, coliformes fécaux, streptocoques fécaux avec identification de la microflore existante) a révélée la présence de germes test de contamination fécale avec la présence de bactéries polymédicament résistantes qui se caractérisent par une productivité biologique plus élevée et qui constitue sans doute une menace pour les habitants qui utilisent quotidiennement l'eau de l'oued.

Malgré la forte charge des bactéries indicatrices de contamination fécale, les germes pathogènes du genre *Salmonella* n'ont pas été isolés au niveau de l'eau de cet oued. L'existence probable de ces germes à l'état viable mais non cultivable constituerait un risque particulier du fait que les bactéries survivantes dans cet état ne sont pas détectables par les techniques de culture classique.

Les analyses physico-chimiques nous ont montrées que le milieu est très pollué. Les concentrations en nitrites, ammonium, phosphates dépassent les normes requises et indiquent une pollution organique très nette. Ces résultats corroborent d'une manière générale une intensification des rejets des eaux usées domestiques (urbaines et hospitalières) dans cette région.

L'eau de l'Oued-Zénati est utilisée par les riverains en agriculture, en construction et en édification de nouvelles structures. Les enfants se baignent aussi dans cette eau ce qui augmente le risque de contamination.

Il est cependant important de signaler que les résultats microbiologiques et physico-chimiques bien qu'essentiels, ne représentent que des données ponctuels autrement dit caractérisent une période bien déterminée et un lieu bien précis.

En recommandation et pour maintenir l'équilibre de cet écosystème lotique il faut veiller à certains points dont les principaux sont :

- ✓ Réaliser un traitement préalable des rejets avant qu'ils atteignent l'oued et mettre en place un assainissement d'eau ménagère.
- ✓ Eviter l'implantation des ouvrages d'alimentation en eau potable (AEP) au niveau des berges de l'oued ce qui engendrerai une modification de la qualité de l'eau.

- ✓ Réaliser des suivis réguliers de la qualité de l'eau, soit procéder aux contrôles des différents paramètres physicochimiques et microbiologiques pour intervenir en cas d'une anomalie.
- ✓ Pour l'agriculture, il est conseillé de ne plus utiliser l'eau de l'oued en irrigation et limiter l'utilisation intensive des engrais chimiques synthétiques.
- ✓ Enfin, l'épuration des eaux usées avant leur évacuation dans les oueds s'avère une nécessité urgente. Il est donc indispensable d'installer une station de traitement biologique et physicochimique des eaux rejetées dans cet écosystème.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Aboukacem A., Chahlaoui A., Soulaymani A., Rhazi-filali F. et Benali D. (2007).** Etude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* (1). 10-22.
- **Agence Européenne de l'Environnement (1999).** State and pressure of the marine and coastal Mediterranean environment. *Environnemental assessment series.* (7). 1-137.
- Agence Nationale des Ressources Hydrique, Constantine, 2008.
- **Alaoui A.B. et al. (2004).** Guide de gestion des déchets des établissements de soins. *CEHA.* (5). 1-54.
- **Almeida M.C., Butler D. et Friedler E. (1999).** At-source domestic wastewater quality. *Urban Water.* (1). 45-55.
- **Aminot A., Chausspied M. (1983).** *Manuel des analyses chimiques en milieu marin.* 395p.
- **Antoine M. (2006).** Les résidus de médicaments et le traitement des effluents d'hôpitaux. *Environnement, Risques & Santé.* (4). 296-300.
- **Antoine S. et Dominici L. (1975).** *Les indicateurs de l'environnement dans les zones industrielles.* La documentation française. 129 p.
- **Aounallah O. (2007)** *Caractères chimiques des apports de Oued Seybouse au littoral d'Annaba. Sels nutritifs et matières organiques.* Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar –Annaba. 37p.
- Assemblée Populaire Communale de Oued-Zénati 2008.
- **Azizi D. (2006).** Cours national de microbiologie des eaux et des aliments. Institut Pasteur d'Algérie.
- **Badham M. et al. (2003).** Optimisation d'une station d'épuration des eaux usées. *ACTP.* (7). 1-60.
- **Benchaiba L. (2006).** *Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau : Bassin versant de l'oued Bouhamdene (W. de Guelma, Est Algérien).* Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de : Magister en Hydraulique. Université El Hadj Lakhder-Batna. 213p.
- **Boukrouma N. (2008).** *Contribution à l'étude de la qualité microbiologique de l'eau d'un écosystème aquatique artificiel : Cas de la retenue collinaire de Ain- Fakroune (W. d'Oum-El-Bouaghi).* Mémoire de magister, Université de Guelma. 63 p.

- **Bourgeois C.M. et Leveau J.Y (1980).** *Techniques d'Analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaire.* APRIA. 331p.
- **Bricha S., OUNINE K., Oulkheir S., El Haloui N. et Attarassi B. (2007).** Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique SCIENCE.* (3). 391 – 404.
- **Brucker G., Astagneau P. et al. (1999).** Elimination des effluents liquides des établissements hospitaliers. Recommandations. *CLIN.* (4). 1-74.
- **Chahlaoui A. (1996).** *Etude Hydrobiologique de l'oued Boufekrane (Meknès), Impact sur l'environnement et la santé.* Thèse d'Etat, Fac. Sci. 234 p.
- **Chedevergne E. (1995).** Diagnostic physico-chimique et microbiologique des effluents de l'hôpital Dupuytren. *Ecole Nationale Supérieure de Limoges (ENSIL).* (12). 1-20.
- **Chevalier P. et les membres du groupe scientifique sur l'eau de l'Institut national de santé de Québec (2003a).** Coliformes totaux. *Fiches synthèse sur l'eau potable et la santé humaine.* Institut national de santé de Québec. 1-4.
- **Chevalier P. et les membres du groupe scientifique sur l'eau de l'Institut national de santé de Québec (2003b).** Coliformes fécaux. *Fiches synthèse sur l'eau potable et la santé humaine.* Institut national de santé de Québec. 1-4.
- **Chocat B. (1997).** *Efcyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement.* Technique et Documentation.
- **Clotilde B. (2008).** *Evaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'effluents hospitaliers dans les milieux aquatiques : Contribution à l'amélioration de la phase « caractérisation des effets».* Thèse pour l'obtention du grade docteur d'état. 298p.
- **Comité du Bassin Hydrographique de la Mauldre et ses Affluents (2004).** Analyse des mesures physico-chimiques et hydrobiologiques du bassin versant du Lieutel. 1-117.
- **Corvaisier N. (2000).** Les substances médicamenteuses rejetées dans les eaux usées urbaines. *Office international de l'eau.* 1-13.
- **Coulibaly K. (2005).** *Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako.* Thèse pour obtenir le grade de Docteur en Pharmacie. Université de Bamako. 69p.
- **Cyr P., Rominder P.S., Helmig E.D. (2002).** A pilot scale evaluation of removal of mercury from pharmaceutical wastewater using granular activated carbon. *Water Research.* (36). 4725-4734.

- **Darsy C., Lescure I., Payot V. et Rouland G. (2002).** Effluents des établissements hospitaliers : teneur en microorganismes pathogènes, risques sanitaires, procédures particulières d'épuration et de gestion des boues. *Office international de l'eau*. (15). 1-10.
- **Debieche T.H. (2002).** *Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote, les 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.
- **Degbey C., Makoutode M., Ouendo E.M., Fayomi B. et De Brouwer C. (2008).** La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin. *Environnement, Risques & Santé*. (4). 279-283.
- **Deloffre-Bonnamour N. (1995).** *Les rejets des établissements de santé : des effluents liquides aux déchets solides.* Mémoire de Maîtrise. Université Claude Bernard-Lyon1.75p.
- **Derwich E., Beziane Z., Benaabidate L., Belghyti D. (2008).** Evaluation de la qualité des eaux de surface des oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraichère au Maroc, *Larhyss Journal*. (7). 59-77.
- **Direction Générale de la Santé (France) (1999).** Recommandations relatives à la gestion du risque microbien lié à l'eau minérale dans les établissements thermaux. *MES*. (2). 1-25.
- **Dremont C., Hadjali R. (1997).** *La Gestion des Effluents Liquides en Milieu Hospitalier.* Projet DESS "Technologies Biomédicales Hospitalières", Université de Technologie de Compiègne. 30p.
- **El Blidi S., Fekhaoui M., Serghini A. et El Abidi A. (2006).** Rizières de la plaine du Gharb (Maroc) : qualité des eaux superficielles et profondes. *Bulletin de l'Institut Scientifique*. (28). 55-60.
- **Emmanuel E., Perrodin Y., Keck G., Blanchard J.M., Vermande P. (2002).** Effects of hospital wastewater on urban wastewater. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Cancún. México.
- **Emmanuel E., Keck G., Blanchard J.M., Vermande P. et Perrodin Y., (2004).** Toxicological effects of disinfections using sodium hypochlorite on aquatic organisms and its contribution to AOX formation in hospital wastewater. *Environ. Int.* (2). 891-900.
- **Emmanuel E. (2004).** *Evaluation des risques sanitaires et écotoxicologiques liés aux effluents hospitaliers.* Thèse INSA de Lyon - Spécialité Sciences et Techniques du Déchet. 259p.

