



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES – FES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA VIE



PROJET DE FIN D'ETUDES
PRESENTE EN VUE D'OBTENTION DU DIPLOME
DE
Licence en Sciences & Techniques
« Sciences Biologiques appliquées et Santé »

**EVALUATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES
EAUX DE SURFACE DE LA VILLE DE FES**

Présenté par : AHKOUCH Mohamed

**Encadré par : Pr. OUMOKHTAR Bouchra
Pr. EL FARRICHA Omar**

Soutenu le 17/06/2015 Devant le jury composé de :

Pr. OUMOKHTAR Bouchra	FMP-FES	ENCADRANTE
Pr. EL FARRICHA Omar	FST-FES	ENCADRANT
Pr. BENCHEMSI Najoua	FST-FES	EXAMINATRICE

**Lieu du stage : Laboratoire de Microbiologie et de Biologie Moléculaire à la
Faculté de Médecine et de pharmacie Fès**

Année Universitaire : 2014-2015

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à toutes les personnes qui me sont très chères, et avec lesquelles j'ai tout partagé :

A mes très chers parents :

En témoignage de mon amour, mon affection et ma grande reconnaissance pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bien être afin que je puisse me consacrer pleinement à mes études. Je vous présente mon travail si modeste, mais qui sera certes un premier pas pour vous rendre hommage et vous remercier pour vos grands efforts accomplis à mon égard. Puisse dieu le tout puissant vous prêter bonne santé et longue vie.

À mes chers frères et À mes chères sœurs

Vous qui êtes à mes côtés, pour partager mes joies. Je vous souhaite une vie comblée et une félicité éternelle et réussite.

Aux familles: AHKOUCHE et NAHASS :

Je vous prie de trouver dans ce travail, le témoignage de mon affection, et ma prière pour vous de santé, de bonheur et de réussite.

A toutes mes amies

Avec lesquelles j'ai partagées mes plus beaux moments de joie et de gaietés, je vous aime.

A mes collègues :

À toute la promotion sciences biologique appliquées et santé 2014-2015, bon courage à toutes et à tous, je vous souhaite une bonne continuation dans votre vie personnelle ainsi que professionnelle.

A ceux:

Qui considèrent l'ambition, la volonté et la persévérance des instruments pour aboutir à la cible désirée.

A tous les membres du département DE BIOLOGIE.

A ceux qui auront l'occasion d'avoir ce modeste travail entre les mains.

Remerciements

Tout d'abord, louange à Dieu qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes.

Au terme de ce travail, je me sens redevable à toutes les personnes qui par leur enseignement, leurs conseils ou leur amitié a contribué à sa réalisation.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes très vifs remerciements à mon encadrante **Pr. OUMKHTAR Bouchra** professeur à la faculté de médecine et de pharmacie de Fès, qui m'a accordé de son temps précieux pour faciliter le bon déroulement de mon stage au sein du laboratoire. Je la remercie d'avantage de m'avoir fait confiance pour mener à bien ce travail. Qu'elle trouve ici, le témoignage d'une profonde gratitude.

Je voudrais remercier très sincèrement **PR. FARRICHA OMAR**, professeur à la FST de Fès, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant que je travaille sous sa direction. Qu'il me soit permis de lui témoigner ma très haute considération...

J'exprime mes grands remerciements à **Madame BENCHEMSI Najoua**, Professeur à la FST de Fès de m'avoir fait l'honneur de juger ce travail.

Mes vifs remerciements aux **MR. CHAIB Oualid** (doctorant chimiste) pour ses précieux conseils et ses efforts permanents dans le but d'assurer le bon déroulement de ce stage.

Mes vifs remerciements vont aussi aux étudiantes doctorantes, **Melle CHEFCHAOU Hanane** et **Madame ARHOUNE Ibtissam** pour leurs aides et conseils avisés.

Enfin, je voudrais remercier tous les membres du laboratoire de microbiologie de la faculté de Médecine, qui contribuent par leur bonne humeur à créer un cadre de travail agréable.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, je dis :

Merci 

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des sites de prélèvements.....	11
Figure 2 : Evolution du pH de l'eau dans les déferlantes stations étudiées.....	20
Figure 3 : Evolution spatiotemporelle de débit d'eau dans les différentes stations étudiées.....	21
Figure 4 : Evolution spatiotemporelle de la concentration des coliformes totaux dans les différentes stations étudiées.....	21
Figure 5 : Evolution spatiotemporelle de la concentration des Entérocoques intestinaux...	22
Figure 6 : Evolution spatiotemporelle de concentration des coliformes fécaux.....	23
Figure 7 : Evolution spatiotemporelle de la concentration des FMAT	24

Liste des tableaux

Tableau 1. Principaux groupes et genres d'agents pathogènes responsables de maladies d'origine hydrique.....	6
Tableau 2. Caractéristiques d'un indicateur idéal de la contamination fécale.....	7
Tableau 3 : Caractéristiques des sites de prélèvements.....	11
Tableau 4 : Matériel et méthodes des analyses bactériologiques.....	17
Tableau 5 : Origine de la pollution des différentes stations étudiées.....	25

Résumé

L'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socio-économique et durable d'un pays, il est donc nécessaire d'avoir une meilleure connaissance sur la qualité de ces eaux. L'objectif a été de déterminer le degré de la pollution bactériologique des eaux de surface de la ville de Fès, nous avons choisi huit sites de prélèvement repartis tout au long de la ville Fès. Durant une période de 2 mois (Avril- mai 2014), 32 échantillons d'eau ont été réalisés pour un contrôle microbiologique de la qualité des eaux de surface de la ville de Fès.

La présente étude consiste à évaluer la qualité bactériologique des eaux de surface de la ville de Fès, la variabilité spatiotemporelle des indicateurs bactériologiques et des paramètres physiques (pH, débit d'eau).

Les valeurs moyennes des flores analysées révèlent que les eaux de surface présentent une charge très importante en bactéries indicatrices de la contamination d'origine fécale. Cette étude a montré que les sites S3, S5, S6, S7 et S8 sont les plus contaminés, le taux de contamination des Coliformes Totaux était de l'ordre de $16,58.10^3$ UFC/100 ml. Alors que la concentration des Coliformes Fécaux varie entre $1,3.10^2$ et $2,03.10^3$ UFC/100 ml.

Mots clés : Pollution, eau de surface, maladies hydriques, analyses physicochimiques et bactériologiques

Table des matières

Introduction	1
Partie I : Revue bibliographique.....	2
I. Pollution de l'eau	2
II. Types de pollution.....	2
1. Pollution chimique.....	2
2. Pollution physique	3
3. Pollution organique.....	3
III. Sources de pollution des eaux	3
1. Pollution chimique.....	3
2. Bactéries pathogènes	4
3. Pollution domestique	4
4. Pollution agricole.....	4
IV. Contamination microbienne des eaux.....	4
1. L'eau - vecteur de contamination	4
2. Micro-organismes pathogènes dans l'eau.....	5
3. Notion d'indicateur de contamination	7
4. Normes de qualité microbiologique applicables aux eaux de surface.....	9
Partie II : Matériel et méthodes	10
1. Géographie et géologie.....	10
2. Eaux de surfaces de la ville de Fès.....	10
3. Sites de prélèvements	10
3-1 Caractéristiques des sites de prélèvements	10
3-2 Descriptif des points de prélèvements	11
4. Prélèvement et conservation des échantillons	16
5. Analyses bactériologiques.....	16
5.1- Préparation des dilutions.....	16
5.2- Méthode de l'incorporation en gélose.....	17
5.1- Milieux de cultures	17
5.4- Lecture des résultats.....	18
6. Analyses physiques	18
6.1- Mesure de pH.....	18
6.2- Débit du courant.....	18
I. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface.....	20
1. pH	20

2. Débit d'eau	20
II - Qualité bactériologique des eaux.....	21
1. Evolution de la concentration des CT dans les différentes stations étudiées	21
2. Evolution spatiotemporelle de la concentration des Entérocoques intestinaux(EI) ..	22
3. Evolution spatiotemporelle de la concentration des coliformes fécaux	23
4. Evolution spatiotemporelle de la concentration de FMAT	24
5. Détermination de l'origine de la contamination fécale	24
Conclusion.....	26
Annexe	27
Références bibliographiques	29

Introduction

Riche en milieux aquatiques, le Maroc est parmi les pays d'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution de ses eaux (Mutin, 2000; Khamaret , 2000; Azzaoui & al., 2002). La pollution des eaux de surface continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement (René, 1968), certes, mais peu de cas de maladies à transport hydrique ont été enregistrés au Maroc durant les cinq dernières années (Ministère de la Santé, 2010).