- **Emmanuel E., Perrodin Y., Keck G., Blanchard J.M. et Vermande P. (2005).** Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater: a proposed framework for raw effluents discharging into urban sewer network. *Hazard J. Mater.* (1). 1-11.
- **Eurin J., Ollivon D., Tiphagne K. et Chevreuil M. (2004).** Contamination des eaux superficielles par les substances pharmaceutiques : Diffusion d'antibiotiques par la médecine humaine et les activités d'élevage. *Laboratoire Hydrologie et Environnement EPHE/UMR Sisyphe.* (4). 1-7.
- **Fournier J.P. (2006).** *Evaluation d'une technologie compacte de production d'eau potable.* Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de l'environnement. Université du Québec à Montréal. 1-92.
- **François R. (1995).** *Elément d'écologie : Ecologie appliqué.* 6 édition. ediscience international. 863p.
- **Galaf F. et Ghannam S. (2003).** *Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin.* Mémoire de troisième cycle présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie. Institut agronomique et Vétérinaire Hassan II. 22 p.
- **Galès P. et Baleux B. (1992).** Influence of the drainage basin input on a pathogenic bacteria (Salmonella) contamination of a Mediterranean lagoon (the Thau lagoon-France) and the survival of this bacteria in brackish water. *Water Sci. Technol.* (25). 105-114.
- **Garric J., Ferrari B. (2005).** Les substances pharmaceutiques dans les milieux aquatiques: Niveaux d'exposition et effet biologique : que savons-nous? *Rev.Sci.Eau.* (3). 307-330.
- **Gérard C.M. (2001).** Physique et chimie marine. *Eléments Nutritifs.* (3).1-6.
- **Guetaf A. (2008).** *Aspects chimiques de la Seybouse : Apports en azote et phosphore et matières organiques.* Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister, Université Badji Mokhtar –Annaba. 38p.
- **Guergazi S. et Achour S. (2005).** Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra : Pratique de la chloration. *Larhyss Journal.* (4). 119-127.
- **Guiraud J.P. (1998).** *Microbiologie alimentaire.* Dunod. 615p.
- **Haddad A. (2004).** *Contribution à l'évaluation des pollutions microbiologique et chimique de la côte libanaise.* Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA). Université Libanaise. 51p.

- **Hartani T. (1998).** La réutilisation des eaux usées en irrigation. Situation actuelle et perspectives. Séminaire sur les ressources en eau non conventionnelles. *KLI Conseil*. (5).1-10.
- **Hartani T. (2004).** La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie. Séminaire : Modernisation de l'Agriculture Irriguée. *WADEMED*. (2).1- 11
- **Hartemann P., Hautemaniere A. et Joyeux M. (2005).** La problématique des effluents hospitaliers. *Hygiène*. (5). 369-374.
- **Jean (2004).** Analyse d'eaux et d'eaux usées. *CIRAD*. (12). 1-3.
- **Jolibois B, Guerbet M et Vassal S, (2002).** Glutaraldehyde in hospital wastewater. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* (42). 137-144.
- **Journal officiel de la République Algérienne (J.O.R.A) (1993).** Valeurs limites maximales des paramètres de rejet des effluents liquides.
- **Kafi-Benyahia M. (2006).** *Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines des polluants de temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire parisien*. Thèse de Doctorat. l'Ecole nationale des ponts et chaussées Spécialité : Sciences et Techniques de l'Environnement. 500 p.
- **Kéléké S., Hanus J., Koléla A. L., Raber W., Tchibinda-Pemo G., Sita S., Mabilia P., Diazenza J. B. (2004).** Evaluation de la salubrité de l'eau des puits dans la ville de Pointe Noire : Etude bactériologique et chimique, Recherche de techniques d'assainissement. *Centre IRD de Pointe Noire*. (15). 1-25.
- **Kettab A. (2001).** Les ressources en eau en Algérie: Stratégies, enjeux et vision. 25–33.
- **Lacronique J. F., Vidal J. P., Pasquier J. L., Derboux F. et d'Amico D. (2001).** Les rejets radioactifs hospitaliers. *Points et commentaires*. (15).1-4.
- **Ladlani I. (2007).** *Contribution à la gestion optimale de la ressource en eau mobilisée «choix de formule empirique pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle "ETP" dans les régions de Tébessa et Annaba»*. Mémoire de Magister. Univ. Batna, 175p.
- **Langevin J., Lefebver R. et Toutant C. (1997).** Histoires d'eaux : tout ce qu'il faut savoir sur l'eau et l'hygiène publique. *Editons Berger*. (1). 157-159
- **Lebres E. (2004a).** Entérocoques et Streptocoques. Institut Pasteur d'Algérie.
- **Lebres E. (2004b).** Les *Salmonella*. Institut Pasteur d'Algérie.
- **Lebres E. (2004c).** Identification biochimique des micro-organismes, Institut Pasteur d'Algerie.

- **Lebres E., Azizi D. et Boudjellab B. (2006).** Cours d'Hygiène et de Microbiologie des Eaux : Microbiologie des eaux et des boissons, Institut Pasteur d'Algérie.
- **Lebres E., Azizi D., Hamza A., Taleb F. et Taouchichet B. (2002).** Cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments microbiologie des eaux, des boissons et des produits de la mer. Institut Pasteur d'Algérie.
- **Leprat P. (1999).** Caractéristiques et impacts des rejets liquides hospitaliers. Techniques hospitalières. 56-57.
- **Leprat P. (1998).** Les rejets liquides hospitaliers, quels agents et quelles solutions techniques? *Caen*. (5). 10-13.
- **Leprat P., Chedevergne E., Camus A., Pacheco A. et Mounier M. (1996).** Diagnostic physico-chimique et microbiologique des rejets hospitaliers, Etat des lieux à l'hôpital Dupuytren CHU de Limoges. Techniques hospitalières. 35-38.
- **Lerond M. (2003).** Qualité des eaux, Profil environnemental régional d'Aquitaine. *DIREN Aquitaine*. (23). 25-35.
- **Luca R. et Renata H. (2004).** Rejets urbains de temps de pluie et température des cours d'eau, *EWAGA*. (7). pp 1-11.
- **Maddalena P. (1993).** *Les effluents liquides du C.H. Lyon-Sud : Caractéristiques et gestion.* Mémoire E.N.S.P. 90p.
- **Makoutode M., Assani A.K., Ouendo E-M., Agueh V. D., Diallo P. (1999)** Qualite et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au BENIN : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique Noire*. (24). 528-534.
- **Mamadou L.N. (2005).** *Impacts des eaux usées sur l'évolution chimique et microbiologique des sols : étude de cas à Pikine (Dakar-Sénégal).* Diplôme d'étude supérieure en sciences naturel de l'environnement. 120p.
- **Mansotte F. Jestin E. (2001).** Les rejets liquides des établissements de sante : Caractérisation à la source et impact sur l'environnement marin côtier, Synthèse réalisée et complétée sur la base du travail de Florence MERRANT LEBRUN - Chargée d'études Environnement Centre Hospitalier du Havre – CLIN – Club Environnement. *Agence de l'Eau Seine-Normandie*. (13). 1-68.
- **Margat J., Vallée D. (1999).** *Ressources en eau et utilisations dans les pays méditerranéens : Repères et statistiques.* ed. Plan bleu. 200p.

- **Mazieres J., Richard B. et Mazieres S. (1980).** Une méthode de recherche rapide des coliformes fécaux dans les eaux de mer et les coquillages. *Rtv. Tcav. Inst. Pêches marit.* (3). 289-293.
- **Medkour (2003).** Réutilisation des eaux usées épurées. Séminaire sur le secteur de l'eau en Algérie. *Ministère des Ressources en eau.* 12p.
- **Ministère de l'Habitat (1998).** Programme de Résorption de l'Habitat Précaire Etude d'Impact sur l'Environnement : Rapport final. *CREDES.* (1). 1-74.
- **Direction Générale d'Hydraulique de la Wilaya de Guelma (2008).**
- **Direction d'hydraulique, Agence de Oued-Zénati (2008).**
- **Moussa Moumouni Djermakoye H. (2005).** *Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines.* Thèse pour l'obtention du grade Docteur, Université de Bamako. 135p.
- **MRE (2003).** *Synthèse sur la situation de l'assainissement et évaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de protéger les ressources en eau. Séminaire sur le secteur de l'eau en Algérie.* Ministère des Ressources en eau. 11p.
- **Murielle A. (2001).** Activités industrielles et qualité des eaux. *LOIR.* 1-3.
- **Niox (2005).** *ALGÉRIE et TUNISIE. Région de l'est (province de Constantine). Géographie militaire.* 2^{ème} édition. 47p.
- **Ouzza A. et Akdim B. (2005).** La pollution hydrique au Tadla : Perceptions et réalités. (10). 2-6.
- **Pompidou G. (2001).** Eaux usées : Normes de rejet. *L'Institut Sénégalais de Normalisation (ISN).* (29).1-10.
- **Prescott H. et al. (2003).** *Microbiologie.* De Book & Larcier s.a. 842p.
- **Protais J., Nagard B., Boscher E., Queguiner S., Beaumont C., Salvat G. (2003).** Evolution d'une contamination par salmonella enteritidis chez deux lignées de pondeuses vaccinées en période d'élevage. Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole. *Cneva.* 1-4.
- **Rajonson J., Rasolofonirina N., Ratoaveloson J., Ravaonindriana N. (1992).** Qualité des eaux. *ELOUARD.* (4). 135-166.
- **Rejsek F. (2002).** *Analyse des eaux : techniques et aspects réglementaires.* Ed. Scérèn CRDP Aquitaine. 358p.
- **RMC Agence de l'Eau RHÔNE-ALPES (2004).** Le bilan de l'environnement industriel en RHÔNE-ALPES : La pollution de l'eau d'origine industrielle. *Fascicule-Eau.* (28). 50-79.

- **Rodier J. (1971).** La protection des eaux contre la radioactivité. *Bulletin de l'Association pharmaceutique française pour l'hydrologie*. (15). 1- 40.
- **Rodier J. (1984).** *L'analyse de l'eau*. Ed. Dunod. 1365p.
- **Rodier J. (1996).** *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats*. Dunod. 1384p.
- **Roux (2003).** TP de microbiologie : Analyses de l'eau. *Novello Célia*. (3). 1-9.
- **Satin M. et Salmi B. (1995).** Guide technique de l'assainissement : Evacuation des eaux usées et pluviales, conception et composants des réseaux épuration des eaux et protection de l'environnement, exploitation et gestion des systèmes d'assainissement. *ed. Le Monitue*. (2). 75-86.
- **Schaffter N. et Parriaux A. (2002).** Pathogenic-bacterial water contamination in mountainous catchments. *Water Res*. (1). 131-139.
- **Schwartz T., Kohnen W., Jansen B. et Obst U. (2003).** Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms. *FEMS Microbiology Ecology*. (3). 325-335.
- **Segade M. (1999).** Rapport d'observations définitives. *ARHRA*. 1-18.
- **SFHH (1993).** Bilan et recommandations sur les conditions de rejets des effluents liquides des établissements de santé, Rapport aux Ministères de la santé et de l'environnement. *Société Française d'Hygiène Hospitalière*. (11). 1-32.
- **Soussy C.J., Cavallo J.D., Chardon H. et al. (2009).** L'antibiogramme : Recommandations. *SFM*. (2). 1-50.
- **Steger-Hartmann T., Lange R. et Schweinfurth H. (1999).** Environmental Risk Assessment for the Widely Used Iodinated X-Ray Contrast Agent Iopromide (Ultravist). *Ecotox. Environ. Safe*. (3). 274-281.
- **Tamara G. A. (2006).** *Etude de la dynamique des Escherichia coli dans les rivières du bassin de la Seine*. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Docteur en Sciences. U. L. B., E. S.A. 173p.
- **Tandia C. T. (2007).** Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées. Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. *CREPA*. (3). 1-52.
- **Tardat-Henry M. (1992).** *Chimie des eaux*. Edition Le Griffon d'argile. 190p.
- **Thierry S., GRIMM A.J. et Caro (2004).** Agissons pour moins de pollution ! *Eco-cominication*. (2). 1-2.

WEBOGRAPHIE

- [1] Agence de l'Eau Adour Garonne (2007). Nitrate.
[http:// www.eau-adour-garonne.fr](http://www.eau-adour-garonne.fr). Consultation le 20/08/2008.
- [2] Agences de l'eau (PARC naturel régional de Pilat) (1998). Les polluants d'origine industrielle. <http://www.lesagencesdeleau.fr>. Consultation le 12/4/09.
- [3] Anonyme (1991). La qualité bactériologique.
<http://dsp-psd.pwgsc.gc.ca>. Consultation le 12/04/09.
- [4] Anonyme (1999). Température.
<http://www.zebulon1er.free.fr>. Consultation le 03/04/09.
- [5] Anonyme (2000). Architecture et Climat - La température.
<http://www.energie.arch.ucl.ac.be/cdrom//climatisation/théorie/clithtemperature.htm>.
Consultation le 02/12/08.
- [6] Anonyme(2007). Géographie et ressources d'Oued-zénati
<http://www.membres.lycos.fr>. Consultation le 05/11/2008.
- [7] Bernard G. et Vincent G. (2006). Pollutions marines : les définitions.
[http:// www.com.univ-mrs.fr](http://www.com.univ-mrs.fr). Consultation le 15/12/2008.
- [8] Brémond R. et Perrodon C. (2008). Aspects qualitatifs : Définition et mesure des pollutions.
[http:// www.crdp.ac-amiens.fr](http://www.crdp.ac-amiens.fr). Consultation le 02/03/09.
- [9] Chambre de Commerce de d'Industrie de Paris (CCIP) (2008). Gérer l'eau de l'entreprise : les rejets.
[http:// www.environnement.ccip.fr](http://www.environnement.ccip.fr). Consultation le 02/10/08.
- [10] Chambre de Commerce de d'Industrie de Paris (CCIP) (2008). Gérer l'eau de l'entreprise : Identification des eaux et des rejets.
[http:// www.environnement.ccip.fr](http://www.environnement.ccip.fr). Consultation le 13/11/08.
- [11] Commission de l'aménagement du territoire et de l'environnement (2000). Conseil nationale économique et social : l'eau en Algérie : le grand défi de domaine.
[http:// www.cnes.dz/eau](http://www.cnes.dz/eau). Consultation le 20/08/2008.
- [12] Conseil Général de la Nièvre Service de l'Eau (2008). Suivi de la Qualité des Eaux Superficielles en Nièvre.
[http:// www.cg58.fr](http://www.cg58.fr). Consultation le 10/10/2008.
- [13] CRDP Guyane (2007). la pollution de l'eau.

[http:// www.guyane-education.org](http://www.guyane-education.org). Consultation le 03/03/09.

- [14] **Davoust P. (2009).** Contrôles de la qualité des eaux. *EcoSocioSystèmes*.
<http://www.ecosociosystemes.fr>. Consultation le 18/02/2009.
- [15] **Direction de la prévention des pollutions et des risques. Service de l'environnement industriel (2002).** Principaux rejets industriels en France : Origine et effet des principaux polluants de l'eau, France.
[http:// www.eaufrance.fr](http://www.eaufrance.fr). Consultation le 04/02/09.
- [16] **Environnement Canada (2005).** Vulnérabilité de l'eau au changement climatique.
[http:// www.ec.gc.ca/water](http://www.ec.gc.ca/water) . Consultation le 04/11/2008.
- [17] **Euzéby J.P. (2008).** Abrégé de bactériologie générale et médicale à l'usage des étudiants de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.
<http://www.bacteriologie.net>. Consultation le 10/03/2009.
- [18] **Farib B. (2007).** développement du secteur Algérien des ressources en eau.
<http://www.fmes-freance.org>. Consultation le 06/10/2008.
- [19] **Guignard P. (2003).** Bilan régional de l'environnement industriel en Haute-Normandie. Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement de Haute-Normandie. <http://www.drire.gouv.fr>. Consultation le 02/01/09.
- [20] **Imane J. (2006).** Traitements biologiques des eaux usées.
[http:// www.jeunesdumaroc.com](http://www.jeunesdumaroc.com). Consultation le 01/05/09.
- [21] **Kaidi A. (2005).** Identification biochimique des espèces d'entérobactéries.
<http://www.Scribd.com>. Consultation le 15/03/2009.
- [22] **La Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche, et de l'Environnement Provence-Alpes-Côte d'Azur (2000).** Les produits azotés et les produits phosphorés.
[http:// www.drire.gouv.fr](http://www.drire.gouv.fr). Consultation le 03/04/2009.
- [23] **Laboratoire d'analyse (2008).** II. Pollution des eaux.
<http://www.laboratoire-defrance.com> ou <http://pascal.def.perso.infonie.fr>. Consultation le 05/10/2008.
- [25] **LAEASE groupe technologies de santé (2006).** Azote ammoniacal.
[http:// www.laease.com](http://www.laease.com). Consultation le 10/03/09.
- [24] **Lacaille S. (2005).** Microbiologie.
<http://www.io-one.fr/rap/microbiologie>. Consultation 15/02/2009.
- [26] **LAEASE groupe technologies de santé (2006).** Azote kjeldahl.
[http:// www.laease.com](http://www.laease.com). Consultation le 20/08/2008.