Avec la croissance démographique que connaît la ville de Fès, les changements climatiques et le développement industriel et agricole, le contrôle et la surveillance de la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines devraient susciter un intérêt particulier (El Haiti, 1991). Elles doivent avoir comme objectifs majeurs la préservation de la santé de la population et le dépistage de tous les types de pollution pouvant nuire à la santé humaine.

La pollution des eaux de surface pourrait engendrer diverses maladies telles que: choléra, typhoïde, hépatites, bilharziose et intoxications chimiques.

La contamination des eaux de surface par des microorganismes d'origine fécale existe depuis longtemps, dès que l'eau a été utilisée comme vecteur d'élimination des déchets. Avec le développement de l'urbanisation, les problèmes d'hygiène et de santé publique liés à la contamination bactérienne de l'eau sont devenus de plus en plus critiques. L'eau est devenue aujourd'hui un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable.

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité microbiologique des eaux de surface de la ville de Fès qui présentent un danger sérieux pour la santé des riverains à travers le dénombrement de la flore fécale.

Partie I : Revue bibliographique

I. Pollution de l'eau

La pollution des eaux de surface continue de poser un problème sérieux pour l'Homme et son environnement.

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. On distingue différentes pollutions des eaux : chimique, physique, biologique et organique. Elle peut concerner les eaux superficielles et/ou les eaux souterraines (Antoine & Dominici, 1975).

II. Types de pollution

On appelle pollution de l'eau toute modification de la composition de l'eau ayant un caractère gênant ou nuisible pour les usages humains, la faune ou la flore. Au cours de son utilisation (en fabrication, rinçage, lavage), l'eau s'enrichit ou s'appauvrit en substances de toutes sortes (matières insolubles ou dissoutes, matières minérales ou organique). En effet, la pollution de l'eau survient lorsque des matières sont déversées dans l'eau qui en dégrade la qualité. La pollution dans l'eau inclut toutes les matières superflues qui ne peuvent être détruites par l'eau naturellement. Autrement dit, n'importe quelles matières ajoutées à l'eau qui est au-delà de sa capacité à le détruire. La pollution peut, dans certaines circonstances, être causée par la nature elle-même, comme lorsque l'eau coule par des sols qui a un taux élevé d'acidité. Par contre, la plupart du temps ce sont les actions humaines qui polluent l'eau.

Les pollutions peuvent donc être de nature chimique, physique ou encore biologique.

1. Pollution chimique

La pollution chimique est due à des produits toxiques qui atteignent directement un cours d'eau ou qui pénètrent dans le sol pour atteindre les eaux souterraines. Elle peut être provoquée par le rejet de métaux lourds (cadmium, mercure, plomb ...) ou d'autres substances rejetés par l'industrie, l'agriculture ou les décharges des déchets domestiques ou industriels. Les pesticides utilisés dans l'agriculture, ont une place importante dans la pollution chimique.

2. Pollution physique

La chaleur est une source de pollution de l'eau. Lorsque la température de l'eau augmente, le nombre de particules d'oxygènes dissoutes diminue. La pollution thermique peut être déclenchée naturellement comme par les sources d'eaux chaudes et les étangs peu profonds qui chauffent pendant l'été ou par l'homme comme les déversements d'eau qui sont utilisés pour refroidir les centrales électriques ou d'autres équipements industriels.

Des polluants radioactifs provenant des déversements d'eaux usées d'usines, des hôpitaux et des mines d'uranium. Ces polluants peuvent aussi venir d'isotopes naturels comme le radon. Les polluants radioactifs sont très dangereux pour l'environnement.

Cette pollution est liée aux agents provoquant des maladies que sont les bactéries, les virus, les protozoaires et les vers parasites qui se développent dans les égouts et les eaux usées non traitées. Les foyers domestiques, les hôpitaux, les élevages et certaines industries agro-alimentaires sont à l'origine des éléments dangereux pour la santé évoqués précédemment. On peut donc combattre cette pollution, par le traitement des eaux usées via les stations d'épuration.

3. Pollution organique

La pollution organique est due aux rejets d'eaux usées ou d'eaux riches en déchets provenant des industries agroalimentaires. Ces matières peuvent être dégradées par des bactéries qui, pour ce faire, vont consommer beaucoup d'oxygène. La diminution de la concentration en oxygène occasionnée, peut provoquer la mort de nombreux animaux aquatiques. La présence excessive de phosphates et de nitrates dans l'eau (liée à l'activité agricole) provoque un développement intensif des plantes aquatiques. Le développement de ces plantes nécessite également beaucoup d'oxygène, c'est le phénomène d'eutrophisation.

III. Sources de pollution des eaux

1. Pollution chimique

La pollution chimique a des origines diverses dues à :

- ✓ L'insuffisance de certaines stations d'épuration ;
- ✓ L'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones ;
- ✓ le lessivage des sols, mais aussi des chaussées ;

- ✓ le rejet d'effluents par les industries.

2. Bactéries pathogènes

Les rejets provenant de l'intestin des animaux et de l'homme sont évacués dans le sol ou déversés dans les cours d'eau. Ils y subissent une épuration naturelle. Mais s'ils parviennent trop rapidement à une ressource en eau, ils peuvent provoquer une pollution microbiologique.

3. Pollution domestique

A la maison, l'eau des toilettes comme l'eau des lavages est une source de pollution :

- ✓ Organique (graisses)
- ✓ Chimique (poudres à laver, détergents...).

4. Pollution agricole

La concentration des élevages donne un excédent de déjections animales .Celles-ci s'évacuent dans les cours d'eau et les nappes souterraines .Elles constituent une source de pollution bactériologique.

Les engrais chimiques (nitrates et phosphates) altèrent la qualité des nappes souterraines qu'ils atteignent par infiltration des eaux.

Les herbicides, insecticides et autres produits phytosanitaires s'accumulent dans les sols et les nappes phréatiques.

IV. Contamination microbienne des eaux

1. L'eau - vecteur de contamination

Les eaux douces et côtières polluées par des matières fécales humaines et animales transportent divers microorganismes pathogènes pour l'homme, notamment des bactéries, des virus et des protozoaires. Ceux-ci sont le plus souvent transmis par voie féco-orale, et la contamination de l'homme se réalise alors soit par consommation d'eau de boisson, soit par consommation d'aliments contaminés par l'eau, soit encore lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage récréatif. La contamination des eaux de surface par des microorganismes d'origine fécale existe depuis longtemps, dès que l'eau a été utilisée comme vecteur d'élimination des déchets (George & Seravis, 2002). Les pathogènes transmis par l'eau sont aujourd'hui responsables d'affections. Ces affections sont principalement gastro-intestinales et

leurs symptômes incluent des nausées, vomissements, diarrhées, fièvres et maux d'estomac. Les agents pathogènes responsables de ces affections sont d'origine fécale, et contaminent les eaux de surface et même la nappe phréatique via les rejets d'eaux usées et le lessivage des bassins versants. Dans les eaux à usage récréatif, des affections respiratoires, cutanées et oto-rhino-laryngologiques ont également été rapportées chez les baigneurs (Hamid Bou Saab, 2007), mais la transmission des pathogènes se fait dans ce cas plutôt par contact entre les baigneurs que par voie féco-orale.

A l'opposé de la situation dans les pays industrialisés, les chiffres publiés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2004) révèlent que, dans les pays en voie de développement, chaque année 1,8 million de personnes dont 90 % d'enfants de moins de cinq ans meurent de maladies diarrhéiques. Et, à l'échelle mondiale, près de 90 % des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau de boisson et à un assainissement insuffisant des eaux usées (Nash, 1993). L'eau est devenue aujourd'hui un enjeu stratégique mondial dont la gestion doit impérativement s'intégrer dans une perspective politique de développement durable.