- **[27] LAEASE groupe technologies de santé (2006).** Nitrite.
[http:// www.laease.com](http://www.laease.com). Consultation le 10/10/08.
- **[28] LAEASE groupe technologies de santé (2006).** Phosphore.
[http:// www.laease.com](http://www.laease.com). Consultation le 02/01/09.
- **[29] Marchal J. (2007).** La pollution et ses effets sur les cétacés.
[http:// www.marchaldauphins.com](http://www.marchaldauphins.com). Consultation le 03/01/2009.
- **[30] Marchal M. et al. (2008).** Les Effluents liquides des établissements de santé : Etat des lieux et perspectives de gestion. <http://www.polytech.univ-savoie.fr>. consultation le 06/01/2009.
- **[31] Menani M. (2008).** Guelma: Mieux gérer l'eau.
[http:// www.lequotidien-oran.com](http://www.lequotidien-oran.com)
- **[32] Ministère de ressources en eau (2007).** Ressource superficielles.
[http:// www.mer.gov.dz/eau/ress_superf.htm](http://www.mer.gov.dz/eau/ress_superf.htm). Consultation le 20/08/2008.
- **[33] Observatoire Régional de l'Environnement de Poitou-Charentes (2004).** Aspects qualitatifs des eaux continentales.
[http:// www.observatoire-environnement.org](http://www.observatoire-environnement.org). Consultation le 11/11/08
- **[34] Rabah N. (2008).** Urgence : station d'épuration.
[http://www. mer.gov.dz/eau/ station d'épuration](http://www.mer.gov.dz/eau/station_d_epuration). Consultation le 15/02/09.
- **[35] RéFEA (2000).** Analyses de l'eau : Présentation générale.
<http://www.oieau.fr>. Consultation le 18/04/2009.
- **[36] Station météorologique de THIAIS (2007).** Précipitation.
<http://www.météo94.com>. Consultation le 02/09/2008.
- **[37] Warren F.J., Barrow E., Schwartz R.,andrey J., Mills B. et Riedel D. (2004).** Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne.
[http:// adaptation.rencan.gc.ca/perspective_f.asp](http://adaptation.rencan.gc.ca/perspective_f.asp) Réutilisation des eaux usées. Consultation le 20/08/2008.
- **[38] Wikipédia L'encyclopédie Libre (2009).** Streptocoque.
[http:// www.wikipedia.org.fr](http://www.wikipedia.org.fr). Consultation le 15/02/09.
- **[39] Wikipédia l'encyclopédie libre (2008).** Climatologie.
<http://www.wikipedia.org/wiki/climatologie>. Consultation le 14/11/2008.

ANNEXES

Tab. I.1 : Le débit de L'Oued-Zénati (Station de Bordj Sabbat 1973-2004)

(ANKH, 2006).

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	août	annuel
1973	0,000			0,120	0,057	2,350	0,540	4,848	0,120	0,000	0,000	0,000	4,035
1974	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		3,200	0,263	0,814	0,030	0,000	0,000	3,200
1975	0,000	0,000	0,000	0,000	0,678	13,795	30,020	2,350	1,226	0,120	0,017		30,020
1976	0,000	9,916	194,300	4,080	4,574	0,490	0,155	1,484	2,860	0,057	0,000	0,000	194,300
1977	0,000	0,000	0,000	0,000	4,848	19,500	0,586	0,155	0,043	0,043	0,000	0,000	19,500
1978	0,000	0,000	0,000	0,000		0,714	1,272	6,279	0,235	0,190	0,000	0,000	
1979	0,000	0,000	0,030	0,030	0,133	0,143	0,813	0,122	0,081	0,155	0,000	0,000	0,112
1980	0,000	0,000	0,000		4,949	3,366	0,661	0,325	0,065	0,000	0,000	0,000	
1981	0,000	0,000	0,000	0,000		2,025	3,353	2,247	0,301	0,070	0,000	0,000	
1982	0,000	2,122	32,650	24,760	1,164	0,347	0,877	0,148	0,036	0,000	0,000	0,000	0,712
1983		0,000	0,000		3,107	18,188	1,860	0,357	0,042	0,017	0,000	0,000	
1984	0,000	0,000	0,000	16,998	5,953	1,127	6,169	0,613	0,303	0,090	0,000	0,000	2,600
1985	0,000	0,000	0,030	0,051	0,276	0,692	1,175	0,125	0,042	0,000	0,000	0,000	0,197
1986	0,000	0,666	25,812	3,671	2,117	10,878		3,135	0,283	0,280	0,002	0,000	
1987	0,000	0,000	0,000	0,025	0,136	0,216	0,620	0,056	0,006	0,000	0,000	0,000	0,088
1988	0,000	0,000	0,000	1,966	0,541		0,554	0,151	0,056	0,000	0,000	0,000	
1989	0,000	0,000	0,000	0,000	0,217	0,062	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024
1990	0,000	0,000	9,916	2,887	0,901	2,126	2,042	1,775	0,139	0,190	0,000	0,000	0,831
1991	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,220	0,505	3,978	1,130	0,335	0,000	0,000	0,497
1992	0,000	0,000	37,910	6,906	8,917	0,903	1,135	0,240	0,244	0,000	0,000	0,000	1,626
1993	0,000	0,000	0,000	0,692	1,114	3,421	0,340	0,244	0,068	0,000	0,000	0,000	0,490
1994		0,000	0,000	0,000		0,311	1,120	1,554	0,640	0,000	0,000	0,000	
1995	0,000	0,000	0,030	0,009	0,036	5,927	2,061	0,191	0,421	0,220	0,000	0,000	0,723
1996	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,094	0,084	0,012	0,002	0,000	0,000	0,000	0,019
1997	0,000	2,600	4,190	1,535	0,284	0,640		0,746	0,456	0,050	0,000	0,000	
1998	0,000	0,000	17,218	0,865	1,148	3,257	0,440	0,239	0,065	0,000	0,000	0,000	0,567
1999	0,000	0,000	0,000	0,555	0,254	0,088	0,055	0,027	0,108	0,060	0,000		
2000			0,000	0,000	1,120	2,240	0,060	0,035	0,036	0,010	0,000	0,000	
2001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,104	0,035	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012
2002	0,000	0,000	1,540	1,786	11,532	4,028	0,588	5,221	0,103	0,090	0,000	0,000	1,945
2003	0,007	0,000	0,010	2,813	7,406	0,294	0,175	0,185	0,258	4,790	0,001	0,000	0,949
2004	0,000	0,000	162,800	7,795	2,179	4,715	2,922	3,449	0,136	0,030	0,000	0,000	2,062

Tab. I.2 : Précipitation mensuelles (station de Guelma 1985-2008)

A \ M	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
85-86	103	27,8	69	43,8	11,6	9,4	2,2	2,9	66,1	34,8	10,8	20,7
86-87	66,3	120,9	76,7	37,7	10,29	1,1	10,2	5,6	19,6	11,7	115,8	162,5
87-88	87,2	37,4	51	11,2	42,1	57,2	1,4	2,4	10,5	6,7	51,9	21
88-89	32,8	74,8	54,3	46,6	11,1	30,7	13,5	31,4	22	5,3	47,6	99,7
89-90	129,2	23	28,3	42,8	59,5	19	1,9	52,1	26,1	54,6	23,4	59,2
90-91	57,4	63,9	98,8	61,2	71,2	22,6	4	4,1	19	22,2	100,7	157,1
91-92	45	68,4	71,3	165,6	89,6	38,7	7,6	2,4	30,4	114,3	25,4	25
92-93	38,7	48,1	58,4	22,4	70,9	10,5	1,9	2,7	0,1	32,2	235,2	140,1
93-94	71,7	89,1	62	117,1	10,8	3,2	1,8	11	33	38,1	4,2	128,5
94-95	196,5	7,6	97,1	41,3	5,3	27,6	0,1	6,8	51,4	45,5	34,6	58,6
95-96	126,8	212,1	61,3	137,9	76,1	9	12,3	6,8	76,3	35	50,7	34,9
96-97	66,5	22,3	33,5	53,3	6,4	16,4	0,1	24	14,7	16,1	23,7	36,3
97-98	48	62	31,1	56,1	77,9	2,4	0,3	46,3	79,7	117,1	112,6	103,1
98-99	73,5	58,5	109,7	93,8	40,8	10,1	2,6	1	98,2	35,8	190,1	43,4
99-00	42,4	21,1	15,5	31,6	139,3	15,2	0	19,5	45,4	8	98,3	108,6
00-01	144,6	58,4	26,4	59,4	57,4	2,2	0	6,2	16,5	47	16,4	37,2
2001-2002	31,6	66,4	15,3	32,3	12,4	3,6	10,2	45,9	55,7	10,4	39	23,4
2002-2003	23	104,6	19,6	187,6	41,9	0	0	0,2	27,1	30,2	120,2	108,6
2003-2004	86,8	97	71,1	79,5	88,2	93,3	0,1	4,1	72	48,6	25,1	203
2004-2005	69,8	97,3	61,3	85,7	5,3	19,4	3	5,3	41,6	20,3	177,1	129,9
2005-2006	140,1	69,7	42,7	14,2	43	1,3	4,5	12,6	12,3	12,8	28,6	89,5
2006-2007	33,5	43,5	215,9	94,4	17,4	28,3	3,5	0,8	63,9	84,2	64,6	72,7
2007-2008	160,4	11,5	91,8	22,3	53,5	14,8	5,9	4,3	29,5	25,4	70,5	35,7