2. Micro-organismes pathogènes dans l'eau

Les micro-organismes pathogènes les plus fréquemment rencontrés dans les eaux douces ainsi que les pathologies dont ils sont responsables et salées sont repris dans le Tableau 1.

Les bactéries pathogènes incluent des espèces d'origine fécale humaine ou animale, qui appartiennent aux genres *Shigella*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia*, et *Escherichia* (*E. coli* pathogènes). Certaines espèces pathogènes des genres *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Vibrio* *Pseudomonas* (*P. aeruginosa*) sont également largement présentes dans la microflore habituelle des eaux et des sols. Ces pathogènes opportunistes affectent essentiellement des sujets sensibles comme les enfants, les personnes âgées ou les immuno-déprimés. Notons également que certaines bactéries pathogènes telles que les Salmonelles et des *E. coli* toxiques sont aujourd'hui plus souvent transmises à l'homme par de la nourriture contaminée lors de sa production, de sa préparation et de sa conservation, par l'eau. Enfin, les coquillages sont un vecteur très important de pathogènes pour diverses raisons: les zones conchylicoles se trouvent souvent dans des zones aquatiques saumâtres contaminées par des rejets domestiques. Ces organismes concentrent les pathogènes par filtration de larges volumes d'eau, et enfin ils sont généralement mangés crus ou insuffisamment cuits.

Tableau 1. Principaux groupes et genres d'agents pathogènes responsables de maladies d'origine hydrique (Straub & Chandler, 2003).

Groupes de microorganismes	Pathogènes	Pathologies
Bactéries	<i>Salmonella</i>	Fièvre typhoïde et diarrhée
	<i>Shigelia</i>	Diarrhée
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Diarrhée
	<i>Escherichia coli</i>	Diarrhée
	<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumonie et autres infections respiratoires
Protozoaires	<i>Naegleria</i>	Méningo-encéphalite
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie amibienne
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée chronique
	<i>Cyclospora</i>	Diarrhée
Virus	Rotavirus	Diarrhée/gastro-entérite
	Hépatite A	Infections hépatiques
	Entérovirus	Méningite, paralysie, fièvres, myocardie, problèmes respiratoires et diarrhée
	Sapporo	Diarrhée/gastro-entérite

Les virus pathogènes d'origine fécale (virus de l'hépatite A, entérovirus, rotavirus, calicivirus (virus de Norwalk) sont une source majeure de maladies transmises par les eaux polluées, et l'amélioration des techniques de détection révèle progressivement leur importance dans les maladies associées à l'eau et à la consommation de coquillages contaminés (Le Guyader & al, 2000). Les virus sont aujourd'hui soupçonnés d'être la cause principale des épidémies de gastro-entérites transmises par l'eau dont l'origine n'a pu être identifiée. Enfin, les maladies d'origine hydrique peuvent être liées à l'ingestion des protozoaires d'origine fécale humaine ou animale, principalement *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium parvum*. Les épidémies de giardioses et cryptosporidioses contractées par l'eau de boisson et les eaux à usage récréatif sont en progression aux Etats-Unis (Rose & al, 2000).

3. Notion d'indicateur de contamination

Dans les milieux aquatiques, la détection de tous les pathogènes potentiels est très difficile et incertaine en raison de: 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.

L'évaluation de la qualité microbiologique des eaux est par conséquent, basée sur le concept de germes dits "indicateurs de contamination". 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. Un bon indicateur est par définition une espèce ou un groupe de bactéries qui présente certaines caractéristiques qui sont reprises au Tableau 2(Rose & al, 2004).

Tableau 2. Caractéristiques d'un indicateur idéal de contamination fécale

Propriété	Caractéristique d'un indicateur
Pathogénicité	Pas pathogène
Occurrence	Présent en même temps que les pathogènes, absent en l'absence de contamination fécale
Survie	Taux de survie similaire à celui des pathogènes
Reproduction	Ne se reproduit pas dans les eaux naturelles
Inactivation	Inactivé par les différents traitements de manière similaire aux pathogènes
Source	La seule source dans les eaux naturelles est la contamination fécale
Coût	Méthodes de détection peu onéreuses, rapides et faciles à mettre en œuvre.

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 pour évaluer le risque sanitaire associé aux diverses utilisations de l'eau (Edberg & al, 2000; Fewtrell & Bartram, 2001). Il est important de comprendre les potentialités et les limitations de ces

différents indicateurs. Quelques caractéristiques des indicateurs les plus couramment utilisés sont présentées ci-dessous :

- **Coliformes Totaux (CT).**

La pertinence de ce groupe comme indicateur est aujourd'hui fortement contestée du fait que toutes les espèces incluses dans les CT ne sont pas spécifiques de la flore intestinale des animaux à sang chaud. En effet, certaines espèces sont d'origine tellurique ou aquatique et sont capables de se développer dans l'environnement aquatique (Tallon & al, 2005)

- **Coliformes Fécaux (CF) (aussi appelés Coliformes Thermo-tolérants).**

Les CF constituent un sous-groupe des CT capables de se développer à 44 °C. Les CF sont considérés comme plus appropriés que les CT comme indicateurs de contamination fécale. Ce groupe est majoritairement constitué d'*Escherichia coli* mais comprend aussi des *Klebsiella*, des *Enterobacter* et des *Citrobacter*. Certains auteurs ont rapporté la présence de ces dernières espèces dans des eaux sans qu'aucune contamination fécale ne soit suspectée (Mc Lellan & al, 2001; Gauthier & Archibald, 2001).

- ***E. coli*.**

De nombreuses études ont montré 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 du matériel fécal humain ou d'animaux à sang chaud (Edberg & al, 2000).

- **Entérocoques Intestinaux.**

Ce groupe est aussi considéré comme un bon indicateur spécifique de la contamination fécale. Plusieurs études ont montré que l'abondance des entérocoques intestinaux était mieux corrélée à l'apparition de maladies gastro-intestinales chez les baigneurs fréquentant des plages aux eaux contaminées que l'abondance des CT ou CF (Cabelli & al, 1982, 1989 ; Ferley & al, 1989).

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 (Pommepuy & al, 1992; Edberg & al, 1997). Des critiques ont été émises à propos de l'utilisation des indicateurs de contamination. Elles sont principalement basées sur la mise en évidence dans de nombreuses études de corrélations

faibles voire inexistantes entre l'abondance des indicateurs de contamination et l'abondance de certains pathogènes. Cette observation n'est pas vraiment surprenante si l'on sait que selon le micro-organisme considéré, d'une part, la source dominante varie (source humaine versus source animale) et, d'autre part, le comportement dans l'environnement naturel (par exemple le temps de survie) des divers pathogènes et indicateurs est différent. Néanmoins, à ce jour, le dénombrement des bactéries indicatrices de contamination fécale reste la seule approche opérationnelle de contrôle de la qualité microbiologique des eaux. Elle est complétée par la recherche de certains pathogènes dans des situations où des contaminations particulières sont suspectées.

4. Normes de qualité microbiologique applicables aux eaux de surface

Les indicateurs de contamination fécale ont servi de base à l'établissement de l'ensemble des normes de qualité microbiologique des eaux. Pour un niveau de contamination microbiologique donné, le risque sanitaire dépend de l'usage. De ce fait, des normes différentes ont été établies pour chacun de ces usages. Les niveaux fixés par ces normes sont, la plupart du temps, issus d'études épidémiologiques qui permettent de faire le lien entre l'exposition à un facteur donné et l'incidence d'infections dues à cette exposition. Elles donnent une estimation du risque en fonction d'un niveau d'exposition ou dose (dans le cas des maladies d'origine hydrique, une abondance d'indicateurs) et peuvent donc être utilisées pour définir des normes appropriées

Partie II : Matériel et méthodes

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Microbiologie de la faculté de Médecine et de Pharmacie de Fès, dans le cadre de la préparation de mon projet de fin d'étude. Sur une période de 2 mois (Avril- mai 2014), 32 prélèvements pour contrôle microbiologique de la qualité des eaux de surface de la ville de Fès.