Tab. I.3 : précipitation mensuelles (station de Constantine 1999-2008)

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
1999	73,7	42,1	57,6	31,7	10,5	20,4	3,3	7,7	58,7	35,7	79,2	93,6
2000	17,4	19,1	14,3	32,9	84,4	43,6	0,0	15,7	18,4	38,3	31,7	57,7
2001	123,4	44,7	17,6	38,3	52,9	0,0	0,2	10,4	79,2	48,3	28,5	20,0
2002	23,5	53,3	18,2	31,8	17,0	4,5	19,4	24,0	22,3	26,8	134,7	109,7
2003	231,2	50,2	31,7	120,1	44,4	1,2	2,4	11,1	61,5	46,0	19,8	148,0
2004	87,2	11,5	66,4	47,5	66,2	29,7	0,6	12,9	24,5	30,4	142,9	181,2
2005	46,0	55,8	28,7	61,4	6,8	13,9	7,9	6,8	14,4	2,1	18,6	63,1
2006	78,9	50,3	33,4	14,7	83,8	3,6	0,9	18,6	26,2	10,0	19,1	118,8
2007	14,2	28,9	117,8	66,2	26,1	13,6	4,3	2,4	59,9	39,1	23,8	84,4
2008	9,9	8,7	72,6	23,1	58,2	5,8	11,3	33,9	38,8	21,0	37,6	27,0

Tab. I.5 : Températures mensuelles (station de Constantine 1999-2008)

	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
1999	7,2	5,5	10,1	13,4	21,1	24,3	25,5	28,9	23,1	19,3	10,5	7,6
2000	4,6	8,2	11,2	14,7	20,1	22,3	26,9	26,4	21,9	15,9	12,3	9,1
2001	8,0	7,4	14,3	12,4	17,2	23,8	27,0	26,3	21,6	20,2	10,9	6,6
2002	6,4	8,6	11,1	14,0	18,7	24,8	25,6	25,0	21,3	17,9	12,3	9,2
2003	7,0	6,3	10,5	14,0	17,7	25,3	28,4	27,4	20,9	18,6	12,0	6,8
2004	7,2	8,8	10,6	11,9	15,1	21,4	25,7	26,9	21,0	19,4	9,9	7,9
2005	4,6	4,7	10,8	13,2	19,2	23,9	26,8	24,7	21,1	17,8	11,8	7,0
2006	5,5	6,9	11,0	15,6	20,1	24,9	26,8	24,4	21,0	19,1	12,5	8,4
2007	8,3	9,4	9,0	13,4	17,0	23,2	26,2	25,9	21,2	16,9	9,9	6,8
2008	7,4	8,2	9,7	13,6	18,3	21,8	27,1	26,2	21,7	16,9	10,3	6,8

Tab. I.4 : Températures mensuelles (Station de Guelma 1985-2008)

Année	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
85-86	7,9	10,7	11,5	14,2	20,3	22,4	25,8	28,6	23,3	13,4	16	12,5
86-87	9,7	9,7	11,1	17,4	16,5	22,6	27,4	28,8	23,9	20,3	13,3	9,9
87-88	11,6	12,5	11,9	16,2	10,6	23,3	27,6	27,7	26,3	22,8	14,8	13,2
88-89	9,2	11,9	13,5	14,7	18,5	22,2	26,9	28,4	22,9	21,8	15,2	7,3
89-90	9,8	9,2	12,2	14,2	18,2	24,7	26,3	25,4	24,5	19,2	16,1	14
90-91	8,8	9,2	13,5	11,9	14,7	21,9	26,3	26,6	26,1	20,7	14,6	9,2
91-92	8,3	8,6	11,3	13,4	17,5	20,9	24,2	26,6	24,7	19	13,3	8,7
92-93	8,9	11,3	11,1	14,6	19	23,3	26,5	27,9	25,1	19,9	15	10,8
93-94	10,9	12	13,9	12,9	21,2	23,6	27,7	30,6	24,4	21	14,4	11,2
94-95	4,9	9,4	11,2	13,1	19,2	23,1	27	26,7	26,2	20,1	16,1	11,6
95-96	12,2	11	12,6	14,2	13,2	21,6	29,3	26,9	23	19,1	14,4	12,9
96-97	12	8,5	11	14,1	21,5	15,7	26,7	27,2	21,4	17,1	15,4	13,5
97-98	9,8	8,5	11,6	15,1	18,1	25,3	26,9	29,6	23,3	19,6	14,6	11,5
98-99	9,9	10,7	12,6	14,7	21,4	24,8	26,6	30,2	24,1	17,2	12,6	9,3
99-00	7,3	9,6	15,8	15,9	21	23,5	27,4	27,8	25,5	22,2	13,9	10,8
00-01	10,6	9,6	13	14	18,8	24,6	27,2	27,5	23,7	18,6	15,3	11,8
2001-2002	8,6	10,7	12,3	15,8	20	25,6	26,9	26,7	23,5	22,3	14,1	9,5
2002-2003	10,1	11,6	12,8	15,6	19	26,6	29,7	29,5	23,3	19,7	15,5	11,9
2003-2004	9,9	7,8	12,4	14,9	17,2	22,5	26,1	27,6	23,5	21,2	14,6	10,1
2004-2005	7,7	9,9	13,2	15,5	20,2	24,7	27,3	25,7	23,3	21,2	12,8	11,1
2005-2006	8,6	11,6	11,4	17,2	21,6	25,3	27,8	26,2	23,3	21,3	15,3	11,1
2006-2007	10,2	10,3	11,72	15,4	18,9	24	26,9	26,8	23,2	18,9	12,6	9,7
2007-2008	10	10,03	11,72	15,4	19,8	23,03	27,69	27,55	23,84	19,79	13,7	10,12

Tab. I.6 : Le taux des eaux usées produite par la wilaya de Guelma en générale et par la commune d'Oued-Zénati en particulier. (2006) (MRE, 2008).

Communes	Pop /2004	Pop /2006	Taux Raccdmnt (%) /06	Reseaux Primaires (ml) /06	Reseaux Secondaires (ml) /06	Lineaire Total (ml) /06	VOLUME Rejeté (m3/j)	Nbre de Pts Rejet
Guelma	127 507	146 633	96	52 589	115 543	168 132	14 077	4
O/Zénati	32 951	36 744	96	22 026	28 538	50 564	3 527	8
Tamlouka	19 227	22 111	90	5 625	9 737	15 362	1 769	3
Belkheir	16 960	19 504	96	9 511	14 720	24 231	1 560	2
A/Makhlouf	12 763	14 677	87	7 634	10 952	18 586	1 174	3
H/N'Bails	18 133	20 853	91	6 520	12 950	19 470	1 668	2
Bouchehouf	24 321	27 969	91	14 520	2 150	16 670		3
Héliopolis	25 638	29 484	96	7 138	14 900	22 038	2 359	2
Boumahra/A	17 289	19 882	96	5 790	14 530	20 320	1 591	3
O/Cheham	13 400	15 410	91	9 950	14 820	24 770	1 233	3
H/Debagh	15 434	17 749	96	7 601	19 530	27 131	1 420	5
Khezaras	9 285	10 678	96	7 877	12 815	20 692	854	6
Nechmaya	10 320	11 868	96	5 636	8 520	14 156	949	3
Bouati/M	9 830	11 304	96	5 012	10 450	15 462	904	3
Beni Djerah	4 783	5 500	91	4 644	7 426	12 070	440	2
Guelaat/B.S	5 497	6 322	96	5 125	7 250	12 375	506	1
Roknia	11 417	13 130	96	4 238	8 529	12 767	1 050	2
A/ Reggada	8 332	9 582	86	5 100	7 950	13 050	767	4
Djebala.Kh	4 386	5 044	95	2 727	6 468	9 195	404	2
Beni Mezline	4 854	5 582	95	3 760	5 640	9 400	447	2
El.Fedjoudj	8 572	9 858	91	4 150	9 630	13 780	769	1
Bouhachana	6 338	7 289	96	3 500	7 250	10 750	583	3
A/Sandel	5 780	6 647	96	1 845	4 305	6 150	532	3
O/Fragha	7 576	8 712	91	6 066	14 000	20 066	697	2
A/B/Baida	9 987	11 485	91	6 993	10 000	16 993	919	2
Dahouara	8 850	10 177	91	1 520	3 200	4 720	814	2
Meddjz Sfa	8 557	9 841	96	5 088	8 300	13 388	787	2
Bouhamdane	5 147	5 919	93	2 000	4 520	6 520	474	5
H/Bmediene	7 214	8 296	99	3 936	9 247	13 183	664	9
Medjez Amar	7 275	8 366	97	6 200	10 800	17 000	669	4
Ras ElAgba	2 756	3 169	98	2 400	3 000	5 400	254	2
S/Announa	3 413	3 925	98	2 780	4 170	6 950	314	2
Bordj Sabath	11 265	12 955	85	3 196	4 400	7 596	1 036	4
A/Larbi	8 863	10 192	94	4 120	8 520	12 640	815	3

Tab. I.6 (suite): Le taux des eaux usées produite par la wilaya de Guelma en générale et particulièrement par la commune d'Oued-Zénati. (2008) (MRE, 2008).