1. Géographie et géologie

La ville de Fès est située dans la plaine de Saïs, dominée vers le nord par les rides pré rifaines où coule le Moyen Sebou. Vers le sud, elle est dominée par le causse Moyen Atlasique, dont la limite nord est marquée par une ligne d'escarpement d'environ 100 mètres de hauteur (*EL Bouhali, 2001*).

2. Eaux de surfaces de la ville de Fès

La ville de Fès comporte 20 lacs (gîtes) (recensement de l'année 2007), dont une dizaine sont situés dans des localités à proximité de la population et sont utilisés par celle-ci comme une eau de consommation et d'irrigation.

3. Sites de prélèvements

3-1 Caractéristiques des sites de prélèvements

La carte ci-dessous représente la totalité des points de prélèvements. Le choix de ces points est basé sur :

- la possibilité et la faisabilité du recueil des échantillons.
- La localisation des points de prélèvements par rapport aux zones industrielles, habitables et hospitalières de la ville de Fès.

Ces sites recouvrent l'ensemble des cours d'eau qui traversent la ville de Fès (*figure 1*). La distance qui sépare le point S1 du point S8 est d'environ 70 km.

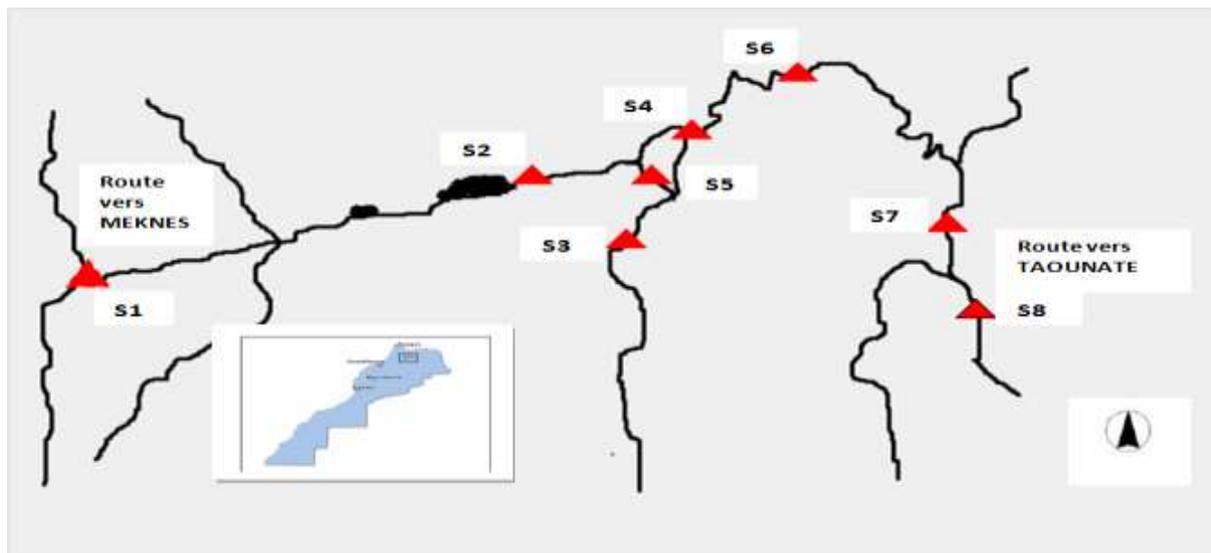


Figure 1: Localisation des sites de prélèvements

3-2 Descriptif des points de prélèvements

Tableau 3 : Caractéristiques des sites de prélèvements

Site	Coordonnées géophysiques	Description
------	--------------------------	-------------

S1 34°2'25.03''
-5°3'40.21''

- le point de prélèvement S1 est sur *Oued Fès* situé près du pont *café labyad*.

- Site de pêche du poisson Black-bass avec présence de culture (blé, poireau, rutabaga) et d'élevage sur les rives.

- La population avoisinante est regroupée dans 3 communes avec présence d'une zone industrielle. Tous les rejets des eaux usées se font dans un petit cours d'eau dit (*oued BenSouda*) qui déverse dans *Oued Fès*. La rencontre de *oued Fès* et du *Oued Ben souda* nous donne le point S1.



S2

34°3'19.14''
-5°0'14.62''

Le point de prélèvement S2 est situé près du Palais Royal et du terrain Golf sur la route *Ain Kadous*.

La distance du point S2 par rapport au point S1 est 8 km Il s'agit d'une zone sauvage sans aucune activité humaine agricole ou industrielle.

La commune la plus proche est à de 10 km.



S3

34°2'31.35''
-
4°59'38.63''

Le point de prélèvement S3 est situé sur *oued al jawahir*. Sa distance par rapport au point S1 est de 50 km. Le quartier le plus proche est situé à 1 km caractérisé par un taux de population normal avec présence de deux centres hospitaliers.



S4

34°3'19.66''
-
4°58'29.85''

Le point de prélèvement S4 porte le nom du pont *Rcif* qui fait partie de l'ancienne médina. Ce site est le point de rencontre de 2 cours d'eau : oued *boukhrarab* et *Oued rejalline*.

La distance/S1 est de 25 km.



S5

34°3'13.49''
-
4°58'59.95''

Le point S5 est sur situé sur oued hamrya.

Sa distance/S1 est de 18 km.

C'est une zone agricole avec une population riveraine relativement réduite.

Ce site est caractérisé par la présence d'un centre hospitalier et les eaux usées des communes avoisinantes sont déversés dans ce cours d'eau.



S6

34°4'28.71''

-

4°57'36.14''

Ce site est caractérisé par une grande pollution suite au déversement des eaux résiduaires des bidonvilles avoisinant directement cette rivière.



S7

34°4'29.77''

-

4°56'20.36''

Le point de prélèvement S7 se situe juste avant la STEP (station d'épuration).

Sa distance par rapport au point S1 est de 45 km.

Le quartier le plus proche est situé à 10 km caractérisé par une très dense population avec présence de certaines industries de fabrication du cuir, et de poterie qui déversent directement dans la rivière.

La nouvelle STEP se trouve à une distance de 10 km du quartier ain nokbi. Le taux de ses populations est



énorme. Certaines sont présentes dans le quartier d'ain nokbi, et elles utilisent l'oued comme débarras de leurs rejets.

S8

34°4'48.61''

-

4°54'58.31''

Le point de prélèvement S8 se situe juste après la STEP.

Sa distance par rapport au point S1 est de 65km.

C'est une zone agricole avec une population riveraine relativement réduite.



4. Prélèvement et conservation des échantillons

Les prélèvements d'eaux ont été réalisés dans des flacons de verre stériles de 500 ml, une fois par semaine durant la saison printanière (du mois d'Avril au mois de Mai) de l'année 2015. Les flacons d'eau ont été conservés dans une glacière à une température de 4°C jusqu'à leur transport au laboratoire pour l'analyse.

5. Analyses bactériologiques

5.1- Préparation des dilutions

On prépare sur un portoir le nombre de tubes stériles correspondant au nombre de dilutions choisies. On introduit dans chacun d'eux 9ml d'eau distillée stérile. Puis on agite l'échantillon afin d'obtenir une répartition homogène des microorganismes. On transfère à l'aide d'une pipette stérile 1ml de cet échantillon homogénéisé dans le premier tube contenant 9ml d'eau distillée. Cette dilution représente la dilution 10^{-1} . Ensuite, on transfère 1ml de cette dilution dans le deuxième tube (dilution de 10^{-2}) et ainsi de suite.

5.2- Méthode de l'incorporation en gélose

La méthode est fréquemment utilisée pour la recherche des bactéries indicatrices de la qualité d'eau. Elle consiste à mélanger dans une boîte de Pétri 1 ml d'échantillon (ou ses dilutions) et un volume de milieu gélosé, fondu et ramené à une température de 45°C. (RODIER & al.1997).

5.1- Milieux de cultures

La composition des milieux utilisés permet de ne laisser se développer que les germes recherchés :

- Tergitol 7 agar + TTC : utilisé pour mettre en évidence la croissance des coliformes fécaux et totaux. C'est un milieu sélectif qui inhibe la croissance des Gram+ et permet de détecter l'acidification du milieu par l'apparition de colonies jaunes avec halo jaune grâce à un indicateur coloré qui est le bleu de bromothymol.
- Gélose Slanetz et Bartley : utilisé pour favoriser la croissance des entérocoques intestinaux (colonies rouges brique).
- Gélose PCA : C'est un milieu de culture solide, utilisé pour le dénombrement la flore mésophile aérobie totale.

Tableau 4 : Matériel et méthodes des analyses bactériologiques

Bactéries	Milieux de cultures	Méthodes d'ensemencement	Températures d'incubation	Cas de résultats positifs
Germes totaux	PCA	En profondeur	37°C	Colonies blanches
Coliformes totaux	Tergitol 7 agar + TTC	En profondeur	37°C	Colonies jaunes
Coliformes fécaux	Tergitol 7 agar + TTC	En profondeur	44°C	Colonies jaunes avec halo jaune
Streptocoques fécaux	Slanetz Et Bartley	En profondeur	37°C	Colonies rouges Brique

Le résultat du dénombrement des coliformes totaux, fécaux et les entérocoques intestinaux, sont exprimés en UFC/100ml.

5.4- Lecture des résultats

Le dénombrement des colonies est effectué par un compteur de colonies. Seules les boîtes présentant entre 30 et 300 colonies sont prises en compte. Le résultat est exprimé en unité formant colonie (UFC)/100ml.

$$N = \text{nombre de colonies dénombrées} / \text{volume d'échantillon analysé en 100ml}$$

6. Analyses physiques

6.1- Mesure de pH

La mesure du pH d'une eau se fait par mesure potentiométrique à l'aide d'un pH-mètre, en déterminant l'activité des ions hydrogènes par utilisation d'une électrode de verre et d'une électrode de référence au calomel plongeant dans un même échantillon. La différence de potentiel existant entre les deux électrodes, est une fonction linéaire du pH.

6.2- Débit du courant

Le débit Q , est le volume d'eau passant à travers la section d'un cours d'eau pendant une unité de temps

$$Q = \frac{V}{t}$$

- Q : débit (en m^3/s)
- V : volume (en m^3)
- t : temps (en s)

En considérant la "surface mouillée" (S , en mètres carrés), définie comme la section du cours d'eau prise perpendiculairement à l'écoulement, le volume V correspond au produit de cette surface par une longueur dans la direction de l'écoulement (L en mètres) :

$$V = S \times L$$

La longueur L correspond ainsi à la distance parcourue par le courant durant une unité de temps. Le rapport de cette longueur par le temps t correspond donc à la vitesse moyenne du courant dans la section (v_{moy}) :

$$\frac{L}{t} = v_{\text{moy}}$$

Le débit est donc donné par la relation :

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{S \times L}{t} = \frac{L}{t} \times S = v_{\text{moy}} \times S$$

Partie III : Résultats et Discussions

I. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface

1. pH

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H⁺ contenus dans l'eau.

Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique.

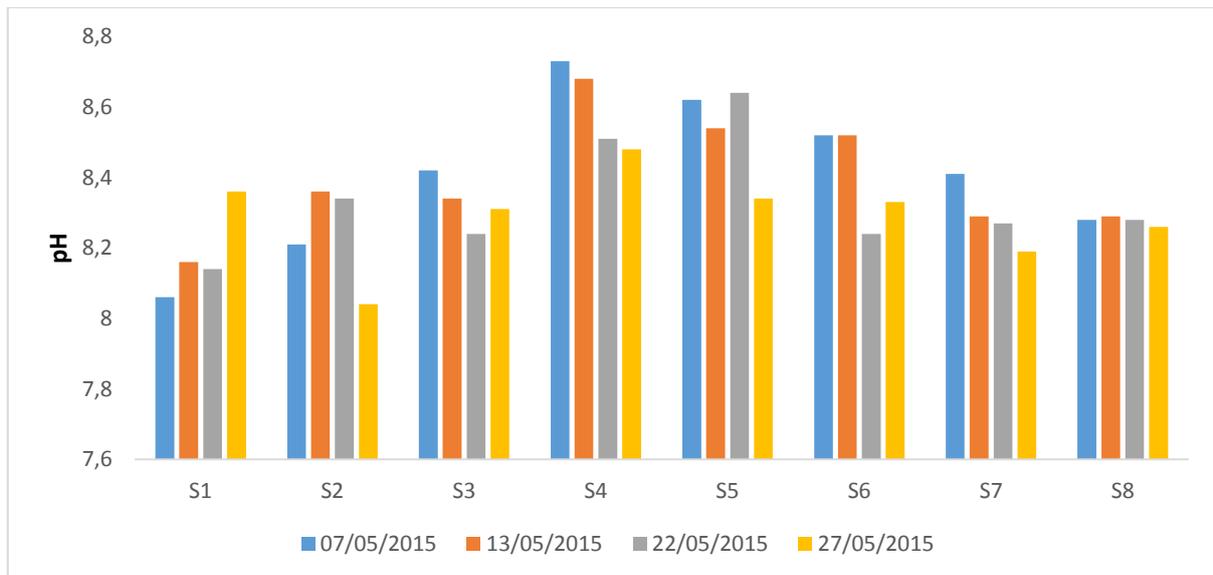


Figure 2: Evolution de pH de l'eau dans les différentes stations étudiées

Les valeurs observées révèlent que le pH est légèrement alcalin dans toutes les stations. En effet, le pH varie entre 8,06 dans S2 et 8,73 dans la station 4. Ceci pourrait être probablement lié à la dégradation de la matière organique (végétaux, selles des animaux...).

2. Débit d'eau

Le débit des courants d'eau est variable sur les différents sites prélevés, il prend en considération les paramètres suivants :

La pluviométrie : lorsque les précipitations sont élevées, le débit augmente.

La température : lorsque celle-ci augmente, le débit diminue.

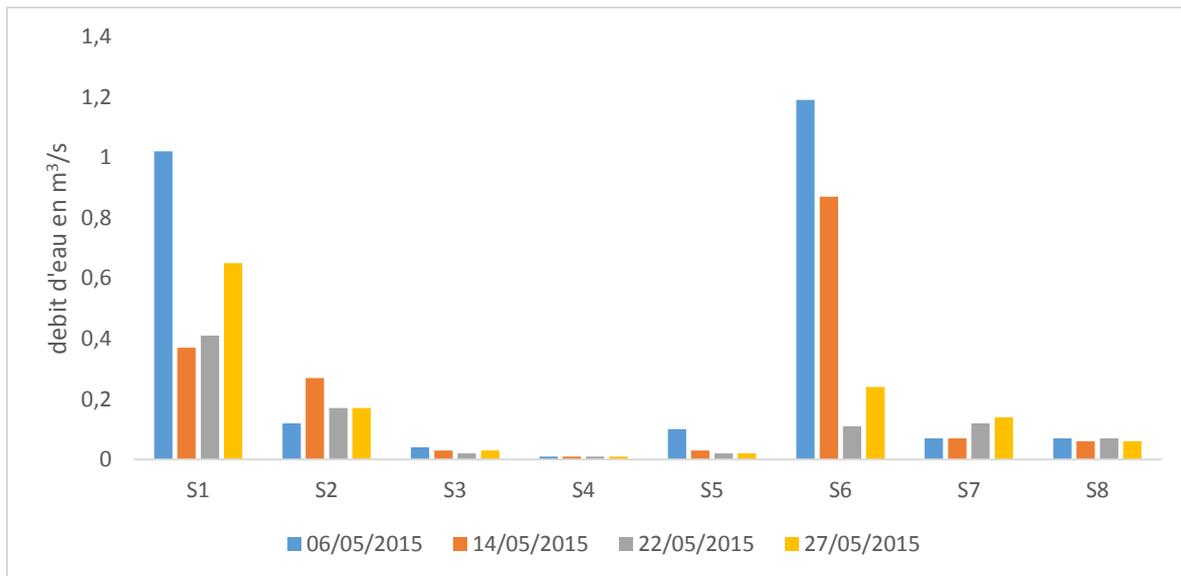


Figure 3 : Evolution spatiotemporelle de débit du courant dans les différentes stations étudiées

Les valeurs moyennes de débit du courant présentent de nombreuses fluctuations spatiotemporelles (*figure 4*). Elles sont généralement comprises entre $0,01\text{m}^3/\text{s}$ et $1,34\text{m}^3/\text{s}$.