Communes	Pop /2008	Taux Raccordé (%) /08	Reseaux Primaires (ml)/08	Reseaux Secondaires (ml) 08	Lineaire Total (ml)/08	Volume Rejeté (m3/j)	Nbre de Pts Rejet	Lieu de rejet	Type	Nbre log
Guelma	124551	98	63481	122 018	185499	14077	4	O/Seybouse	Urb	23736
Ben Djerah	6250	98	4644	7 776	12420	440	2	Chaabet	S/Urb	1064
O/ Zénati	38605	98	22347	31 581	53928	2939	8	O/Zénati	Urb	5893
A/ Reggada	7689	98	5463	11 125	16588	767	4	O/Zénati	S/Urb	1306
Bordj Sabath	10264	98	3 656	6 675	10331	1036	4	O/Zénati	S/Urb	1631
H/Debagh	16410	96	8351	21 890	30241	1420	4	O/Bouham--dane	Urb	2618
Roknia	10312	96	6318	10 849	17167	1050	5	Chaabet	S/Urb	1684
Bouham-dane	4348	98	2350	5 390	7740	474	5	O/Bouham-dane	S/Urb	844
A/Makhlouf	12467	96	9474	11 032	20506	1174	3	Chaabet	Urb	2023
Tamlouka	19089	96	7105	10 499	17604	1769	3	O/El Maleh	Urb	3487
A/Larbi	7714	98	5740	9 200	14940	815	3	Chaabet	S/Urb	1417
H/N'Bails	16067	98	7 260	13 110	20370	1668	2	O/H/N'Bails	Urb	2570
O/Chéham	13220	98	11300	14 820	26120	1233	3	Chaabet	Urb	2307
Dahouara	7107	98	3970	3 450	7420	814	2	O/H/N'bails	S/Urb	1764
Boucheouf	23592	98	17812	20 150	37962	2238	3	O/Seybouse	Urb	4310
A/B/Baida	9270	98	9643	10 000	19643	919	2	Chaabet	S/Urb	1531
Meddjz Sfa	7893	98	7119	8 300	15419	787	2	O/El Maleh	S/Urb	1378
O/Fragha	7670	98	6394	14 000	20394	697	2	O/Seybouse	S/Urb	1333
Guelaat/B.S	5145	96	5545	7 250	12795	506	1	Chaabet	S/Urb	777
Heliopolis	26120	96	7988	15 932	23920	2359	2	O/Seybouse	Urb	4223
Boumahra/A	17586	96	6640	20 403	27043	1591	3	O/Seybouse	Urb	3513
Belkheir	17045	98	13158	15 216	28374	1560	2	Chaabet	Urb	3066
Nechmaya	9926	96	5936	9 237	15173	949	3	Chaabet	S/Urb	1561
Bouati/M	8941	96	7092	10 878	17970	904	3	O/El Ham-mam	S/Urb	1698
Djebala.Kh	4407	96	4142	7 568	11710	404	2	Chaabet	S/Urb	736
Beni Mezline	4616	96	4160	8 100	12260	447	2	Chaabet	S/Urb	833
El.Fedjoudj	8559	96	4460	12 676	17136	789	1	Chaabet	S/Urb	1764
Khezaras	10356	95	8659	13 115	21774	854	6	Oueds	S/Urb	1843
Bouhachana	5575	95	6020	8 590	14610	583	3	Chaabet	S/Urb	1081
A/Sandel	5051	95	3 185	8 395	11580	532	3	Chaabet	S/Urb	840
H/Bmediene	7079	98	5366	11 677	17043	664	2	O/Charef-Announa	S/Urb	1200
Medjez Amar	7609	98	7100	10 930	18030	669	3	O/Seybouse	S/Urb	1222
Ras ELagba	2357	98	2665	3 262	5927	254	3	Chaabet	S/Urb	472
S/Announa	3224	98	3980	4 891	8871	314	2	Chaabet	S/Urb	561

Tab. III.1 : Illustrations des règles pour le choix des dilutions pour déterminer le NPP

Dilution	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	Résultats	Cas cités
Nombre de tubes positifs	3	3	2	1	0	0	321	Premier point du cas 1
	-	3	3	3	3	0	330	
	-	3	0	1	0	0	301	Deuxième point du cas 1
	2	0	0	0	0	0	200	
	2	2	2	2	2	0	222	Cas 2
	-	3	3	2	1	2	323	Premier point du cas 3
	-	-	0	1	0	0	010	Deuxième point du cas 3

Tab. III.2 : Table de Mac - Grady

Nombre caractéristique	Nombre de micro-organisme
000	0,0
001	0,3
010	0,3
011	0,6
020	0,6
100	0,4
101	0,7
102	1,1
110	0,7
111	1,1
120	1,1
121	1,5
130	1,6
200	0,9
201	1,4
202	2,0
210	1,5
211	2,0
212	3,0
220	2,0
221	3,0
222	3,5
223	4,0
230	3,0
231	3,5
232	4,0
300	2,5
301	4,0
302	6,5
310	4,5
311	7,5
312	11,5
313	16,0
320	9,5
321	15,0
322	20,0
323	30,0
330	25,0
331	45,0
332	110,0
333	140,0

Tab. IV.1: Valeurs limitées maximales des paramètres de rejet des effluents liquides (J.O.R.A, 1993).

Température [°C]	30
pH	5.5 à 8.5
MES [mg/ml]	30
DBO ₅ [mg/ml]	40
DCO [mg/ml]	120
Azote de Kjeldahl [mg/ml]	40
Phosphate [mg/ml]	02
Cyanure [mg/ml]	0.1
Aluminium [mg/ml]	5
Cadmium [mg/ml]	0.2
Chrome ³⁺ [mg/ml]	03
Chrome ⁶⁺ [mg/ml]	0.1
Manganèse [mg/ml]	1
Fer [g/ml]	5
Mercure [mg/ml]	0.01
Nickel [mg/ml]	5
Plomb [mg/ml]	1
Cuivre [mg/ml]	3
Zinc [mg/ml]	5
Huiles et graisses [mg/ml]	20
Hydrocarbures [mg/ml]	20
Phénols [mg/ml]	0.5
Solvants organiques [mg/ml]	20
Chlore actif [mg/ml]	1
PCB [mg/ml]	0.001
Détergents [mg/ml]	2
Tensioactifs anioniques [mg/ml]	10

Composition des milieux de culture et des réactifs

I. Milieux de culture

❖ Milieux liquides

➤ B.C.P.L (bouillon lactosé au bromocrésol-pourpre)

La gélose BCP est employée pour la recherche et le dénombrement de coliformes. Ces derniers, en fermentant le lactose, provoquent le virage de l'indicateur colorée et la production de gaz dans la cloche. En effet la fermentation du lactose se manifeste par une production d'acide qui provoque le virage du bromocrésol pourpre au jaune. Ce milieu ne contient pas d'agent sélectif (hormis le lactose), cette méthode n'est donc pas spécifique ; elle est dite présomptive. Tous les tubes présentant fermentation du lactose avec gaz, sont susceptibles de contenir des coliformes. Ils doivent être retenus pour les tests confirmatifs de l'analyse.

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

Peptone	5 g / l.
Extrait de viande	3 g / l.
Lactose	5 g / l.
Pourpre de bromocrésol	0,025 g / l.
pH final	6,9.

Préparation :

Mettre 12g de milieu déshydraté dans un litre d'eau distillée. Mélanger soigneusement jusqu'à dissolution complète. Ajuster, si nécessaire, le pH à 6,9. Répartir en tubes, avec cloche de Durham, à raison de 10 ml par tube. Stériliser à l'autoclave à 115 ° C pendant 20 minutes.

➤ Rothe

Le milieu de Rothe est utilisé pour la recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux. Il est constitué de :

Azide de sodium : Sélectif des streptocoques.

Hydrolysat tryptique de caséine : Source d'azote.

Peptone bactériologique : Source d'azote.

Glucose : Source de carbone.

NaCl : pression osmotique.

Phosphate dipotassique et phosphate monopotassique : détermine le pH.

Les tubes présentant un trouble bactérien après incubation seront considérés comme pouvant contenir des streptocoques fécaux. Ils seront obligatoirement soumis au test confirmatif à l'aide du bouillon Litsky.

➤ Bouillon de LITSKY

Formule (en gramme par litre d'eau distillée)

- Polypeptone.....	20,0 g
- Glucose.....	5,0 g
- Chlorure de sodium	5,0 g
- Phosphate monopotassique	2,7 g
- Phosphate dipotassique	2,7 g
- Azide de sodium	0,3 g
- Ethyl-violet	0,5 mg

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : $6,8 \pm 0,2$.

Préparation

Mettre en solution 35,7 g de milieu déshydraté (BK061) dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée.

- Agiter lentement jusqu'à dissolution complète.
- Répartir en tubes à raison de 10 ml par tube.
- Stériliser à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes.

(Pouvant être ajustée de façon à obtenir des performances optimales)

➤ Schubert

Composition

- Tryptone.....	10.00g
- Tryptophan.....	0.20g
- Glutamicacid.....	0.20g
- Mannitol.....	7.50 g
- Magnesium sulfate	0.70 g
- Ammonium sulfate.....	0.40 g
- Sodium citrate.....	0.50 g
- Sodium chloride.....	2.00 g

- Disodium phosphate.....4.12 g
 - Potassium dihydrogen phosphate0.58 g
- pH a 25°C : 7.6 ±0.2.

➤ Milieu Clarck et Lubs

Composition

- Peptonethropsine de caséine :5g.
- Glucose :5g.
- Phosphate bipotassique :5g.
- Eau distillée.

Préparation

- Répartir en tube à raison de 5 ml par tube.
- Stériliser à 115° C pendant 20 mn.

➤ Eau physiologique

- Chlorure de sodium :9g.
- Eau distillée :1000 ml.

➤ Bouillon au sélénite

Le bouillon sélénite est utilisé pour l'enrichissement sélectif des *Salmonella* dans les produits alimentaires [1]. Ce bouillon contient :

- Des tryptones : source azoté.
- Du lactose : source de carbone.
- Du sélénite : pour inhiber la croissance des bactéries coliformes et des entérocoques tout en sélectionnant *Salmonella* et *Proteus*.

- Du phosphate disodique : pour contribuer à maintenir le pH de 7 et à réduire la toxicité du sélénite pour augmenter la capacité de récupération du milieu.

pH final 7,2 ± 0,2 à 25°C

➤ Eau peptonée tamponnée

Formule (pouvant être ajustée de façon à obtenir des performances optimales)

Pour 1 litre de milieu (BK018, BM010, BM056, BM057, BM131, BM132) :

- Peptone.....	10,0 g
- Chlorure de sodium.....	5,0 g
- Phosphate disodique dodécahydraté.....	9,0 g
- Phosphate monopotassique	1,5 g

Pour 1 litre de milieu (BK131) :

- Peptone.....	10,00 g
- Chlorure de sodium.....	5,00 g
- Phosphate disodique anhydre	3,56 g
- Phosphate monopotassique	1,50 g

pH du milieu prêt-à-l'emploi à 25°C : $7,0 \pm 0,2$.

Préparation

- Mettre en solution 25,5 g de milieu déshydraté (BK018) ou 20,0 g (BK131) dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée.
- Agiter lentement, jusqu'à dissolution complète.
- Répartir en tubes ou en flacons.
- Stériliser à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes.

➤ Bouillon Nitrate réductase

Infusion cœur-cerveau.....	25,0 g.
- Nitrate de sodium.....	10,0 g.
- Eau distillée.....	1 l.

❖ Milieux solides

➤ 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	1 g / l.
Extrait de levure	2 g / l.
Chlorure de sodium	5 g / l.
Agar	15 g.
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.

- **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 Conckey**

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* entéropathogènes 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 neuter.....	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).

➤ *Salmonella- Shigella (SS)*

Isolement des *Salmonella* et *Shigella* mais aussi des *Pseudomonas* ou des *Yersinia enterocolitica*.

Composition

Peptone	5g .
Extrait de viande.....	5g.
Lactase	10g.
Citrate de sodium.....	10g.
Citrate de fer III.....	1g.
Sels biliaires.....	8.5g.
Vert brillant.....	3.3g.
Rouge neutre.....	25mg.
Thiosulfate de sodium.....	8.5g.
Agar	12g.
pH.....	7.3.

Préparation

63g de poudre dissoute par ébullition. Se reporter à la notice en raison de variation de la composition (formule moins inhibitrice des *Shigella* à 5.5g des sels biliaires par exemple). Ne pas autoclaver.

➤ *Milieu TSI*

Composition

Agar	12g.
Extrait de bœuf	3g.
Extrait de levure	3g.
Peptone	20g.
Lactose	10g.

Saccharose	10g.
NaCl	5g.
Glucose	1g.
Citrate ferrique	3g.
Thiosulfate de sodium	3g.
Rouge de phénol	0.025g.
Eau distillée	1000ml.

Préparation

Après dissolution de tous les ingrédients dans l'eau distillée ; ajuster le pH à 7.4 et stériliser à 120°C pendant 20mn.

➤ **Citrate de simmons****Composition**

Chlorure de sodium	5g.
Sulfate de magnésium 7420	0.2 g.
Phosphate d'ammonium PO_2H_2	1g.
Phosphate dipotassique PO_4HK_2	2g.
Citrate trisodique	2 tg.
Solution de bleub bromothymol	8g.
Agar	15 g.
Eau distillée	1000 ml.

Préparation

Après dissolution de tous les ingrédients dans l'eau distillée ; ajuster le pH à 7-7,2.

-Répartir en tube à raison de 7 ml par tube.

-Stériliser à 115°C pendant 30 mn.

➤ **Milieu manitol – mobilité****Composition**

Peptone pancréatique de viande	20g.
Agar – Agar	4g.
Manitol.....	2g.
Nitrate de potassium	1g.
Rouge de phénol en solution à 1%.....	4ml.

Eau distillée 1000 ml.

Préparation

Après dissolution de tous les ingrédients dans l'eau distillée ; ajuster le pH à 7,2.

- Répartir en tube à raison de 8 ml par tube.
- Stériliser à 110°C pendant 30 mn.

➤ Milieu de Mueller-Hinton (gélose)

Le milieu de Mueller-Hinton est un milieu solide utilisé pour la recherche de la sensibilité des germes aux antibiotiques et aux sulfamides. Il constitue également un excellent milieu de base pour la préparation de la gélose au sang.

Formule (en grammes par litre d'eau distillée)

Macération de viande de bœuf : 300 ml.

Hydrolysate de caséine : 17,5 g.

Amidon : 1,5 g.

Agar : 10 g.

pH : 7,4 (environ).

Préparation

Verser 35 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.

➤ Gélose Hektoen

La gélose Hektoen est un milieu de choix pour l'isolement des entérobactéries pathogènes :

- La présence d'extrait de levures et de sucres, et la qualité des peptones favorisent la croissance des *Salmonella* et des *Shigella* même fragiles.
- Des sels biliaires assurent le pouvoir sélectif en limitant le développement des coliformes et des *Proteus*.
- L'orientation de l'identification des bactéries isolées est fondée sur l'attaque de trois sucres, le lactose, la salicine et le saccharose, permettant un repérage plus précis des *Salmonella* et des *Shigella* qui n'attaquent aucun de ces sucres
- Deux indicateurs permettent de visualiser la réaction :
 - ✓ Le bleu de bromotymol qui vire au jaune à l'acidité

- ✓ La fuchsine qui se colore en présence d'aldéhyde (d'où une teinte saumonée si la souche utilise l'un ou plusieurs des sucres présents)

- Une différenciation supplémentaire reposant sur la production d'H₂S est également possible grâce à la présence de thiosulfate et de citrate de fer : elle se traduit par des colonies à centre noir, coloration due à la formation de sulfure de fer.

Observation : Croissance de colonies noires plates témoignant de la production d' H₂S dans un milieu bleu témoignant une basification conséquence de l'utilisation des peptones.

➤ Gélose Sabouraud

Composition

- Peptone..... 10 g
- Glucose massé..... 20 g
- Agar-agar..... 15 g
- Eau distillée (qsp)..... 1 000 mL
- vitamines et facteurs de croissance

Caractéristiques

Naturellement acide, il inhibe la croissance de nombreuses bactéries. Additionné de chloramphénicol à 0,5 g/l ou de gentamicine à 0,04 g/l, il inhibe une grande partie des bactéries permettant la sélection des levures et moisissures. L'addition d'actidione (cycloheximide) à la concentration de 0,5 g/l permet la sélection de moisissures et levures pathogènes. L'addition de chlorure de triphényl 2-3-5-tétrazolium (TTC) (à 0,1 g/l) permet la différenciation des levures du genre *Candida*. En effet, le TTC peut être réduit par certaines levures en produits colorés.

II. Les réactifs

- Réactif kowacks : la mise en évidence de la production d'indole :

Paradiméthylamino-benzaldéhyde	5g
Alcool amylique.....	75ml
Hcl pur	25ml

- Réactif TDA : Pour la recherche de la tryptophane désaminase :

Perchlorure de fer.....	3.4 g
-------------------------	-------

Eau distillée.....100 ml

➤ Réactif IND : 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

Hydroxyde de potassium.....40 g

Eau distillée.....100 ml

VP 2

Alpha naphтол.....6 g

Ethanol.....100 ml

➤ Rouge de Methyl

Rouge de Methyl0.1g

Alcool éthylique à..... 95%: 300ml.

Eau distillée..... 500ml.

➤ Réactif de Griess pour les nitrites

NIT1

Acide sulfanilique 0.8g.

Acide acétique 5 N 100 ml

NIT2

N-N- diméthyl- 1- naphtylamine 0.6 g.

Acide acétique 5 N 100ml.

➤ Colorant

✓ Violet de Gentiane

Violet de Gentiane 1g.

Ethanol à 90% 10 ml.

Phénol 2g.

Eau distillée 100 ml.

✓ **Lugol**

Iode 1g.

Iodure de potassium 2g.

Eau distillée 300ml.

✓ **Fushine**

Fuchine basique 1g.

Alcool éthylique..... 100 ml.

Phénol 5g.

Eau distillée 100ml.

ملخص

تتعرض مياه مجرى وادي الزناتي إلى تلوث شديد، راجع إلى الحجم الكبير لمياه المصارف القذرة لمدينة وادي الزناتي التي تصب مباشرة في هذا المجرى.

من جهة أخرى استعمال هذه المياه في الزراعة وخاصة في ري الأشجار المثمرة والخضروات ، يكون هذا الاستعمال مصحوبا دائما بمخاطر صحية كبيرة ، ومن أجل متابعة هذه المخاطر وجب معرفة خصائص هذه المياه سواء الميكروبيولوجية أو الفيزيوكيماوية

هدف هذه الدراسة هو تقييم درجة تلوث مياه مجرى وادي الزناتي ، التي هي في عرصة دائمة إلى لمصبات مياه الصرف الحضرية (المنزلية أو التابعة للمستشفى) بالإضافة إلى مصارف نشاطات أخرى.

من أجل ذلك قمنا بمتابعة ولمدة تسعة اشهر من سبتمبر 2008 إلى ماي 2009 تطور كل من التلوث الميكروبيولوجي ولفيزيوكيماوي لهذه المياه.

أظهرت النتائج تلوث شديد يتمثل في تواجد عدد كبير من البكتيريا ذات الأصل البرازي ، القولون البرازي والسبحية البرازية. كما اظهر إحصاء الميكروبات الكلي في 22 درجة و37 درجة عدد كبير لهذه الأخيرة بالإضافة إلى التغيرات الفصلية التي عرفت هذه النتائج.

فيما يحض نوعية المياه الفيزيوكيماوية فلقد أظهرت النتائج نسب ضعيفة للأكسوجين المنحل في الماء أين يقابله ارتفاع كبير للنسب المسجلة لكل من المواد العالقة في الماء ،الآزوت والفوسفات.

الكلمات المفتاحية

وادي الزناتي – المياه المستعملة- مصارف المستشفيات- التلوث- الفلاحة (الزراعة)- النوعية الميكروبيولوجية للمياه- النوعية الفيزيوكيماوية للمياه.

ABSTRACT

The watershed of the Oued-Zenati is the largest river of the hydrographic network of the town that bears his name, moreover, it also includes several Chaabats minor and who present themselves as tributaries of the town. It is threatened by pollution intensive, threatened by pollution intensive, given the enormous volume of waste water discharges from the city of Oued-Zenati. Thus the agricultural use of water from the wadi-Zenati in the region of Oued-Zenati is more intense and focuses arboriculture and horticulture. This use is accompanied by health risks whose assessment requires knowledge of the physico-chemical and microbiological groundwater.

The objective of this study is to assess the pollution load of water from the wadi-Zenati that is generated by domestic effluents (inhabitants, hospital) added to those of different industries.

We followed for six months, from september 2008 to may 2009, the development of bacteriological and physic-chemical in the waters of the Oued-Zenati.

The results provide information on major pollution resulted from heavy loads of bacteria indicating fecal contamination are total coliform (TC), fecal coliform (FC) and faecal streptococci (SF). The total flora (TF) enumerated at 37 ° C and 22 ° C shows significant levels, and the bacterial load in the wadi also varies seasonally.

That the physico-chemical inform us of a low oxygen, high levels of suspended solids, nitrate and phosphate.

Keywords : Oued Zénati, waste water, hospital waste, pollution, Agriculture, microbiological water quality, physico-chemical quality of water.

Errata

La page	La ligne	La faute	Correction
ABRIVI- ATION (p1)	21	CN deux fois	Une seule fois
ABRIVI AION (p1)	30	DGAIH	La Direction des Grands Aménagements et Infrastructures Hydrauliques
1	3	La daïra d'Oued-Zénati (OZ) est distante....	La daïra d'Oued-Zénati (OZ) appartient à la wilaya de Guelma, elle est distante....
3	20	l'Oued Zénati principalement vers le Sud	l'Oued Zénati et principalement vers le Sud
10	16	peur	peut
10	23	el	et
15	13	d'une zone, ainsi que les origines	d'une zone et des origines
35	22	estimée à 36744 habitant en 2007	estimée à 37744 habitant en 2007
42	11	Rodier 1996	Rodier, 1996
45	19	organiques [32],	organiques [32].
52	25	l'eau de javel	l'eau de Javel
53	11	germes pathogènes.	germes pathogènes
55	10	de javel	de Javel
71	23	pasteur	Pasteur
81	9	Le bouillon bélénite	Le bouillon sélénite
91	29	1 a 2	1 à 2
93	14	la recherche détermination de	la recherche, la détermination de
94	12	réactif Kovacs	réactif Kowacks
94	14	Réaction positive Apparition	Réaction positive : Apparition
94	15	Réaction négative anneau	Réaction négative : anneau
94	20	Réaction positive virage	Réaction positive : virage
94	21	Réaction négative milieu	Réaction négative : milieu
95	Fig. 30	Couleur en bleu des tubes des AA positive	Couleur en orange ou rouge des tubes des AA positive
98	25	de Kovacs	de Kowacks
101	7	ambiante et incuber pendant 2h	ambiante (incuber pendant 2h)
105/106	26/2	La température des l'échantillons	La température des échantillons
119	2	le site P2 par apport aux deux autres sites P1 et P3.	le site 2 par apport aux deux autres sites 1 et 3.
123		La figure 49 est remplacée par la figure 50 et inversement	Replacer la figure 50 par la figure 49 et inversement
124	5	la concentration maximale est enregistrée pendant le mois de septembre	la concentration maximale est enregistrée pendant le mois de octobre
132	tableau	La zone d'inhibition de <i>Serratia odorifera</i> est vide	AK : 12 AMY:00 AX : 00 CZ : 00 SXT : 09 TE : 12 CN : 25

RESUME

Le bassin versant du l'Oued-Zénati est menacé par une pollution intensive volume des rejets des eaux usées qu'il reçoit de la ville d'Oued-Zénati. L'usage de l'eau de l'Oued -Zénati au niveau de la région est plus intensif. Elle concerne essentiellement l'arboriculture et les cultures maraîchères. Cette utilisation s'accompagne de risques sanitaires dont l'évaluation nécessite la connaissance des caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de ces eaux.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la charge polluante de l'eau de l'Oued-Zénati qui est générée par les effluents domestiques (habitations, hôpital) et par les petites industries avoisinantes.

Nous avons suivi, pendant neuf mois, de septembre 2008 à mai 2009, l'évolution de la qualité microbiologique et physico-chimique de l'eau de l'Oued-Zénati et les résultats obtenus nous renseignent sur une pollution importante traduite par une forte charge en bactéries indicatrices de contamination fécale soient les coliformes totaux (CT), les coliformes fécaux (CF) et les streptocoques fécaux (SF). La flore totale (FT) dénombrée à 37°C et 22°C exhibe aussi des teneurs importantes. Cette la charge bactérienne dans l'oued présente également des variations saisonnières.

Du point de vue physico-chimique nous avons aussi recensé une faible teneur en oxygène et des teneurs élevées en MES, en nitrate inorganique dissous et en phosphates.

Mots clés : l'Oued Zénati, eau usées, effluents hospitaliers, pollution, agriculture, qualité microbiologique de l'eau, qualité physico-chimique de l'eau.