II - Qualité bactériologique des eaux

1. Evolution de la concentration des CT dans les différentes stations étudiées

La variation spatio-temporelle des CT des stations étudiées (*figure 5*) montre bien un gradient décroissant de point S7 vers S2 et absence de bactérie dans la station 1.

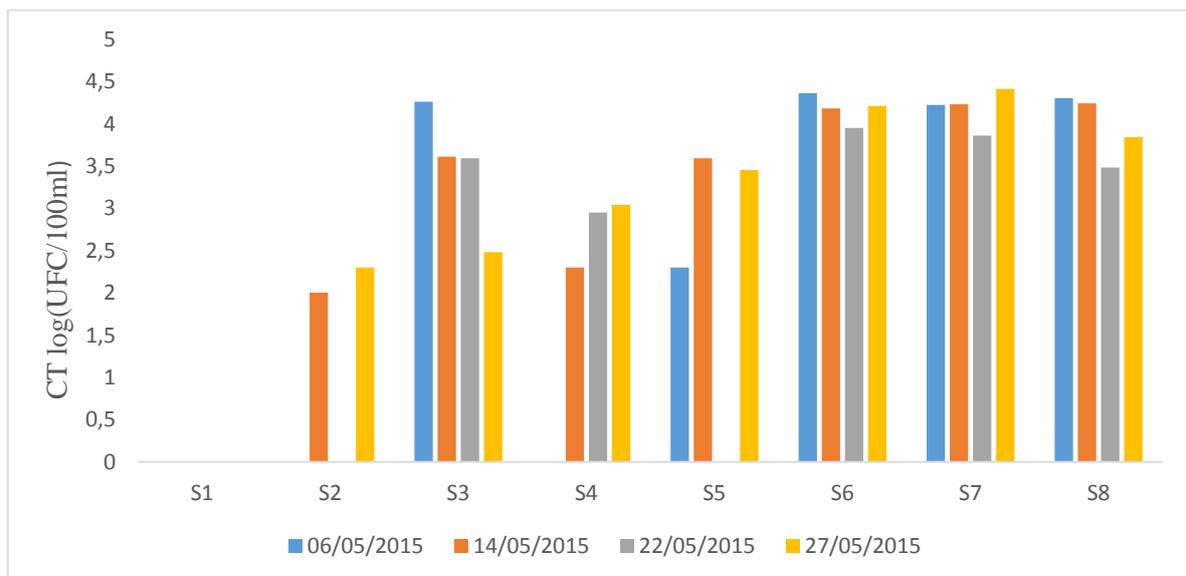


Figure 4 : Evolution spatiotemporelle de concentration CT dans les différentes stations étudiées

La charge moyenne en coliformes totaux (CT) pour les sites de prélèvement S2, S3, S4, S5, S6, S7 et S8 est respectivement 8.10^1 , $6,57.10^3$, $5,5.10^2$, $1,73.10^3$, $1,888.10^4$, $1,658.10^4$, et $1,182.10^4$ UFC//100 ml. La concentration maximale est enregistrée aux points S6, S7 et S8, alors que la concentration minimale est observée pour le point de prélèvement S1.

L'étude menée en 2013 par FOUAD & al a montré que les eaux de surface de l'Oued Hassar (Casablanca, Maroc) contiennent des concentrations très importantes des coliformes totaux variant entre $7,4.10^3$ et $6,4.10^{10}$ UFC/100ml. Ces résultats sont largement supérieurs à nos résultats, et sont expliqués par la diversité et la localisation des sources de contamination par rapport aux sites de prélèvement.

2. Evolution spatiotemporelle de la concentration des Entérocoques intestinaux(EI)

Le dénombrement des entérocoques intestinaux montre que la charge moyenne des Entérocoques intestinaux (EI) pour les sites de prélèvement S1, S2, S3, S5, S6, S7 et S8 est respectivement $1,8.10^1$; $1,6.10^1$; $2,22.10^3$; $4,82.10^3$; $5,83.10^3$; $1,37.10^3$ et $1,88.10^3$ UFC/100 ml.

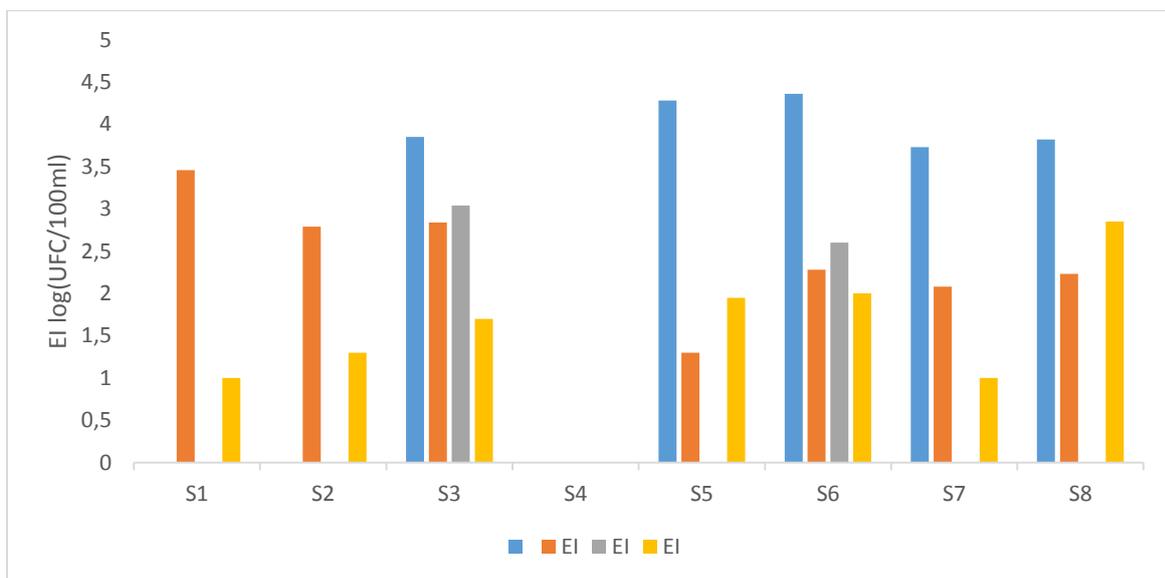


Figure 5 : Evolution spatiotemporelle de la concentration des (EI)

La teneur en EI des sites de prélèvements est très importante dans S3 et S5 par rapport aux autres points, ceci pourrait être expliqué par une activité humaine avoisinante très importante (eaux de baignades).

Nos résultats montrent que la contamination par les entérocoques intestinaux varie entre $1,6.10^2$ et $5,83.10^3$ UFC/100 ml. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par DERWICH

en (2008) réalisé a Oued Sebou et Sebou, qui a décelé la présence des EI dont la concentration varie entre 1.10^2 et 9.10^3 UFC/100ml

Une étude récente menée par FOUAD & al. (2013) a montré que la teneur en EI de l'Oued Hassar (Casablanca, Maroc) varie entre $2,3.10^3$ et $6,4.10^8$ UFC/100ml. Ces résultats sont largement supérieurs à nos résultats du fait que les rejets des eaux usées brutes, domestique et industrielle de Mediouna se déversent directement dans les points de prélèvement.

3. Evolution spatiotemporelle de la concentration des coliformes fécaux

Les sites de prélèvement S3, S6, S7 et S8 sont contaminés par les coliformes fécaux. Les concentrations maximales de coliformes fécaux sont enregistrés dans les sites S6 et S7 est respectivement $2,03.10^3$ et $1,52.10^3$ UFC/100ml, alors que les concentrations minimales sont rapportés dans les sites S4 et S5 de l'ordre de $1,3.10^2$ et 8.10^2 UFC/100ml. On note également l'absence des coliformes fécaux dans les sites de prélèvement S1 et S2 (*figure 6*).

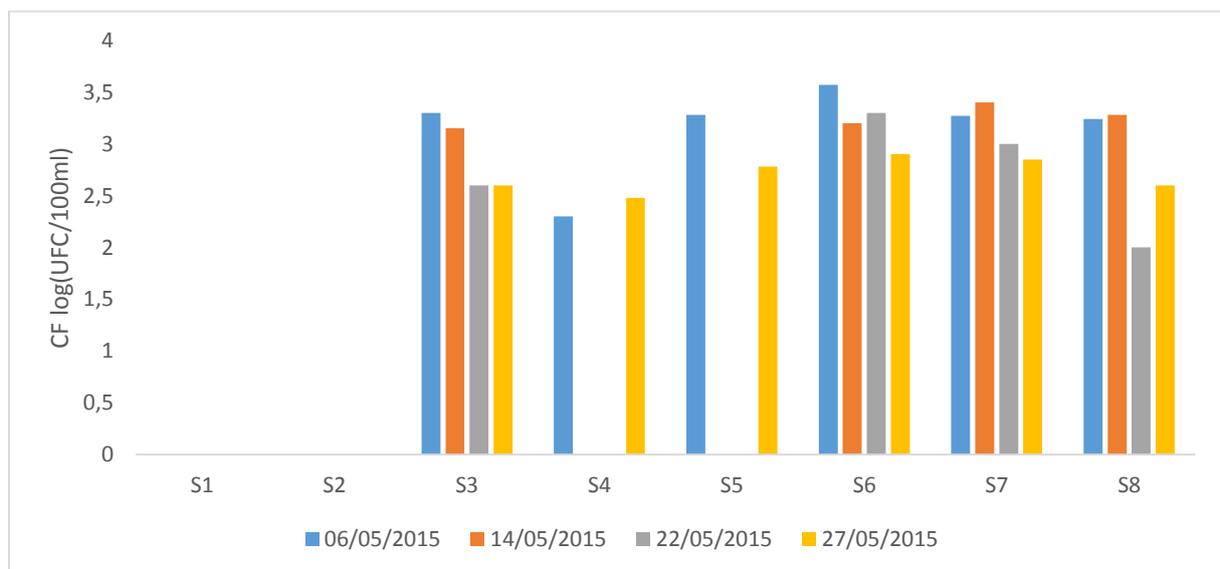


Figure 6 : Evolution spatiotemporelle de la concentration en CF

Il est intéressant de noter que les stations S3, S6, S7, S8, caractérisées par des valeurs dépassant les normes préconisées pour une irrigation des cultures maraîchères ($>1000/100$ ml UFC/100 ml). Classent ces eaux de mauvaise qualité bactériologique.

Les résultats de *DERWICH* sur les eaux de surface des Oueds Fès et Sebou montre que la concentration des coliformes totaux trouvées varient entre 1.10^2 et 1.10^4 UFC/100 ml. Ces résultats concordent avec les résultats de notre recherche, la concentration des coliformes totaux varient respectivement entre $1,3.10^2$ et $2,03.10^4$ UFC/100 ml. Cependant, ces derniers sont largement inférieurs aux résultats rapportés par FOUAD & al (2013) qui a trouvé une

valeur maximale de l'ordre de $6,4.10^8$ UFC/100 ml, du fait que les rejets des eaux usées déversent dans les points de prélèvement.

4. Evolution spatiotemporelle de la concentration de FMAT

La charge microbienne totale est évaluée par le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT).

Les valeurs moyennes des concentrations des bactéries aérobies pour les sites de prélèvement S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 et S8 est respectivement $7,2.10^5$; $1,31.10^6$; $4,25.10^6$; $1,82.10^6$; $2,48.10^6$; $9,6.10^5$; $5,5.10^5$ et $6,4.10^5$ UFC/100 ml.

En termes de charge bactérienne, les stations S6, S7 et S8 sont plus concentrés en FMAT que les autres stations, il est intéressant de noter que les valeurs les plus élevées sont enregistrées en station S3 (*figure 7*).

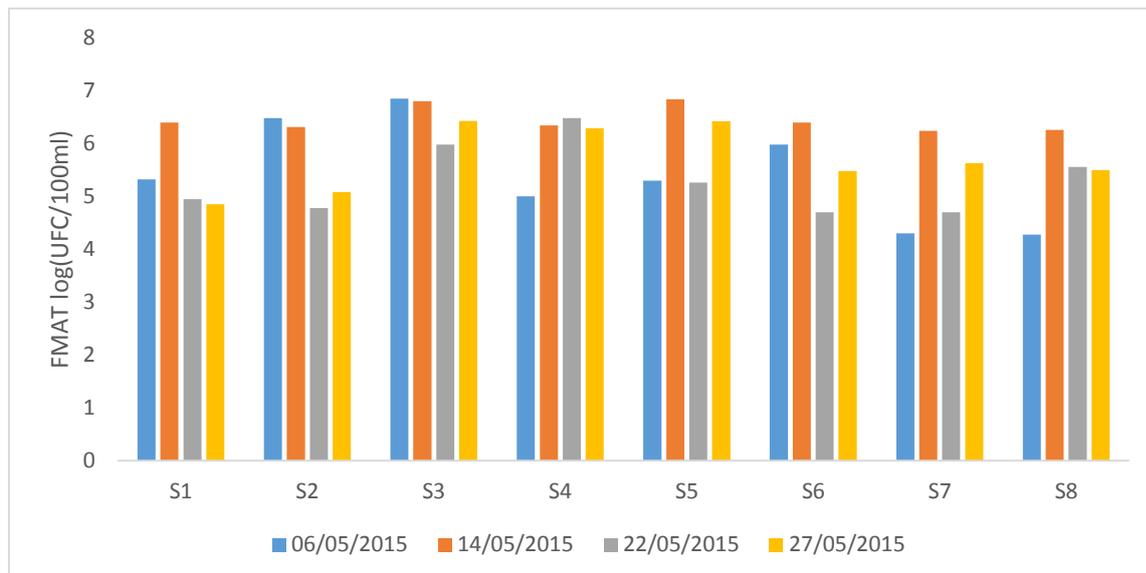


Figure 7 : Evolution spatiotemporelle de la concentration de FMAT

Les résultats trouvés par EL OUALI LALAMI & al (2011) ont montré que l'eau du lac Diamant vert et Les lacs oued Fès et route Sidi Harazem représentent une contamination par la FMAT de l'ordre de $5,5.10^5$ et $4,25.10^6$ UFC/100 ml. Ces résultats sont supérieurs à ceux rapporté par notre recherche, la différence de la charge moyenne de la FMAT est expliquée par la localisation des sites de prélèvements par rapport aux points de rejets des eaux usées urbains de la région de Sidi Harazem et Diamant vert.

5. Détermination de l'origine de la contamination fécale

L'origine de la contamination fécale est déterminée par le rapport quantitatif **R: CF/EI**. Selon les critères définis par (Borrego & Romero, 1982), la contamination est d'origine

animale si le rapport R est inférieur à 0,7, elle est d'origine humaine si R est supérieur à 4. L'origine de la contamination est mixte à prédominance animale si R est compris entre 0,7 et 1. Cette origine est incertaine si R est compris entre 1 et 2 et l'origine est dite mixte à prédominance humaine si R se situe entre 2 et 4.

Tableau 5: Origine de la pollution des différentes stations étudiées

Stations	CF/EI	Origine de contamination
S3	0,47	Origine animale
S5	0,17	Origine animale
S6	0,35	Origine animale
S7	1,11	Origine incertaine
S8	0,55	Origine animale

L'étude microbiologique des stations a mis en évidence une contamination bactérienne de moyenne à importante d'origine animale dans les station S3, S5, S6, S8 et l'absence de contamination des stations S1,S2, et S4.

L'ensemble des résultats bactériologiques montre que ces eaux présentent des signes de dégradation importante, puisque la majorité des paramètres étudiés dépassent les normes Marocaines. Ces données sur la pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès seraient d'un grand intérêt dans l'élaboration d'un programme de contrôle et de surveillance, ainsi que dans la prévention des maladies liées aux eaux de surfaces.

Conclusion

Aujourd'hui, la qualité de l'eau et de l'environnement nous concernent tous. La présente étude montre que les eaux de surface de la ville de Fès sont très contaminées par des bactéries et de mesures concrètes doivent être entreprises pour remédier à ce problème.

La pollution de l'eau est un facteur qui touche la biodiversité et beaucoup d'espèces se trouvent actuellement menacée de disparition. La qualité de l'eau est prioritairement une exigence de santé. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de la traiter et de l'économiser. Les industrielles doivent traiter les déchets avant de les déverser dans les courants d'eau : ils doivent investir dans la mise en place de stations de traitement et d'épuration des eaux usées. Ces industrielles doivent être sensibilisés par l'importance du respect de l'environnement et de la qualité de l'eau. D'autre part il faut aussi que les gens respectent l'environnement et cessent de polluer l'eau par leurs déchets.

Annexe

Annexe 1

Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (S.E.E.E 2007)

Paramètres bactériologiques

Paramètres bactériologiques	Valeurs limites
Coliformes fécaux	1000/100 ml

Annexe 2

Gélose lactosée au TTC et au Tergitol 7

Formule approximative par litre d'eau distillée :

- Peptone pancréatique de viande10,0 g
- Extrait de viande5,0 g
- Extrait autolytique de levure.....6,0 g
- Lactose20,0 g
- Tergitol 70,1 g
- Bleu de bromothymol50,0 mg
- Chlorure de 2, 3, 5 triphényltétrazolium25,0 mg
- Agar agar bactériologique.....10,0 g

Gélose de Slanetz

Formule approximative par litre d'eau distillée :

- Tryptose	20,0 g
- Extrait autolytique de levure.....	5,0 g
- Glucose.....	2,0 g
- Phosphate dipotassique.....	4,0 g
- Azide de sodium	0,4 g
- Chlorure de 2, 3, 5 triphényltétrazolium	0,1 g
- Agar agar bactériologique.....	10,0 g

Plate Count Agar (PCA)

Formule approximative par litre d'eau distillée :

- Tryptone.....	5,0 g
- Extrait autolytique de levure.....	2,5 g
- Glucose.....	1,0 g
- Agar agar bactériologique.....	12,0 g

Références bibliographiques

- **A.F. BORREGO et P. ROMERO** (1982) Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. *Vie journéeétud. Pollutions*, Cannes, France, pp. 561 -569.
- **Azzaoui S., EL HANBALI M., LEBLANC M.** (2002). Copper, lead, iron and manganese in the Sebou drainage basin; sources and impact on surface water quality. *Water Quality Research Journal Canada* 37(4), 773-784.
- **Cabelli, V.J., Dufour, A.P., McCabe, L.J., and Levin, M.A.** (1982). Swimming-associated gastroenteritis and water quality. *American Journal of Epidemiology*. 115 (4), 606-616.
- **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, ISSN 1112-3680, n° 07, Juin 2008, pp. 59-77.*
- **Edberg, S.C., Rice, E.W., Karlin, R.J., and Allen, M.J.** (2000). *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology* 88 106S-116S.
- **Edberg,S.C., Leclerc,H., and Robertson,J.** (1997). Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. Indicators and monitoring parameters for parasites. *Critical Reviews inMicrobiology* 23 (2), 179-206.
- **EL BOUHALI I.** (2001).Etude physico-chimique, bactériologique et faunistique à l'interface superficiel/interstitiel de deux cours d'eau dans la vallée sud de l'oued Fès, Thèse de doctorat d'état, Fac. Sc. Fès p50.
- **EL HAITE H.** (1991). Eléments de réponse pour une meilleure maîtrise des pollutions et gestion des eaux usées à Fés. Thèse de Doctorat es sciences. Université Moulay Ismaïl, Meknés, Maroc.
- **EL OUALI LALAMI A., MERZOUKI M., EL HILLALI O., MANIAR S.,IBNSOUDA KORAICHI S.** (2011),pollution des eaux de surface de la ville de Fèsau Maroc : typologie,

origine et conséquences, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011, pp. 55-72.

- **Ferley, J.P., Zmirou, D., Balducci, F., Baleux, B., Fera, P., Larbaigt, G., Jacq, E., Moissonnier, B., Blineau, A., and Boudot, J.** (1989). Epidemiological significance of microbiological pollution criteria for river recreational waters. *International Journal of Epidemiology* 18 (1), 198-205.
- **Fewtrell, L., Bartram, J.** (2001). *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*. World Health Organization Water Series IWA Publishing, London, UK.
- **FOUAD S, CHLAIDA M, BELHOUARI A, HAJJAMI K. & COHEN N.** (2013) Qualité bactériologique et physique des eaux de l'Oued Hassar (Casablanca, Maroc): Caractérisation et analyse en Composantes principales, LES TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE - 2013, Volume 7, N°30
- **Garcia-Armisen, T., Prats, J. & Servais, P.** (2007). Comparison of culturable fecal coliforms and *Escherichia coli* enumeration in freshwaters. *Can. J. Microbiol.* Submitted .
- **Gauthier, F. and Archibald, F.** (2001) The Ecology of "fecal indicator" bacteria commonly found in pulp and papermill water systems. *Water Research* 35 (9), 2207-2218.
- **GEORGE I., SEVARIS P.** (2002). Sources et dynamique des coliformes dans le bassin de la Seine. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France, 46p.
- **HAMID BOU SAAB, NADINE NASSIF, ANTIONE G. EL SAMRANI, ROSETTE DAOUD, SAMIR MEDAWAR, NAIM OUAÏNI,** (2007), suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface, Laboratoire de Microbiologie, BP 446, Jounief, Liban ; *Revue des Sciences de l'Eau* 20(4) 341-352.
- **KHAMAR M., BOUYA D., RONNEAU C.** (2000). Pollution métallique et organique des eaux et des sédiments d'un cours d'eau marocain par les rejets liquides urbains. *Water Quality Research Journal, Canada* 35 (1), 147-161.
- **L. Nash (1993):** Water quality and health.
- **Le Guyader F., Haugarreau L., Miossec L., Dubois E. and Pommepeuy M.** (2000). Three-year study to assess human enteric viruses in shellfish. *Appl. Environ. microbiol.* 66 (8): 3241-3248.
- **M. Bélanger, N. EL-jabi, D. Caissie, F. Ashkar & J.M. Ribí.** (2005) « Estimation de la

température de l'eau de rivière en utilisant les réseaux de neurones et la. » revue des sciences de l'eau / journal of *water science*:403-421.

- **McLellan, S.L., Daniels, A.D., and Salmore, A.K.** (2001). Clonal populations of thermotolerant Enterobacteriaceae in recreational water and their potential interference with fecal Escherichia coli counts. *Applied and Environmental Microbiology* 67, 4934-4938.
- **MUTIN G.** (2000). L'eau dans le monde arabe, Edition Ellipse. OMS (1990). Comité Directeur Inter-Institution de Coopération pour la décennie. Impact de la DIEPA de l'eau et de l'assainissement sur les maladies diarrhéiques –Genève, p178.
- **MINISTERE DE LA SANTE** : Santé en chiffre, 2002-2006, Site web : www.santé.gov.ma
- **Pompey, M., Guillaud, J.F., Dupray, E., Derrien, A., Le Guyader, F., and Cormier, M.** (1992). Enteric bacteria survival factors. *Water Science and Technology* 25 (12), 93-103.
- **RENE C.** (1968). La pollution des eaux, Edition que sais-je, N° 983.
- **RODIER T., BAZIN C. , BROUTIN JP., CHAMPSAUR H., RODI L.** (1997) : Analyse de l'eau : Eaux naturelles , Eaux Résiduaires ,Eaux de mer. Dunod. Paris, 753-771
- **Rose J.B., Daeschner S., Easterling D.R., Curriero F.C., Lele S. and Patz J.A.** (2000). Climate and waterborne disease outbreaks. *JAWWA* 92(9): 77-87.
- **S.Antoine & L.Dominici** (1975). Les indicateurs de l'environnement dans les zones industrielles. la documentation française, paris, p129.
- **S.E.E.E.** (2007). « Normes de Qualité des Eaux destinées à l'irrigation. ».
- **Straub, T.M. and Chandler, D.P.** (2003). Towards a unified system fo of *Microbiological Methods* 53 (2), 185-197.
- **Tallon, P., Magajna, B., Lofranco, C., and Leung, K.T.** (2005). Microbial indicators of faecal contamination in water: A current perspective. *Water Air and Soil Pollution* 166 (1-4), 139-166.
- **W.H.O.** (1987). global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP.