



Année Universitaire : 2011-2012



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

***Effets de la pollution sur la qualité de l'eau de l'Oued Sebou
destinée à l'alimentation humaine***

Présenté par:

Salma Bourakkadi Idrissi

Encadré par:

- Mr Driss Hamdani, ONEP, Fès
- Mr Jamal Assouik, FST - Fès

Soutenu Le **19** Juin 2012 devant le jury composé de:

- Mr. JAMAL. ASSOUIK
- Mr. MOHAMMED. CHAOUQI
- Mr. ABDELHADI. L'HASSANI

Stage effectué à : **ONEP, Fès**





Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: Bourakkadi Idrissi Salma

Année Universitaire : 2011/2012

Titre: Effets de la pollution sur la qualité de l'Oued Sebou destinée à l'alimentation humaine

Résumé

Ce rapport est le fruit d'un stage de cinq mois – du 1^{er} Janvier au 30 Mai 2012 au sein du laboratoire de l'Office National de l'Eau Potable de Fès, dans le but d'évaluer la qualité de l'eau de l'Oued Sebou destinée à l'alimentation humaine en choisissant trois sites dont les résultats mettent en évidence une perturbation très importante du fait de l'enrichissement par les différents effluents (Domestiques, industriels, et agricoles) que rejette la ville de Fès dans les cours d'eau qui l'entourent.

Les résultats des analyses effectuées ont confirmé la dégradation que connaît les oueds Fès et Sebou (après confluence), et qui montrent que se sont les eaux du site 1 et 2 (respectivement en amont et sur la prise d'eau) qui présentent en général une qualité bonne à moyenne , alors que le site 3 situé en aval de la prise est d'une mauvaise qualité en prenant en considération les normes de qualité des eaux de surface.

On note également dans ce rapport que pour ce qui est de l'analyse des métaux lourds, dans l'eau seuls le chrome, l'aluminium, le zinc et le plomb sont présents en quantités significatives alors que les autres éléments tels que l'arsenic, le baryum et le cadmium recherchés sont en général présents à des concentrations au dessous de la limite de détection.

Quant aux analyses bactériologiques, nous avons trouvé pour les germes indicateurs de la contamination fécale, que la croissance est importante en comparant le site 1 avec le site 2 et celui-ci avec le site 3. Généralement, la mise en évidence de ces germes dans l'eau n'est pas la preuve de la présence de microorganismes pathogènes, mais juste une suspicion éventuelle de leur présence. D'où il est impératif de procéder à des traitements strictes dont une désinfection correcte pour pouvoir être destinée à l'alimentation humaine.

En ce qui concerne les eaux de la prise de l'ONEP qui sont traitées et utilisées comme eau potable, elles ont encore besoin de contrôle et de surveillance régulière et continue notamment en ce qui concerne la détermination exacte du taux de présence des métaux lourds au risque de provoquer des effets nocifs sur la santé des consommateurs à long terme.

Mots clés: Qualité de l'eau, physicochimie, bactériologie, pollution, métaux lourds.



Remerciements

*Au terme de ce travail, je présente mes sincères remerciements à Monsieur **Jamal Assouik** pour son encadrement et soutien tout au long de ce travail, que ces modestes mots puissent exprimer ma reconnaissance, mon profond respect, ma gratitude et ma haute estime.*

*Je tiens également à exprimer mon respect au chef de Laboratoire **M^r Diouri** qui m'a offert l'opportunité d'effectuer mon stage de projet de fin d'étude au sein de l'Office National de l'Eau Potable.*

*Mes vifs remerciements s'adressent aussi à **Mr Driss Hamdani** que j'ai trouvé en lui une source illimitée de générosité et de dévouement, pour m'avoir permis de profiter de ses connaissances.*

*Tous mes remerciements à **M^r Abouzohour, M^r Fellah, M^r Rachid Filali, M^{me} Alami Kaltoume, M^{me} Fouzia Annouhe, M^r Hamdane** pour leur gentillesse et leur disponibilité.*

Et finalement merci à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.



Dédicaces

A mes très chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon respect.

A mon cher Mari qui a été trop patient avec moi tout au long de mes études et qui m'a tellement aidé à concrétiser mon rêve d'avoir mon Master. Je lui dédie ce travail, même si aucune dédicace n'exprimera ma considération et mon grand respect envers lui.

A mon professeur M^r Abderrahim Lahrach qui m'a beaucoup encouragé à poursuivre mes études et qui m'a prodigué un tas de conseils pour supporter tous les obstacles qui m'ont affronté au cours de mes études.

A ma petite fille : Meryem.

A mes chers frères : Charafa et Achraf.

A mon grand père : Ahmed.

A mes tantes et oncles.

A toutes mes meilleures amies.

A toutes les personnes que j'aime...

Je dédie ce mémoire.



Liste des figures

Figure 1 : Besoin en eau en fonction des années.....	Page 7
Figure 2 : station de Prétraitement.....	Page 11
Figure 3 : Vis d'Archimède.....	Page 12
Figure 4 : Station de traitement.....	Page 13
Figure 5 : Décanteurs à racleurs.....	Page 14
Figure 6 : Trois filtres à sable.....	Page 14
Figure 7 : Laboratoire d'analyse.....	Page 15
Figure 8 : Évolution spatiale du nombre des coliformes totaux pour les trois sites....	Page 51
Figure 9 : Évolution spatiale du nombre des coliformes fécaux.....	Page 52
Figure10: Évolution spatiale du nombre des streptocoques fécaux.....	Page 53

Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des différentes quantités d'eau disponibles.....	Page 8
Tableau 2 : classification de la matière en suspension.....	Page 11
Tableau 3 : classification des eaux d'après leur pH.....	Page 19
Tableau 4 : classes de conductivités usuelles.....	Page 20
Tableau 5 : classes de turbidité usuelles.....	Page 20
Tableau 6 : classification de la dureté de l'eau.....	Page 22
Tableau 7 : Echelle de valeurs de DBO ₅	Page 24
Tableau 8 : Normes de qualité de l'eau en fonction du nombre de coliformes.....	Page 28
Tableau 9 : Situation géographique de la ville de Fès.....	Page 33
Tableau 10 : Occupations des sols en ha.....	Page 34
Tableau 11 : Nombre de prélèvements pour chaque paramètre pour les trois sites.....	Page 35
Tableau 12 : Méthodes d'analyse des paramètres physicochimiques.....	Page 36
Tableau 13 : Classe de qualité de l'eau selon l'oxygène dissous.....	Page 38
Tableau 14 : Résultats d'analyse de températures des trois sites.....	Page 47
Tableau 15: Résultats d'analyse de pH des trois sites.....	Page 48
Tableau 16 : Résultats d'analyse de conductivité des trois sites.....	Page 48
Tableau 17 : Résultats d'analyse de turbidité des trois sites.....	Page 49
Tableau 18 : Résultats d'analyse de TA et TAC des trois sites.....	Page 50
Tableau 19: Résultats d'analyse de dureté totale et calcique des trois sites	Page 50
Tableau 20 : Résultats d'analyse d'oxygène dissous des trois sites.....	Page 51



Tableau 21 : Résultats d'analyse d'oxydabilité des trois sites.....	Page 52
Tableau 22 : Résultats d'analyse d'ions majeurs des trois sites.....	Page 52
Tableau 23: Résultats des métaux lourds des trois sites.....	Page 54
Tableau 24: Résultats du nombre des coliformes totaux Pour les trois sites.....	Page 56
Tableau 25 : Résultats du nombre des coliformes fécaux pour trois sites.....	Page 57
Tableau 26 : Résultats du nombre des streptocoques fécaux pour les trois sites.....	Page 57
Tableau 27 : Résultats physicochimiques et bactériologiques des eaux de la Prise.....	Page 58

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : Etude Bibliographique.....	4
Chapitre I : Présentation de l'ONEP.....	5
I) Historique de l'ONEP.....	6
II) Principales activités de l'ONEP.....	6
II-1) Besoin en eau.....	7
II-2) La production.....	7
II-3) Les ressources.....	7
II-4) Quantité d'eau.....	8
III) Organigramme.....	9
Chapitre II : Présentation des stations de l'ONEP.....	10
I) Prétraitement et traitement.....	11
1) Station de Prétraitement.....	11
2) Station de pompage.....	13
3) Station de traitement.....	13
4) Station de reprise AIN Nokbi.....	15
5) Laboratoire d'essai et d'analyse.....	15
Chapitre III : La bibliographie.....	16
I) Pollution de l'eau.....	17
1) Principaux polluants de l'eau.....	17
2) Causes de la pollution de l'eau.....	17
II) Contrôle de la qualité de l'eau.....	18
1) Paramètres physicochimiques.....	18
1.1. Température.....	18
1.2. Ph.....	18



1.3. Conductivité.....	19
1.4. Turbidité.....	20
1.5. Alcalinité (TAC et TA).....	20
1.6. Oxydabilité au permanganate de potassium.....	21
1.7. Oxygène dissous.....	21
1.8. Dureté totale (TH = titre hydrotimétrique).....	21
1.9. Dureté calcique.....	22
1.10. Chlorures.....	22
1.11. Sulfates.....	22
1.12. Nitrates.....	22
1.13. Ammonium.....	23
1.14. Silicates.....	23
1.15. Matière en suspension (MES).....	23
1.16. Ortho phosphates.....	23
1.17. DB05 - Demande biologique en oxygène.....	23
1.18. DCO - Demande Chimique en oxygène.....	24
1.19. Rapport DCO/DBO5 comme indice de biodégradabilité.....	24
2) Métaux lourds.....	25
2.1. Chrome.....	25
2.2. Zinc.....	25
2.3. Cadmium.....	25
2.4. Plomb.....	26
2.5 Aluminium.....	26
2.6. Fer.....	26
2.7. Cuivre.....	26
2.8. Cobalt.....	26
2.9. Nickel.....	26
2.10. Manganèse.....	27
2.11. Arsenic.....	27
2.12. Baryum.....	27
3) Paramètres microbiologiques.....	27
3.1. La flore mésophile aérobie totale (FMAT).....	27
3.2. Germes témoins de la contamination fécale.....	28
3.3. Autres indicateurs biologiques de la qualité de l'eau.....	29

Chapitre VI : Matériels et méthodes d'analyse..... 30

I) Milieu d'étude (les oueds Fès et Sebou).....	31
1) choix du milieu.....	31
2) Situation actuelle de la pollution du milieu.....	31
2.1. Pollution urbaine.....	32
2.2. Pollution agricole.....	32
2.3. Pollution par les décharges publiques.....	32
2.4. Pollution industrielle.....	32
3) Impact de la pollution sur les oueds Fès et Sebou.....	33
3.1. Cadre géographique et géologique.....	33
3.2. Aperçu climatologique.....	34



3.3. Type de cultures.....	34
II) Analyses physicochimiques de l'eau.....	35
1) Prélèvement et conservation de l'échantillon.....	35
2) Analyse des Paramètres physicochimiques.....	35
2.1 Température.....	35
2.2 PH.....	35
2.3 L'oxygène dissous.....	35
2.4. Alcalinité (TA et TAC).....	37
2.5. Oxydabilité au permanganate de potassium.....	37
2.6. Oxygène dissous.....	37
2.7. Dureté totale (TH = titre hydrotimétrique).....	38
2.8 Dureté calcique.....	39
2.9. Chlorures.....	39
2.10. Dosage des ions Ammonium (NH_4^+).....	39
III) Analyse des métaux lourds.....	40
IV) Analyses microbiologiques.....	42
1) Préparation des échantillons de l'eau.....	42
1.1. Prélèvement et conservation des échantillons.....	42
2) Dénombrement de la (FMAT) par le MPN.....	43

DEUXIEME PARTIE : Analyses physicochimiques et bactériologiques des eaux brutes..... 45

Chapitre I : Résultats et Discussions..... 46

I) Analyses physicochimiques.....	47
2. pH.....	48
3. Conductivité.....	48
4. Turbidité.....	49
5. Titre alcalimétrique et Titre alcalimétrique complet.....	50
6. Dureté totale, dureté calcique.....	50
7. Oxygène dissous.....	51
8. Oxydabilité au permanganate de potassium.....	52
9. Ions majeurs.....	52
II) Analyses des métaux lourds par la spectrométrie d'absorption atomique.....	54
III) Analyses bactériologiques.....	55
1) Germes témoins de la contamination fécale.....	55
1.1 Coliformes totaux.....	55
1.2. Coliformes fécaux.....	56
1.3. Streptocoques fécaux.....	57
IV) Résultats physicochimiques et bactériologiques des eaux de la Prise d'ONEP.....	58

CONCLUSION..... 60

BIBLIOGRAPHIE..... 62

ANNEXES..... 63



Introduction



L'eau est une ressource essentielle pour l'humanité ; elle est nécessaire aux besoins humains fonctionnels, consacrée à l'agriculture, elle est à la base de l'alimentation humaine, elle contribue à de nombreuses activités économiques, notamment dans le secteur industriel où elles sont les plus importantes. Considérée comme un maillon primordial dans les équilibres biologiques et écologiques : l'eau est donc au cœur de la problématique du développement durable (Benaabidate L, et al, 2008).

L'évolution spectaculaire que connaît l'environnement urbain et industriel pose, dans de nombreux pays, le **problème de l'eau**. Depuis longtemps, l'eau a été considérée comme un bien naturel, un « don du ciel » gratuit, d'exploitation facile, bon marché et, pour ainsi dire, sans valeur. (Boeglin J-C, 2004)

Le problème de l'eau est inquiétant en réalité, non seulement si on le considère du point de vue quantité, mais encore, et davantage peut-être, sous l'aspect de la qualité. En effet, il ne semble pas qu'il soit possible d'accroître sensiblement les ressources en eau naturelle (sources, puits et forages); pratiquement tout ce qui était intéressant a été capté (Boeglin J-C, 2004).

Force de recourir, tant à l'eau potable qu'à l'eau industrielle, aux eaux de surface, eaux de rivières et de lacs, relativement propres au début du siècle, sont malheureusement exposées de plus en plus à la pollution, sous la forme de rejets d'effluents industriels ou domestiques, et deviennent progressivement impropres (Boeglin J-C, 2004).

Les milieux aquatiques ont toujours reçu une part très importante des résidus de l'activité humaine de différentes origines vu la concentration des habitats et le récent développement des villes ce qui a amplifié ce phénomène, surtout que le rythme de croissance dépassent toutes les prévisions et ainsi que les possibilités d'autoépuration (Benaabidate)

Certes, au Maroc les oueds constituent une source importante dans l'alimentation en eau potable, dans l'irrigation et aussi dans le domaine de l'industrie. Or, ils sont mal conservés et exposés à la pollution, du fait de l'absence des réseaux d'assainissement et des normes de rejet pour les unités industrielles qui y déversent leurs rejets (Benaabidate L, et al, 2008).

D'où l'intérêt d'une étude microbiologique et physicochimique sur la qualité de l'eau, en raison de l'accroissement des nuisances, pour pouvoir évaluer le degré de pollution, et aussi



quantifier son taux, et enfin pour pouvoir chercher à diminuer son impact sur l'environnement ou même l'éliminer si **ceci est possible** (Benaabidate L, et al, 2008).

Dans ce mémoire de projet de fin d'étude, nous avons essayé de choisir un tronçon représentatif de l'apport de pollution que connaît l'oued Sebou **avant et après** confluence avec l'oued Fès (très riche en pollution, urbaine et industrielle, organique et chimique...) afin de quantifier cette pollution dans le temps et l'espace par des analyses physicochimiques et bactériologiques et en sortir des déductions sur sa nature et son origine. Alors, notre rapport est divisé en deux grandes parties :

La première partie est réservée à l'étude théorique ; elle contient des notions sur les caractéristiques physicochimiques et bactériologiques de l'eau ainsi que le choix du milieu de notre travail. Elle est répartie en quatre chapitres :

Chapitre I : Présentation de l'ONEP

Chapitre II : Présentation des stations de l'ONEP

Chapitre III : Etude bibliographique

Chapitre IV : Matériels et méthodes d'analyse

Quant à la deuxième partie ; elle concerne le travail expérimental, elle relate tous les résultats d'analyses effectuées au sein du laboratoire de l'ONEP pour pouvoir quantifier l'impact de la pollution sur l'eau de l'oued Sebou.



PREMIERE PARTIE

Présentation et Etude Bibliographique de l'ONEP



CHAPITRE I

Présentation de l'ONEP



I) Historique de l'ONEP

Jusqu'à la fin des années soixante, le service de l'eau potable était assuré par la Régie des Exploitations Industrielles (REI) et la SMD (Société de Distribution d'Eau et d'Electricité) et souvent effectué à partir des ressources locales.

L'alimentation en eau potable (AEP), ne couvrait alors que les grandes villes urbaines et exceptionnellement quelques résidences en MEDINA.

En milieu rural, l'approvisionnement en eau était assuré par des moyens traditionnels. Et avec la création des règles atlantiques entre Kenitra et Safi au début des années soixante, apparut la nécessité d'une planification à long terme pour répondre aux besoins présents et futurs de cette région. Progressivement cette approche a été étendue à tout le royaume.

La disparition de la REI et son remplacement par l'ONEP a suscité une impulsion, et aussi une dynamique nouvelle à l'AEP en milieu urbain, autorisant l'extension des réseaux dans les grandes villes et la couverture des petites villes.

Créé en 1972, l'ONEP est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

D'importants investissements ont pu être réalisés durant les trois dernières décennies pour assurer les infrastructures de base en matière d'eau potable.

La création de ONEP par dahir a été en 1929 sous le nom REIP (régie d'exploitation installation et planification), puis REP (régie d'exploitation et planification), et en fin le nom ONEP en 1972.



II) Principales activités de l'ONEP :

- + Planifier l'approvisionnement en eau potable du Royaume et la programmation des projets.
- + Etudier l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- + Gérer la production d'eau potable et assurer la distribution pour le compte des communes qui le souhaitent.
- + Contrôler la qualité des eaux produites et distribuées et la pollution des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine.
- + Assister en matière de surveillance de la qualité de l'eau.
- + Participer aux études, en liaison avec les ministères intéressés, des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

↳ L'alimentation en eau potable de la ville de Fès est assurée par l'ONEP et la RADEEF, alors que la distribution est assurée totalement par la RADEEF

II-1) Besoin en eau :

Année	1992	2000	2001	2010	2015
débit (l/s)	2095	2861	2943	3758	4145

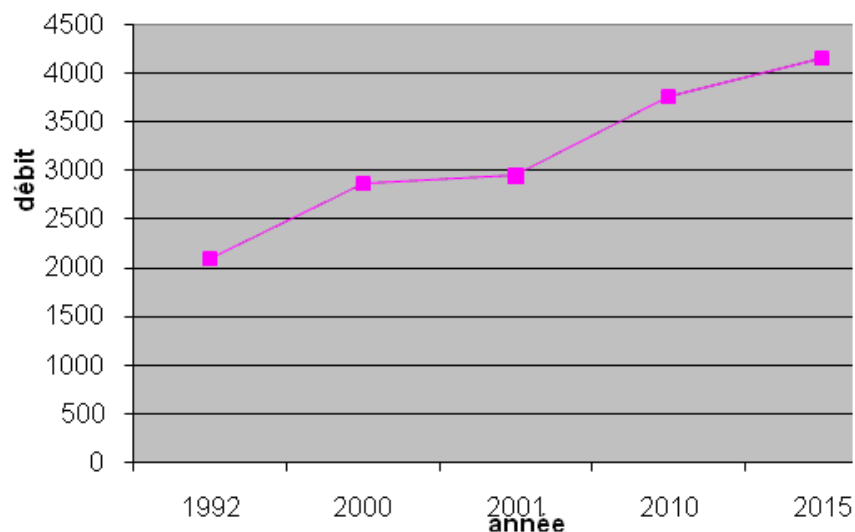


Figure 1 : Besoin en eau en fonction des années

Dix ans après 1992, les besoins en eau potable sont significatifs et augmentent de 1000 litres par seconde.

II-2) La production

✚ L'ONEP de Fès recouvre 64% de la production actuelle de la ville de Fès, elle permet de satisfaire les besoins de pointe de cette ville jusqu'à l'horizon 2015.

✚ **ONEP** :

- Station de traitement 1700 l/s
- Forage 1366 l/s

✚ **RADEEF** : forages et sources 580 l/s

II-3) Les ressources

Les ressources utilisées par l'ONEP, pour la production de l'eau potable sont :

✚ Ressources souterraines :

Principalement les forages situés dans la plaine du Saïss ; en nombre de 17.

Globalement, les ressources en eau souterraines exploitées actuellement assurent un débit de 1366 l/s sans tenir compte des grains de débits relatifs aux travaux programmés par l'ONEP. Le débit total escompté des actions programmées par la DR5 (direction régionale du centre nord) pendant l'an 2007 est de 115 l/s.

✚ Ressources superficielles :

Ouvrage du complexe de traitement des eaux d'Oued Sebou.



Le 3ème système qui assure la production d'eau potable pour la ville de Fès et centres liés est la station de traitement des eaux d'Oued Sebou. La prise d'eau brute se fait directement sur l'oued qui est régulé à l'amont par le barrage Aïet Ayoub.

La capacité de production initiale de la station en 1987(date de réalisation) était de 800 l/s. Le renforcement de ce complexe s'est déroulé en plusieurs étapes :

- Réalisation d'une station de prétraitement (équipée de débourbeurs) en 1989.
- Réalisation d'un réservoir de stockage de 30 000 m³ en 1992.
- Extension de la station de traitement en 1996 pour un débit supplémentaire de 900 l/s.

Depuis la prise d'eau brute jusqu'au réservoir de stockage du client (Réservoir Bâb El Hamra-RADEEF), on peut regrouper les différentes installations en 4 stations :

- Station de prétraitement ;
- Station de pompage d'eau brute ;
- Station de traitement ;
- Station de pompage d'eau traitée Ain Nokbi.

II-4) Quantité d'eau

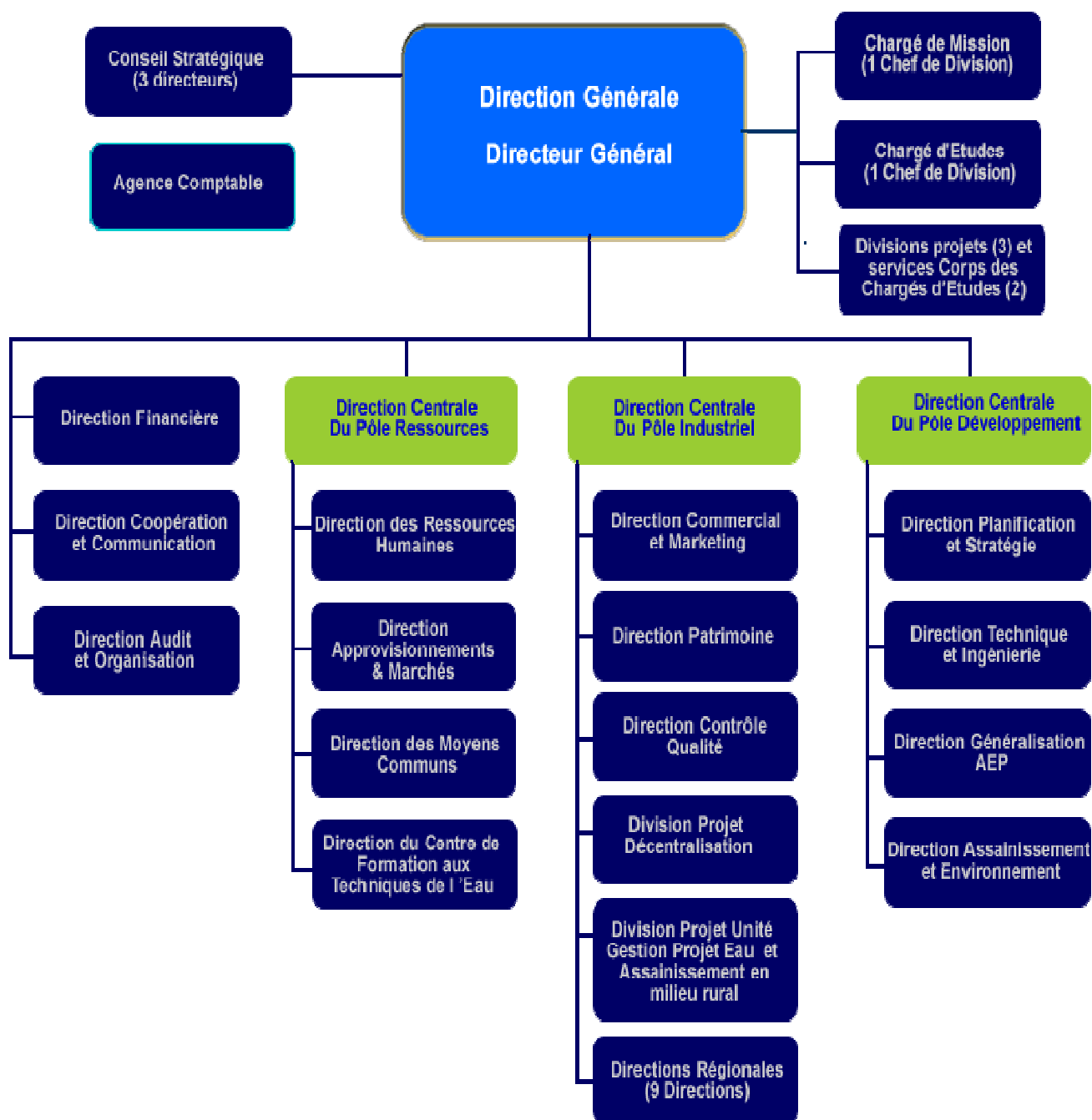
Le tableau ci après donne la répartition des différentes quantités d'eau disponibles relativement aux trois systèmes de production suivantes :

- production superficielle ONEP
- production souterraine ONEP
- production souterraine RADEEF

Ressource	Débit exploité (l/s)	Taux par rapport au débit total
Forages de l'ONEP	1366	45%
Forages de la RADEEF	580	19%
Station de traitement (ONEP)	1100	36%
Total	3046	100%

Tableau 1: Répartition des différentes quantités d'eau disponible

III) Organigramme





Chapitre II

Présentation des stations de l'ONEP

I) Prétraitement et traitement

1) Station de Prétraitement

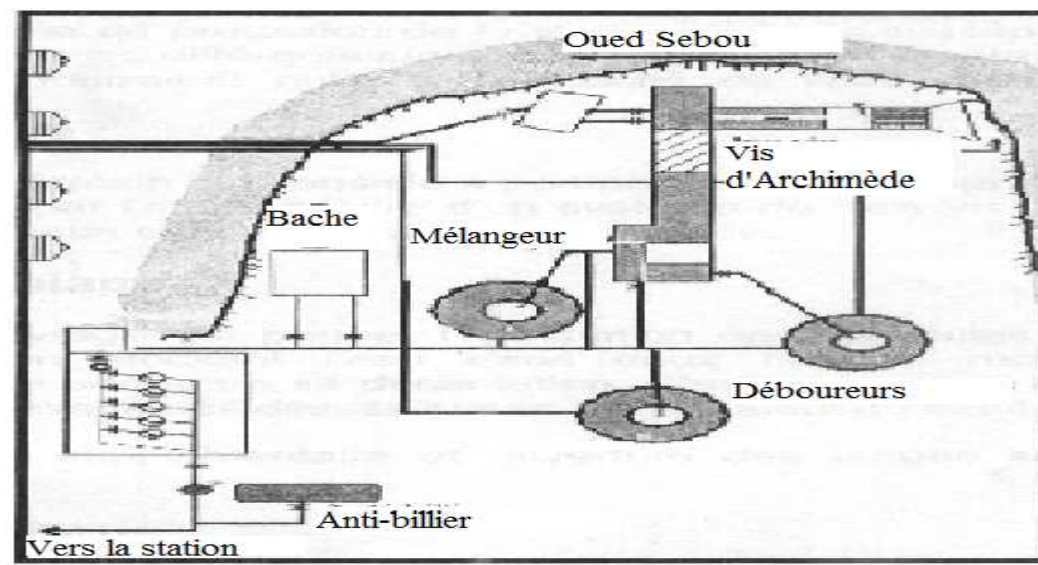


Figure 2 : station de Prétraitement

Elle a été réalisée en 1989 afin de renforcer la station de traitement qui a été fortement sollicitée pour répondre aux besoins de la ville de Fès. Située à côté d'Oued Sebou à 2,5 km de la station de traitement, cette étape de prétraitement est capable de traiter des eaux chargées en MES (matières en suspensions) allant jusqu'à 50g/l. En effet, sa mise en service ainsi que son fonctionnement est tributaire du taux de MES au niveau de l'Oued Sebou comme indiqué dans le tableau suivant :

Taux de MES (g/l)	Mise en service de la station	Mode de fonctionnement
MES < 2	Non	Prise directe de l'eau brute (pas de prétraitement)
2 < MES < 5	Oui	Débouillage sans réactifs
5 < MES < 50	Oui	Débouillage avec réactifs

Tableau 2 : classification de la matière en suspension

Le prétraitement consiste en quatre étapes principales qui permettent de supprimer de l'eau les éléments qui gêneraient les phases suivantes de traitement. Toutes les stations d'épuration ne sont pas forcément équipées de ces quatre étapes, seul le dégrillage est généralisé

Cette station est constituée des composantes suivantes :

Une prise d'eau : pour M.E.S inférieur à 2g/l reliée directement à la station de pompage.

Une autre prise d'eau : pour M.E.S comprise entre 2 et 50 g/l équipé de :

- **Dé grillage :**

Le dégrillage permet de retirer de l'eau les gros déchets tels que les branches, les bouteilles en plastiques, herbes mortes, troc d'arbre). Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles (petites, moyennes, grandes) dont les mailles sont de plus en plus serrées. Les grilles sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage.

- **Une station de Relevage :**

Le relevage est assuré par 3 motoréducteurs et trois vis d'Archimède qui permettent le pompage de l'eau de l'oued Sebou vers les dessaleurs d'un débit de 750 l/s chacune.

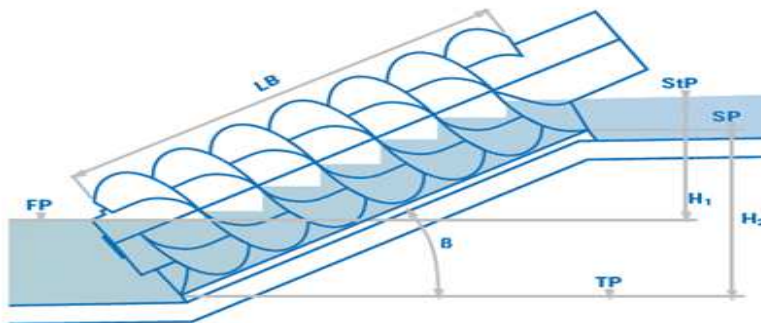


Figure 3 : Vis d'Archimède

- **Dessablage :**

Le dessablage permet par décantation de retirer les sables mélangés dans les eaux par ruissellement ou amenés par l'érosion des canalisations. Ce matériau s'il n'était pas enlevé se déposerait plus loin, gênant le fonctionnement de la station, et provoquant une usure plus rapide des éléments mécaniques comme les pompes.

▪ Répartiteur :

C'est un ouvrage constitué de quatre bacs équipés d'un mélangeur et quatre vannes dont un est de by-pass, c'est le point où on injecte le poly-électrolyte (polymère)

Le mélangeur permet le mélange réactif (polymère) et l'eau brute qui fait descendre le sable, les petits déchets, l'excrément, le palier et les feuilles d'arbre au fond de l'eau.

▪ Débourbeurs :

Le nombre de débourbeurs : 3

Permet de décanter les floques formées par action de polymère.

Chaque débourbeur est équipé d'un mélangeur, un racleur de boue et de deux motopompes pour l'évacuation de la boue

Ce type de traitement est surtout utilisé lorsque les eaux brutes dépassent 2 g/l en M.E.S.

▪ Bâche de 1600 m³ :

La bâche d'eau débouée sert pour la protection des motopompes contre les phénomènes de cavitation

2) Station de pompage :

➤ Groupes de pompage

Le groupe de pompage est constitué d'un moteur asynchrone qui fait tourner la pompe.

- Moteur asynchrone
- Pompe

3) Station de traitement

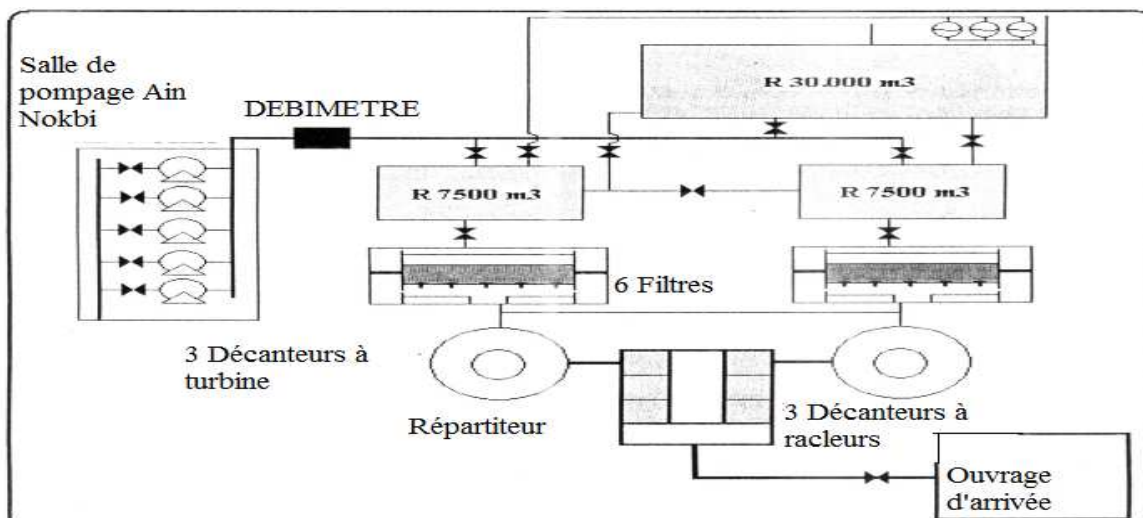


Figure 4 : Station de traitement

Est alimentée par l'eau brute à partir de la 1ère prise d'eau construite sur l'oued Sebou quand les matières en suspension sont inférieures à 2g/l. l'eau transite à travers une conduite de diamètre de 1600 mm équipé par une vanne à commande automatique, permet l'alimentation de la station de pompage en eau brute refoulant directement l'eau brute vers l'ouvrage d'arrivée de la station de traitement.

- **Ouvrage d'arrivée :**

Cet ouvrage permet de transformer l'énergie cinétique de l'eau de la station de prétraitement en une énergie potentielle permettant la circulation de l'eau dans la station de traitement.

- **Répartiteur :**

C'est un ouvrage qui fait répartir l'eau brute sur les 6 décanteurs. L'injection du polymère se fait au niveau du répartiteur.

- **Décanteurs :**

La décantation est l'utilisation des forces de gravité pour séparer une particule de densité supérieure à celle du liquide.

L'eau brute arrive aux 6 décanteurs dont 3 sont des décanteurs recyclage de boue, et les 3 autres sont des décanteurs à racleurs. Ces décanteurs sont conçus pour traiter une eau brute ayant un taux de MES inférieur à 2g/l. l'eau décantée est acheminée vers les filtres par l'intermédiaire des goulottes.



Figure 5 : Décanteurs à racleurs

- **Filtres**

La filtration est un procédé de séparation solide liquide de finition .l'eau clarifiée, provenant des décanteurs est ensuite filtrée sur des filtres à sable.

La filtration sur le lit de sable est efficace, simple et peu coûteuse .c'est pour cela qu'elle est utilisée dans la station de traitement de Fès, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.



Figure 6 : trois filtres à sable

4) Station de reprise AIN Nokbi

Sa capacité totale est 1700 l/s elle se compose :

- Une salle des machines : contient 6 groupes de refoulement.
- Une salle de commande : contient les armoires électriques
- Une conduite de refoulement équipé de 2 anti-béliers, qui refoule vers les réservoirs de la RADEEF à Bâb El Hamra.

5) Laboratoire d'essai et d'analyse



Figure 7 : Laboratoire d'analyse

La station de traitement est dotée d'un laboratoire d'analyse pour le suivi de la qualité de l'eau. L'office surveille régulièrement si l'eau qu'il produit et distribue satisfait aux normes



prescrites, et cela par des analyses physicochimiques et bactériologiques effectuées par des techniciens au sein de son laboratoire. Celui-ci est composé de :

- Salle de laverie
- Salle de chimie
- Salle d'absorption atomique
- Salle de bactériologie



CHAPITRE III

Etude Bibliographique

I) Pollution de l'eau

On appelle pollution de l'eau toute modification chimique, physique ou biologique de la qualité de l'eau qui a un effet nocif sur les êtres vivants la consommant. Quand les êtres humains consomment de l'eau polluée, il y a en général des conséquences sérieuses pour leur santé. La pollution de l'eau peut aussi rendre l'eau inutilisable pour l'usage désiré (Lenntech, 2008).

1) Principaux polluants de l'eau

Il y a plusieurs classes de polluants de l'eau. La première concerne les agents provoquant des maladies qui sont des bactéries, des virus, des protozoaires et des vers parasites qui se développent dans les égouts et les eaux usées non traitées (Lenntech, 2008).



Une deuxième catégorie de polluants concerne les déchets qui ont besoin d'oxygène, c'est à dire ; qui peuvent être décomposées par des bactéries ayant besoin d'oxygène. Quand ces bactéries qui décomposent les déchets sont nombreuses à être en action, cela peut abaisser le niveau d'oxygène de l'eau, ce qui entraîne la mort d'autres espèces vivant dans cette eau. Une troisième classe de polluants de l'eau est celle des polluants inorganiques hydrosolubles, tels que les acides, les sels et les métaux toxiques (Lenntech, 2008).

Une autre classe de polluants de l'eau est celle des nutriments; ce sont les nitrates et les phosphates hydrosolubles qui entraînent une croissance excessive des algues et des plantes aquatiques, ce qui diminue la quantité d'oxygène dans l'eau, et alors les poissons meurent. Lorsque ce type de polluants se trouve dans l'eau potable ; il peut entraîner la mort des enfants en bas âge (Lenntech, 2008).

L'eau peut également être polluée par un certain nombre de composées organiques tels que le pétrole. les plastiques et les pesticides , ils sont nocifs pour les etres vivants consommant ou vivant dans cette eau. Une autre catégorie très dangeureuse de polluants est celle des sédiments en suspension, car elle diminue l'absorption de la lumière par l'eau et ces particules diffusent les composés dangereux tels que des pesticides dans l'eau (Lenntech, 2008).

Enfin, les composés radioactifs hydrosolubles peuvent causer des cancers, des malformations chez les nouveau-nés et des modifications génétiques et sont donc des polluants de l'eau très dangereux (Lenntech, 2008).

2) Causes de la pollution de l'eau

En général la pollution de l'eau est due aux activités humaines. Il y a deux sortes de sources de pollution, les sources localisées et les non localisées. En ce qui concerne les sources localisées, les polluants sont déversés dans un lieu précis des eaux de surface grâce aux canalisations ou aux égouts. En ce qui concerne les sources non localisées, le lieu précis de déversement des polluants est indéterminé (Lenntech, 2008).

Comme exemples de sources localisées, les usines, les installations de traitement d'eaux d'égout, les mines souterraines, puits de pétrole, les pétroliers et l'agriculture. Pour ce qui est des sources non localisées: les dépôts d'acide de l'air, le trafic, les polluants diffusés par les fleuves et ceux provenant des eaux souterraines. Il est difficile de contrôler la pollution non localisée car les auteurs restent inconnus (Lenntech, 2008).

La pollution de l'eau est détectée en laboratoire, où on recherche la présence de différents



polluants dans de petits échantillons d'eau. Des organismes vivants, tels que les poissons peuvent également être utilisés pour détecter la pollution de l'eau (Lenntech, 2008).

Des changements dans leur comportement ou dans leur croissance nous informent que l'eau dans laquelle ils vivent est polluée. Des propriétés spécifiques de ces organismes peuvent même nous fournir des informations sur le type de pollution de leur environnement (Lenntech, 2008).

Certains laboratoires spécialisés utilisent également des modèles informatiques pour déterminer les dangers liés à l'utilisation de certains types des eaux.

Par ailleurs, quand l'eau est riche en nutriments, il se peut que les bactéries anaérobiques, qui n'ont pas besoin d'oxygène se développent, et deviennent fortement actives. Ces bactéries produisent certains gaz pendant leurs activités (Lenntech, 2008).

Un de ces gaz est le sulfure d'hydrogène. Ce composé a la même odeur que les œufs pourris. Quand l'eau a l'odeur des œufs pourris on peut conclure que de l'hydrogène est présent, du fait d'un manque d'oxygène (Lenntech, 2008).

II) Contrôle de la qualité de l'eau

1) Paramètres physicochimiques

1.1. Température

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment) (RéFEA, 2000).

De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau (RéFEA, 2000).

1.2. pH

Le pH représente la concentration des ions hydrogènes dans une solution. Cette mesure est importante car le pH régit un grand nombre d'équilibres physico-chimiques. Le pH des eaux naturelles varie normalement en fonction du système bicarbonates-carbonates (Centre d'expertise du Québec, 2008).

Dans les eaux naturelles, peu soumises à l'activité humaine, le pH dépend de l'origine de ces eaux et de la nature géologique du milieu. Les eaux d'exhaures et les effluents industriels peuvent abaisser le pH de façon importante, ce qui accentue de la corrosion de la canalisation des réseaux d'égout et d'aqueduc (centre d'expertise du Québec, 2008)

Il est mesuré à l'aide d'une électrode en verre, dont le potentiel varie en fonction de la



concentration des ions hydrogènes suivant l'équation de Nernst. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé ph-mètre (centre d'expertise du Québec, 2008).

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Tableau 3 : classification des eaux d'après leur pH

1.3. Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau intégrée (RéFEA.2000).

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en terme de conductivité équivalente à 20 ou 25°C intégré (RéFEA, 2000).

$\chi = 0.005 \mu\text{S/cm}$	eau déminéralisée
$10 < \chi < 80 \mu\text{S/cm}$	eau de pluie
$30 < \chi < 100 \mu\text{S/cm}$	eau peu minéralisée, domaine granitique



$300 < \chi < 500 \mu\text{S/cm}$	eau moyennement minéralisée, domaine des roches carbonatées (karst)
$500 < \chi < 1000 \mu\text{S/cm}$	eau très minéralisée, saumâtre ou saline
$\chi > 30000 \mu\text{S/cm}$	eau de mer

Tableau 4 : classes de conductivités usuelles

1.4. Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...).

Une forte turbidité peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure sur le terrain à l'aide d'un turbidimètre (RéFEA, 2000).

NTU < 5	Eau claire
$5 < \text{NTU} < 30$	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble
NTU > 200	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

Tableau 5 : classes de turbidité usuelles (NTU, nephelometric turbidity unit)

1.5. Alcalinité (TAC et TA)

L'alcalinité, c'est la teneur de l'eau en carbonate (CO_3^{--}), en bicarbonate (HCO_3^{--}) et en alcali (OH^-). Il n'existe aucune norme applicable à l'alcalinité. L'alcalinité de l'eau est toutefois considérée acceptable entre 30 et 500 mg/L de CaCO_3 et bonne entre 100 et 200 mg/L de CaCO_3 . Cependant, l'alcalinité est le principal facteur de contrôle de l'agressivité de l'eau et de son pouvoir incrustant. Une eau agressive a tendance à réagir avec le métal des canalisations et à le corroder alors qu'une eau incrustante a tendance à précipiter des sels dans le tuyau et à réduire son diamètre utile.

Elle est mesurée par la somme des anions hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes alcalins (Na) ou alcalino-terreux (Ca, Mg). Lors de pH inférieur à 8, le TAC est mesuré par acidification du milieu jusqu'au virage de l'hélianthine (méthylorange) et exprime alors la teneur en hydrogénocarbonates. Lors de pH supérieur à 3, il peut y avoir coprésence ; voire présence



d'hydroxydes alcalins (Claus B et Robert P, 2001).

1.6. Oxydabilité au permanganate de potassium

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydées est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid, suivant l'acidité du milieu et la température, l'oxydation est plus ou moins énergique. Ce test conventionnel permet d'apprécier la teneur en matières organiques en même temps que la présence d'autres substances réductrices (chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

La quantité de permanganate de potassium (KMnO_4) consommée pour l'oxydation des matières organiques d'une eau pendant un temps donné (4 heures à froid ou 15 minutes à ébullition) en milieu acide ou en milieu alcalin est exprimée en mg/l de O_2 ou en mg/l de KMnO_4 . Cette notion permet d'estimer la pollution organique globale d'une eau naturelle et d'apprécier l'efficacité du traitement au quel elle est soumise (chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

1.7. Oxygène dissous

L'oxygène dissous est indispensable à toute forme de vie aquatique animale. La présence de matières organiques réduit la teneur en oxygène dissous dans l'eau par oxydation à travers un procédé microbiologique.

Il existe ainsi deux types d'analyse qui permettent de déterminer la quantité d'oxygène dans l'eau.

- Une mesure directe de la teneur en oxygène dissous dans un échantillon prélevé (cette mesure donne une indication sur la santé du cours d'eau à un instant et un endroit donné).
- Une mesure de la quantité de matière organique qui, lors de leur décomposition, est susceptible de consommer l'oxygène présent (cette mesure, nommée demande en oxygène, permet d'apprécier la santé globale d'un cours d'eau) (chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

1.8. Dureté totale (TH = titre hydrotimétrique)

Pour caractériser une des propriétés de l'eau on utilise la notion de dureté de l'eau. En relation avec cette notion, on inclut plusieurs concepts. La dureté totale comprend la somme des concentrations, $C(x)$ des ions Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} et Ba^{2+} ; comme la plupart des eaux ne contiennent pas d'ions Sr^{2+} ni de Ba^{2+} , en pratique la dureté totale est définie par $c(\text{Ca}^{2+}) + c(\text{Mg}^{2+})$ (Claus B et Robert P, 2001).



Degré de dureté	Concentration en mg/L de CaCO ₃
Douce	0-60
Modérément douce	60-120
Dure	120-180
Très dure	180 et plus

Tableau 6 : classification de la dureté de l'eau

1.9. Dureté calcique

Le calcium provient :

- du lessivage des couches des sels (NaCl , SO₄Ca), des calcaires et des marnes gypseuses ;
- de la dissolution de la matière organique au niveau des fossés qui favorisent la solubilité du Ca CO₃ (Claus B et Robert P, 2001).

1.10. Chlorures

Les chlorures sont présents dans presque toutes les eaux. Les concentrations sont très variables, pouvant passer d'une dizaine de mg/L à plus d'un millier de mg/L. La provenance des chlorures peut être due au passage de l'eau à travers des percolations de roches sédimentaires, à l'intrusion d'eau salée dans les eaux souterraines et à l'épandage de chlorure de sodium et de calcium sur les routes. La concentration maximale en chlorure proposée est de 250 mg/L, car à des concentrations supérieures, l'eau peut avoir un goût de sel. Les chlorures sont aussi des agents corrosifs à des concentrations élevées.

1.11. Sulfates

L'influence de l'activité biologique est très grande dans la transformation des composés soufrés. Parmi les problèmes causés par les sulfates, les plus graves sont ceux qui entraînent un dégagement nocif de H₂S et H₂SO₄ après activité bactérienne (Claus B et Robert P, 2001).

1.12. Nitrates

Les nitrates sont présents un peu partout dans la nature. Les nitrates proviennent de



l'oxydation de l'azote en milieu naturel. La concentration en nitrate dans l'eau potable ne doit pas dépasser 10 mg/L, principalement à cause des cas de méthémoglobinémie rapportés chez les jeunes bébés. Cette affection peut être mortelle chez les enfants

1.13. Ammonium

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

L'ammonium est lui-même peu toxique mais il peut provoquer plusieurs problèmes tels que la corrosion des conduites, la reviviscence bactérienne à l'intérieur de celles-ci, la diminution de l'efficacité du traitement au chlore et le développement de microorganismes responsables de saveurs et d'odeurs désagréables.

1.14. Silicates

Les silicates et les différentes formes de silice qui s'y rattachent ont une importante industrielle et géochimique considérable. Ces minéraux, matières premières des industries du bâtiment, de la verrerie, de la céramique, et constituants des laitiers métallurgiques, forment la quasi-totalité de l'écorce terrestre. Ce sont, pour la plupart, des solutions solides dont la synthèse et l'interprétation des analyses chimiques sont différentes de celles des autres composés inorganiques. C'est la détermination, à partir de la diffraction des rayons X, des structures atomiques de ces composés cristallisés et les synthèses faisant intervenir des minéralisateurs (et, en particulier, l'eau agissant à des températures et à des pressions élevées) qui ont résolu les énigmes de ce chapitre de la chimie minérale.

1.15. Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension regroupent toutes les matières insolubles :

- matières minérales : argiles, limon...;
- matières organiques issues de la décomposition de matières animales et végétales; les microorganismes (Martin, 2000).

1.16. Orthophosphates

Les concentrations normales sont comprises dans la nature entre 0,005 et 0,1 mg/L. La présence de phosphate dans l'eau est principalement l'origine artificielle (Détergent, engrais). Le couvert végétal réduit la teneur des phosphates dans la vase colloïdale du fond (Water analysis in



belgium, 2004).

1.17. DB05 - Demande biologique en oxygène

La DBO correspond à l'oxygène qui a été utilisé par des bactéries pour dégrader les matières organiques biodégradables présentes dans l'eau. Cette mesure traduit donc indirectement la fraction biodégradable dans l'eau et représente assez fidèlement le processus de dégradation naturel (Chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

Les transformations des matières organiques s'effectuent en deux stades :

- le premier stade, se rapportant aux composées carbonées, débute immédiatement et s'achève au bout de 20 jours environ.
- le deuxième stade, se rapportant aux composés azotés, ne commence qu'au bout d'une dizaine de jour et s'étend sur une période très longue (chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

Il est convenu d'évaluer la demande biologique en oxygène pendant 5 jours à 20°C, qui est désignée par le sigle DBO₅. le résultat est exprimé mg/L d'oxygène consommé pendant 5 jours (chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

Situation	DBO ₅ (mg/l d'O ₂)
Eau naturelle pure et vive	< 1
Rivière légèrement polluée	1 < c < 3
Egout	100 < c < 400
Rejet station d'épuration efficace	20 < c < 40

Tableau 7 : Echelle de valeurs de DBO₅

1.18. DCO - Demande Chimique en oxygène

La DCO correspond à la quantité d'oxygène (en milligramme) qui a été consommé par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans un échantillon d'eau de 1 litre (Chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

Elle est moins représentative que la DBO de la décomposition des matières organiques qui a lieu dans le milieu naturel mais elle est rapide, et contrairement à cette dernière, possède une bonne reproductibilité (Chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel. Elle est déterminée sur des échantillons d'eau selon la norme AFNNOR T90-101 (Chambre de



commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

1.19. Rapport DCO/DBO5 comme indice de biodégradabilité

Le rapport DCO / DBO5 détermine la possibilité et le rendement de dégradation que l'on peut espérer par un traitement d'oxydation biologique. Si ce rapport DCO / DBO5 est inférieur à 3, on peut dire que l'effluent est facilement biodégradable, un traitement biologique pouvant être capable d'éliminer l'essentiel de la pollution (Chambre de commerce et d'industrie de PARIS, 2008).

2) Métaux lourds

On appelle métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 . Ceux-ci sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces : plomb, cadmium, cuivre, nickel, zinc, cobalt, Les plus **toxiques** d'entre eux sont le plomb, le cadmium et le mercure. ... etc. (Claus B et Robert P, 2001).

Ils sont présents dans l'eau, l'air et le sol. Ces réserves naturelles de métaux lourds ne constituent pas à proprement parler de danger en elles-mêmes. L'exploitation des gisements, l'érosion, les prélèvements d'eau ou les éruptions volcaniques vont répandre des traces de ces éléments dans l'environnement. Ils peuvent alors devenir toxiques s'ils se retrouvent en quantités suffisantes dans les organismes vivants.

Les organismes présents dans l'eau sont particulièrement sensibles aux effets des métaux lourds. En fait dans les oueds, les métaux lourds existent sous forme dissoute et en suspension ainsi que sous une forme difficilement soluble dans les sédiments (claus B et robert P, 2001).

2.1. Chrome

Le chrome provient habituellement des rejets des eaux usées industriels. A l'état pur, il est assez peu employé dans l'industrie, mise à part la fabrication des aciers spéciaux. Ses dérivés sont en revanche très employés dans les industries chimiques (Water Analysis in Belgium, 2004).

Les sels hexavalents sont totalement solubles et sont utilisés dans le traitement des métaux en tannerie, en peinture, et en teinture de même que dans la fabrication des explosifs, de la céramique et du papier. Les sels trivalents, quant à eux, sont utilisés comme mordants en teinture, en céramique, en verrerie et en photographie (Centre d'expertise du Québec, 2008).

2.2. Zinc



Le zinc sous forme de métal est utilisé dans les domaines industriels aussi divers que la métallisation. Alors que sous forme de sels, il intervient dans la fabrication de pigments en peinture, de caoutchouc, de piles, d'insecticides .etc. (Royaume du Maroc, 2004). Le niveau de zinc dans l'eau peut atteindre des niveaux qui peuvent causer des problèmes de santé à cause des rejets industriels et des lieux de déchets toxiques.

2.3. Cadmium

Le cadmium est récupéré lors de l'élaboration du zinc, du plomb et du cuivre. Appliqué en couche mince, il protège l'acier contre la corrosion. Il constitue les plaques négatives des accumulateurs au nickel-cadmium. Le cadmium entre dans la composition d'alliages dont-il abaisse le point de fusion et d'alliages antifriction (Di Benedetto M, 1997).

2.4. Plomb

La fabrication des accumulateurs constitue la principale utilisation du plomb (environ 50% de la consommation totale). Les caractères d'imprimerie, les gains de câbles et les tuyaux pour les canalisations d'eau et de gaz constituaient des marchés importants pour la toxicité par ce métal (Di Benedetto M, 1997).

2.5 Aluminium

L'aluminium est le métal le plus abondant sur la terre ; on le trouve dans le sol dans l'eau et dans l'air. Ses propriétés physiques et chimiques lui donnent de nombreuses utilités. On le trouve dans les produits alimentaires, dans les médicaments, dans les produits de consommation et le traitement de l'eau potable (Health Canada, 2007).

2.6. Fer

Le fer est un élément essentiel de la nutrition humaine. Les besoins journaliers sont de 1 à 2 mg, les conséquences d'un excès de fer ne peuvent se produire qu'à des doses très importantes. Sa présence dans l'eau d'au delà de 0.1 mg/l est gênante car elle va conférer à l'eau une couleur jaune à orangé, provoquer des dépôts d'hydroxyde ferrique, donner à l'eau un goût métallique désagréable, et tacher le linge, (Groupe technologie de santé, 2009).

2.7. Cuivre

La toxicité aiguë est essentiellement le fait d'inhalation accidentelle (fièvre des fondeurs) qui se manifeste par une irritation des voies respiratoires, de la fièvre, des maux de tête et des douleurs musculaires. L'ingestion de grandes quantités de Cuivre s'accompagne de vomissements et de diarrhées aiguës qui limitent la toxicité. Celle-ci peut aller jusqu'à donner une hépatite toxique, une



atteinte rénale et entraîner la mort (Feuille-info, 2001).

2.8. Cobalt

Le cobalt est une substance terreuse naturellement présente à l'état de trace dans le sol, les plantes et les aliments, peu toxique en comparaison avec bien d'autres. Il est habituellement associé à d'autres métaux comme le cuivre, le nickel... Il est un élément trace indispensable à la vie humaine. Il est présent dans la vitamine B 12. Il est aussi employé comme traitement contre l'anémie (Feuille-info, 2001).

2.9. Nickel

Le nickel est un métal ubiquitaire que l'on trouve dans les sols, l'eau et la biosphère, c'est aussi un élément métallique très répandu dans la croûte terrestre. Celle-ci renferme environ 0,009 % de nickel dans des minerais de sulfures, arséniures, oxydes et silicates.

Pour plus de 84% des émissions de son utilisation dans la production d'acier et divers alliages, et dans les batteries (birnnon J-M, 2006).

2.10. Manganèse

Le manganèse est un composé très commun que l'on peut trouver partout sur terre. Le manganèse est nécessaire à l'homme pour survivre mais il est aussi toxique lorsque des concentrations trop élevées sont présentes dans le corps humain.

2.11. Arsenic

L'arsenic est l'un des éléments les plus toxiques que l'on puisse trouver. Malgré leur toxicité, des composés inorganiques d'arsenic sont présents naturellement en petite quantité sur terre. L'homme peut-être exposé à l'arsenic à travers la nourriture, l'eau et l'air. L'arsenic est un composé qui est extrêmement dur à transformer en produits solubles dans l'eau. Le fait que l'arsenic soit naturellement un composé plutôt mobile signifie qu'il est peu probable de voir apparaître des concentrations importantes dans un lieu spécifique. C'est une bonne chose, mais le côté négatif est que la pollution à l'arsenic devient un problème plus large, car il se diffuse facilement. Celui-ci est principalement émis par les industries produisant du cuivre, mais aussi lors de la production de plomb et de zinc et dans l'agriculture. Il ne peut être détruit qu'une fois qu'il a pénétré dans l'environnement, et par conséquent, les quantités que l'on répand se diffusent et peuvent provoquer des problèmes de santé chez l'homme ou l'animal dans beaucoup d'endroits.

2.12. Baryum

On retrouve le baryum sous plusieurs formes, entre autres sous forme de sel. Lorsque les



sels de baryum sont absorbés, ils se dégradent et le baryum s'incruste dans divers tissus, en particulier les os. Comme la plupart des sels de baryum sont solubles dans l'eau, les animaux peuvent en ingérer via l'eau qu'ils boivent. L'intoxication aiguë au baryum chez l'homme se manifeste par plusieurs signes et symptômes tels que des douleurs abdominales intenses, des diarrhées sanglantes, des troubles cardio-vasculaires. L'intoxication aiguë peut aussi se solder par la mort soit à cause d'une insuffisance respiratoire soit en provoquant un problème cardiaque.

3) Paramètres microbiologiques

3.1. La flore mésophile aérobie totale (FMAT)

La flore mésophile aérobie totale regroupe le nombre total de micro-organismes (exprimé en unité formant colonie), en particulier les bactéries se développant dans les conditions aérobies habituelles de culture. Elles sont utilisées comme indicateurs de pollution et leur dénombrement se fait à 30°C (Rodier .1996).

3.2. Germes témoins de la contamination fécale

Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme (β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35 °C) (Chevalier, 2003).

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

Selon le nombre de ce type de coliformes, dans un échantillon d'eau donné, on peut faire une subdivision de la qualité de l'eau qu'on trouve dans le tableau suivant :



Nombre de coliformes (pour 100 ml d'eau)	Qualité de l'eau
0	Potable
10-1000	Acceptable
1000-5000	Suspecte
5000-10000	Polluée
10000-100000	Dangereuse
Plus de 100000	Egout

Tableau 8 : Normes de qualité de l'eau en fonction du nombre de coliformes

Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermo tolérants, sont un sous groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44 °C. L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est *ESCHERICHIA COLI* (*E. coli*) et, dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (Chevalier, 2003).

Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas 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 (Chevalier, 2003).

Streptocoques fécaux

Les bactéries du genre *Enterococcus* (streptocoques) font partie de la classification sérotypique de Lance Field. Elles se ressemblent du point de vue biochimique, immunologique ou génétique, même si elles ont une origine fécale ou non fécale (Centre d'expertise du Québec, 2006).

Les entérocoques sont des bactéries sphériques, en paires ou en chaînes, à Gram positif, catalases négatives et anaérobies facultatives. Ils ne forment pas d'endospores et certaines espèces font preuve de mobilité. Les entérocoques se développent en 48 heures à 35 °C sur un milieu de culture *m-Enterococcus* et forment des colonies variant du rose pâle au rouge vin (centre d'expertise du Québec, 2006).

3.3. Autres indicateurs biologiques de la qualité de l'eau



Généralités sur les diatomées

Les diatomées sont des algues microscopiques unicellulaires identifiables à la forme de leur squelette siliceux. Omniprésentes dans nos lacs et rivières, elles intéressent le gestionnaire des systèmes aquatiques en tant qu'indicateur de la qualité des eaux (Coste M, 2000).

Il existe plus de 7000 espèces de diatomées dans les eaux douces ou saumâtres, leur association et leur diversité dans une relègue reflète les conditions environnementales. Elles apportent des informations complémentaires parfois plus fiables que les analyses chimiques, trop instantanées. Cependant, il faut maîtriser leur classification en évolution permanente ; plus de 400 nouveaux taxons sont décrits chaque année (Coste M, 2000).

Les indices diatomiques

Les indices diatomiques sont destinés à appréhender la qualité de l'eau. Ils s'appliquent à des diatomées benthiques qui fournissent une information différente de celles qui vivent en suspension dans l'eau (diatomées planctoniques) (Druart J.C et Laine L, 2007).

Il existe 11 indices diatomiques mais les plus utilisés sont ;

- IPS : indice de polluo-sensibilité (calculé sur 10000 espèces environ)
- IBD : indice biologique diatomique (calculé sur 209 espèces) (Druart J.C et Laine L, 2007).

L'Indice Biologique Global Normalisé

L'indice biologique global normalisé ou IBGN permet d'évaluer la qualité hydro-biologique d'un site aquatique, par l'intermédiaire de la composition des peuplements d'invertébrés benthiques vivant sur divers habitats (couple support/ vitesse), dans les cours d'eau, permettant la visibilité et l'accessibilité des différents supports à prospecter, en évitant les zones des sources, les cours inférieurs des grands cours d'eau et les milieux atypiques (canaux et estuaires) (Norme AFNOR, 2004).



CHAPITRE IV

Matériels

et

Méthodes d'analyse

CHAPITRE IV
Matériels
et
Méthodes d'analyse

I) Milieu d'étude (les oueds Fès et Sebou)

1) choix du milieu

Les Oueds Fès et Sebou sur lesquels porte notre étude, sont des cours d'eau marocains d'une importance capitale aussi bien pour l'homme (alimentation de la nappe phréatique, eau potable, irrigation...) que pour la faune aquatique (poissons, macro Invertébrés...) (Feldiaoui M et Patee



E, 1993).

Située près de leurs rives, la ville de Fès est à la fois un centre en plein développement industriel et un site touristique considéré comme patrimoine international. Par ses eaux usées industrielles et domestiques, déversées sans traitement, la ville de Fès modifie l'environnement situé en aval des oueds Fès et Sebou en particulier (Fekhaoui M et Patee E, 1993).

Situé au nord ouest du Maroc entre 4° à 7°W, et 33° à 35°N, l'oued Sebou prend ses sources dans le moyen atlas à 2100 m d'altitude. Le long de son parcours, il traverse des terrains essentiellement calcaires et marno-calcaires (Fekhaoui M et Patee E, 1993).

La zone sur laquelle porte mon étude reçoit les rejets bruts domestiques (1300 000 habitants environ) et industriel (huileries, savonneries, textile, tanneries, maroquinerie, travail des métaux...) de la ville de Fès, véhiculés par l'oued Fès, véritable égout à ciel ouvert d'environ 3 Kms. (Fekhaoui M et Patee E, 1993).

Mon travail tentera de savoir l'effet de la pollution sur la qualité de l'eau pompée de l'oued Sebou par l'ONEP afin d'effectuer son traitement et satisfaire les besoins humains en eau potable. Donc mon propre but est d'évaluer l'impact des rejets de la ville de Fès et la capacité de défense du milieu naturel face à cette agression.

Trois sites ont été choisis pour caractériser l'impact de ces rejets sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux, qui sont nommés :

Site 1 : situé sur l'oued Sebou en amont de la prise de l'ONEP.

Site 2 : la prise d'eau à traiter par l'ONEP (station de prétraitement)

Site 3 : situé sur l'oued Sebou en aval du confluent avec l'oued Fès (en aval de la prise de l'ONEP).

2) Situation actuelle de la pollution du milieu

Le bassin versant du Sebou est le premier bassin versant au Maroc du point de vue apports d'eau évalués à 6,6 milliards de m³ par an. Par ailleurs, ce bassin hydrographique est classé second en surface : 40.000km² (après le bassin de la Moulouya). Il couvre 191.000 ha de terres agricoles (Lahlou A, 2009).

Un volume annuel de 120 millions de m³ d'eaux usées, sur les 300 millions de mètres cubes d'eaux usées déversées dans tout le réseau hydrographique marocain, est rejeté dans les divers affluents du Sebou (dont oued Fès) (Lahlou A, 2009).

2.1. Pollution urbaine



La pollution urbaine est due à deux types de déchets :

- Les déchets liquides qui sont déversés dans le réseau hydrographique et particulièrement l'oued Fès, sans traitement préalable ;
- Les déchets solides qui sont généralement jetés en décharge aux bords de l'oued ou directement dans le réseau hydrographique (Lahlou A, 2009).

La pollution ainsi générée se caractérise par les matières organiques, les matières en suspension, les matières nutritives (azote et phosphore) et les microorganismes (bactéries, virus pathogènes) (Lahlou A, 2009).

2.2. Pollution agricole

Vue l'importance de la surface irriguée dans le bassin versant du Sebou (dont 100.000 ha dans le bas Sebou, le Gharb), de fortes doses d'engrais minéraux, azotés et phosphatés ou potassiques (NPK) sont utilisées, ce qui entraîne le phénomène d'eutrophisation des eaux de surface et la pollution des eaux souterraines par les nitrates (Lahlou A, 2009).

Les pesticides constituent aussi une source de pollution. Les facteurs solubilité, résistance des pesticides à la dégradation physique et biochimique, nature du sol et importance des apports d'eau sont déterminants dans ce type de pollution (Lahlou A, 2009).

2.3. Pollution par les décharges publiques

Les décharges publiques non contrôlées constituent une source de pollution non négligeable. En plus de leur localisation à côté des villes et par fois non loin des milieux hydrauliques, elles dégagent des lixiviats qui rejoignent les eaux superficielles ou souterraines. La production totale des déchets solides est estimée 750.000 tonnes par an, occasionnant une pollution d'environ 6900 tonnes de DBO5 (Le bassin hydraulique de Sebou, 2006).

2.4. Pollution industrielle

Elle est générée par les industries agro-alimentaires et minières, les tanneries, les usines de fabrication du papier, les industries électriques, les raffineries. Les éléments accompagnant l'extraction d'éléments miniers constituent aussi une source de pollution. Ainsi, la pollution industrielle rejetée annuellement dans la partie amont de l'oued Fès (qui est transportée par la suite à l'oued Sebou) est générée principalement par les agglomérations de la ville de Fès (Lahlou A, 2009).

En effet les tanneries constituent un élément polluant très dangereux, et pour chaque produit fini, le procédé de tannage peut être différent, le type et la quantité de déchets produits peuvent



énormément varier (chlorure de sodium, chaux, sulfure de sodium, chlorure, sulfate d'ammonium, acide sulfurique, chrome III, bichromate...) (Castaigos et Ducros, 2004).

3) Impact de la pollution sur les oueds Fès et Sebou

Les indices négatifs générés par les différentes sources de pollution sur les ressources en eau sont principalement la dégradation de la qualité des eaux des oueds Fès et Sebou notamment en aval des rejets de Fès jusqu'à l'embouchure (Le bassin hydraulique de Sebou, 2006).

En effet, les stations de traitement d'eau potable qui alimentent les centres des Kariat Ba Mohamed et M'Kansa à partir de l'oued Sebou sont souvent contraintes d'arrêter leur activité, particulièrement dans les périodes de fortes pollutions qui coïncident avec la saison oléicole, de même au niveau du barrage de garde, la mortalité des poissons est souvent constatée dans l'oued Sebou (Le bassin hydraulique de Sebou, 2006).

Pour améliorer la qualité des oueds Fès et Sebou, les lâchés d'eau à partir des barrages AI Wahda, Idris premier et Allal El fassi sont effectués. A titre d'exemple le volume d'eau lâché en 2003 était d'environ 22,5 Mm³. Sur un total de 32 stations d'échantillonnage, près de la moitié présentent une eau de mauvaise qualité (Le bassin hydraulique de Sebou, 2006).

3.1. Cadre géographique et géologique

La région de Fès-Boulmène est située au centre nord du royaume, elle s'étend sur une superficie de 20.318 Km². Elle est limitée par les régions : Meknès-Tafilalet au Sud-ouest, Taza-Al Hoceima-Taounate au Nord, l'Oriental à l'Est et au Sud-est et le Gharb Chrarda Béni Hassen au Nord-Ouest (Document de marketing du territoire, 2004).

La ville de Fès (superficie : 505.75 km) est située dans la large de Sais (Tableau 1), dominée vers le nord par les rides pré rifaines où coule le moyen Sebou, alors que 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).

Ville	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Fès	34° 02	50° 00	416

Tableau 9 : Situation géographique de la ville de Fès

La région a subi une forte érosion avant la transgression marine au Burdigalien entre le Pré Rif au nord et le moyen Atlas au sud, une transgression marine a déposé au miocène une série de marnes très épaisse suivie au palio-villafranchien par des calcaires lacustres, grès et conglomérats (El Bouhali, 2001).



3.2. Aperçu climatologique

Les perturbations hivernales provenant de l'W (ouest), du NW (nord-ouest) ou du WSW (ouest-sud-ouest) sont d'abord interceptées par les hauts reliefs ou elles se déchargent en grande partie, la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 500 mm dans le bassin de Sais, ce qui classe cette région dans le climat méditerranéen exactement l'étage semi-aride à hivers tempérés (El Bouhali, 2001).

Le régime annuel de précipitation montre la présence de deux périodes distinctes; une pluvieuse du mois d'octobre au mois d'avril, et une autre période sèche de juin à Septembre (El Bouhali, 2001).

3.3. Type de cultures

Le plateau de Sais est de vocation agricole, la plupart des terres sont occupées par de l'agriculture et les forêts se situent dans la partie sud. Le tableau 2, montre l'occupation du sol à la préfecture de Fès. Il s'agit des cultures irriguées en ha (Plan d'action de l'équipe du Maroc, 1994).

Cultures	Nombres d'hectares
Légumineuses alimentaires	1645
Cultures maraîchères	1094
Cultures fourragères	457
Arboriculture fruitière	3096
Générales	13435

Tableau 10 : Occupations des sols en ha (Plan d'action de l'équipe du Maroc, 1994)

La production des olives se répartie dans toute la région de Fès-Boulemane, mais la Wilaya de Fès demeure la principale productrice. L'olivier joue un rôle déterminant au niveau de la structure de l'agriculture de la région et c'est sur cette base que s'est développée l'industrie de transformation alimentaire de la ville de Fès (Plan d'action de l'équipe du Maroc, 1994).

Les cultures maraîchères sont destinées aux marchés urbains, les produits de deuxième choix à la conserverie. Les principales spéculations sont la pomme de terre et l'oignon (Plan d'action de l'équipe du Maroc, 1994).

Les cultures sont irriguées et leur extension souffre de la raréfaction des ressources en eau. Les plantations arboricoles viennent en second lieu. Dans la répartition relative à la province de Séfrou, son taux de plantation atteint 25.2 %, et 33 % dans celle de Fès (Plan d'action de l'équipe



du Maroc, 1994).

II) Analyses physicochimiques de l'eau

1) Prélèvement et conservation de l'échantillon

La période de prélèvement est étalée sur 5 mois, du mois de Janvier au mois de Mai 2012.

Le nombre de prélèvements pour chaque station est indiqué dans le tableau suivant :

Paramètres	Site 1	Site 2	Site 3
Physicochimiques	4	4	4
Bactériologiques	4	4	4

Tableau 11 : Nombre de prélèvements pour chaque paramètre pour les trois sites

Les prélèvements ont été effectués à la surface de l'eau approximativement au milieu du lit pour chaque site, dans des bouteilles en plastiques (2, 1,0.5 litres et 250 ml) préalablement rincées par de l'eau distillée, puis par l'eau des sites avant le prélèvement.

Les différents dosages sont effectués le même jour du prélèvement pour certains paramètres (chimie complète et analyse bactériologique) alors que d'autres (les chlorures, aluminium, sulfates, métaux lourds...) sont fixés et conservés entre 0 °C et 4 °C pendant quelques jours.

2) Analyse des Paramètres physicochimiques

Les paramètres physicochimiques mesurés sont résumés dans le tableau 12.

2.1 Température

La température a été mesurée in situ, au moment du prélèvement à l'aide d'un appareil multifonctionnel intégré.

2.2 PH

Le pH de l'eau a été mesuré in situ, au moment du prélèvement à l'aide d'un même appareil multifonctionnel intégré utilisé pour la température.

2.3 L'oxygène dissous

L'oxygène dissous a été mesuré in situ au moment du prélèvement à l'aide d'un même appareil multifonctionnel intégré, ou parfois il est mesuré au laboratoire le même jour du prélèvement par utilisation d'un mode opératoire.



Paramètres physicochimiques	Méthodes d'analyse	unités
température	Appareil multifonctionnel	°C
pH	pH-mètre	---
conductivité	Appareil multifonctionnel	µs/cm
Titre alcalin (TA)	- Neutralisation des ions hydroxydes. - Transformation des ions carbonates en hydrogénocarbonates par un acide fort	méq/l
Titre alcalin complet (TAC)	Neutralisation par un acide fort des ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates	méq/l
Oxydabilité	Mesure, en milieu acide à chaud, de la quantité d'oxygène utilisé pour la réduction du KMnO ₄ par la matière organique contenue dans l'eau.	mg/l d'oxygène
L'oxygène dissous	Méthode de WINKLER	mg/l
Dureté totale (TH)	Complexométrie à l'E.D.T.A	méq/l
Dureté calcique	Complexométrie à l'E.D.T.A	mg/l
Turbidité	Turbidimètre	NTU
T° eau et air	Thermomètre	°C

Tableau 12 : Méthodes d'analyse des paramètres physicochimiques



2.4. Alcalinité (TA et TAC)

Principe

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

Mode opératoire

➤ Détermination de TA

Nous avons prélevé 100 ml d'eau à analyser dans un erlen, puis on ajoute 1 à 2 gouttes de solution alcoolique de phénophtaléine. Une coloration rose doit alors se développer, dans le cas contraire le TA est nul, ce qui se produit en général pour les eaux naturelles dont le pH est inférieur à 8.3. Si une coloration rose apparaît c'est à dire il y a présence de OH⁻, dans ce cas on dose par HCl 0.1 jusqu'à la décoloration complète de la solution (pH 8.3).

$$\text{Teneur de TA en (méq/l)} = \text{volume versé en (ml)}$$

➤ Détermination de TAC

Nous avons utilisé l'échantillon traité précédemment puisqu'il n'y a pas eu de coloration. Nous avons ajouté 2 gouttes de solution de méthylorange ou héliantine et titré de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune au jaune orangé (pH 4.3).

$$\text{Teneur de TAC en (méq/l)} = \text{volume versé en (ml)}$$

2.5. Oxydabilité au permanganate de potassium

Principe

L'eau est portée à l'ébullition en présence d'une solution diluée de permanganate de potassium dont l'excès est dosé après 13 minutes exactement d'ébullition.

Mode opératoire



Nous avons prélevé 100 ml d'eau, ajouté 2ml d'acide sulfurique (H_2SO_4 Concentré) puis versé 10ml de la solution mère de $KMnO_4$ et placé le récipient au bain marie 13mn, après ajouté 1ml d'acide oxalique ($H_2C_2O_4$) et attendu la décoloration de la solution. Nous l'avons titré encore chaude avec la solution de $KMnO_4$ jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pale persistant environ 30seconde.

Concentration de la Matière organique en mg/l = volume versé en (ml) * 0.8 mg/l

2.6. Oxygène dissous

On divise les eaux courantes et les eaux stagnantes en fonction de leur teneur en oxygène, en cinq classes de qualité de l'eau comme l'explique le tableau suivant :

Classe de qualité	Oxygène dissous (en Mg/l)	Qualité de l'eau
1 A	≥ 7	Excellente
1 B	$5 < \text{oxygène dissous} < 7$	Bonne (eau possédant des propriétés requises pour la vie et la reproduction des poissons)
2	$3 < \text{oxygène dissous} < 5$	Moyenne (eau possédant des propriétés requises pour la vie piscicole mais où la reproduction du poisson est aléatoire)
3	< 3	Médiocre (eau dans laquelle la vie piscicole est aléatoire)
4	-	Hors classe (dégradation du milieu, possibilité de mort biotique ou azoïque)

Tableau 13 : Classe de qualité de l'eau selon l'oxygène dissous

Principe

L'oxygène dissous réagit avec l'hydroxyde de manganèse formé par l'addition de chlorure de manganèse et d'hydroxyde de sodium. L'hydroxyde de manganèse formé après acidification permet d'oxyder l'iodure de potassium préalablement introduit avec libération d'une quantité équivalente d'iode. L'iode ainsi libéré est dosé à l'aide d'une solution titrée de thiosulfate de sodium.

Mode opératoire

Nous avons rempli complètement (sans bulles d'air) l'eau dans un flacon spécial pour le dosage d'oxygène dissous de 250ml, introduit par une pipette 2 ml de sulfate manganéux, ajouté 1 ml d'iodure alcalin, bouché le flacon sans faire entrer les bulles d'air, puis agité et ajouté après agitation 2 ml d'acide sulfurique concentré.



Nous avons obtenu une solution limpide, pris 100 ml de cette solution limpide dans un erlen et dosé avec le thiosulfate de sodium (N/50) jusqu'à décoloration.

$$\text{Teneur en O}_2 \text{ en mg/l} = \text{volume versé en (ml)} * 1.6$$

2.7. Dureté totale (TH = titre hydrotimétrique)

Principe

Le calcium et le magnésium présents dans l'eau sont complexés par l'éthylène diamine tétra acétate disodique (E.D.T.A), le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur pour la détermination de la dureté totale.

Mode opératoire

Pour 100 ml d'eau à analyser, nous avons ajouté 5ml de solution tampon, une petite spatule d'indicateur coloré de noir d'érichrome et titré par la solution (EDTA) jusqu'au virage du rouge au bleu violet.

$$\text{Teneur de TH en (méq/l)} = \text{volume versé en (ml)} * 0.4$$

2.8 Dureté calcique

Principe

Le calcon carboxylique est utilisé comme indicateur pour le dosage du calcium. Le magnésium est précipité lors du dosage sous forme d'hydroxyde et n'interfère pas.

Mode opératoire

Pour 100 ml d'eau à analyser, nous avons ajouté 5 ml de solution tampon de la solution de soude, une petite spatule d'indicateur de calcon et puis titré par la solution compléxométrique (EDTA) jusqu'au virage du rose au bleu royal.

$$\text{Teneur en (Ca}^{2+}) \text{ en (mg/l)} = \text{volume versé en (ml)} * 8$$

2.9. Chlorures

Principe

Les chlorures sont dosés par une solution titrée de nitrate mercurique en présence d'acide nitrique. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une teinte violet foncée indiquant l'existence des chlorures.

Mode opératoire

Pour 100 ml d'échantillon, nous avons ajouté 0.5 ml d'indicateur de pH (8 gouttes), puis l'ajout de l'acide nitrique goutte à goutte jusqu'à coloration jaune foncée avec un excès de 3 gouttes



de cet acide supplémentaires. Par la suite nous avons titré par la solution de nitrate de mercurique HgN_2O_6 jusqu'à obtention d'une teinte violet foncé.

$$\text{Teneur en Cl en mg/l} = \text{volume versé en (ml)} * 35.5$$

2.10. Dosage des ions Ammonium (NH_4^+)

Principe

On utilise la méthode du phénate.

Un composé bleu, indophénol, est obtenu par réaction de l'ammoniaque en milieu basique avec le phénol. Cette réaction est catalysée par le nitroprussiate.

Le dosage par spectrophotométrie est donc possible à la longueur d'onde de 543 nm.

Matériels Et Produits

- solution de NH_4Cl à 3,82 mg/L
- réactif 3 avec multipette (Phénol nitroprussiate : dissoudre 5 g de phénol et 3mg de nitroprussiate de sodium, ou 0,25 ml d'une solution à 1,5%, dans 100mL d'eau bidistillée).
- réactif 4 avec multipette (Hypochlorite alcalin : Dissoudre 5 g de soude dans 250 mL d'eau Ajouter 1,25 mL d'une solution 3N de NaOCl).

Protocole expérimental

L'eau de rivière sera préalablement filtrée sur Büchner.

1 - Préparation de la gamme étalon :

On dispose d'une solution-mère S_0 de concentration massique en azote sous forme d'ammonium $C_0 = 1,0 \text{ mg N} - \text{NH}_4^+ / \text{L}$.

Utiliser le tableau suivant pour fabriquer 5 solutions de concentration C_f dans 5 tubes à essai numérotés.

V_0 (ml)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Veau (ml)	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0
C_f (mg N - NH_4^+ / L)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

V_0 est le volume de solution S_0 à introduire (burette), Veau le volume d'eau déminéralisée à ajouter (burette).



2 - Tracé de la courbe d'étalonnage :

- * Préparer un bain-marie (environ 40°C).
- * Ajouter 0,9 mL de réactif N°3 et 0,9 ml de réactif N°4 à chacune des solutions précédemment préparées.
- * Agiter. Placer au bain-marie, attendre environ 30 min puis laisser refroidir.
- * Mesurer l'absorbance A de chaque solution pour $\lambda = 635 \text{ nm}$.
- * Tracer A en fonction de Cf.

3 - Analyse d'une eau :

Procéder comme précédemment avec 10,0 ml d'eau à analyser (pipette jaugée).

Utiliser la courbe précédemment tracée pour déterminer la concentration massique en azote sous forme d'ammonium de l'eau analysée.

NB : le même principe du dosage des ions d'ammonium s'applique aussi au dosage des ions nitrates, chlorures et silicates. Les résultats de ces dosages s'effectuent tous à l'aide du spectromètre.

III) Analyse des métaux lourds

➤ Méthode par spectrométrie d'absorption atomique

Introduction

La spectrométrie atomique étudie les émissions ou absorptions de lumière par l'atome libre, c'est à dire lorsque celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre. Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. Ce sera le cas si les énergies mises en jeu sont modérées.

Les principales techniques mettant en jeu la spectroscopie atomique utilisée en analyse chimique sont :

- l'émission d'arc ou d'étincelle (analyse qualitative préalable),
- l'émission de flamme et l'absorption atomique (analyse quantitative des éléments à faibles teneurs).

Principe

L'absorption des radiations électromagnétiques des régions visibles et UV du spectre par les atomes libres résulte d'un changement dans la structure électronique. On l'observe lorsque la radiation caractéristique (de résonance en général) d'un élément passe dans un nuage de vapeur



atomique de l'échantillon. L'échantillon est vaporisé par aspiration de la solution dans une flamme ou par évaporation d'une surface chauffée électriquement.

La loi d'absorption en absorption atomique

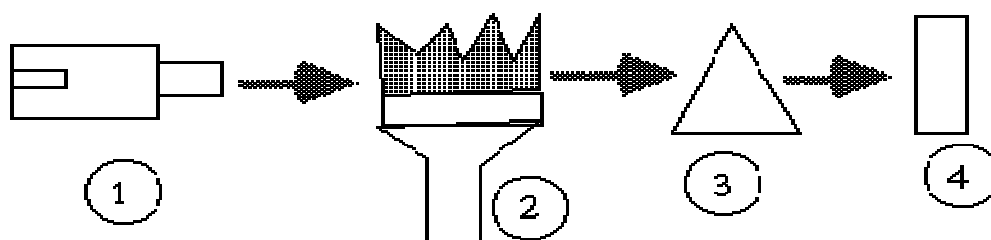
L'intensité de l'absorption dépend directement du nombre de particules absorbant la lumière selon la **loi de Beer Lambert** selon laquelle l'absorbance est proportionnelle au coefficient d'absorption spécifique a , au trajet optique b et à la concentration c .

$$A = abc$$

Cependant en pratique, cette relation n'est pas toujours vérifiée. On n'obtient pas toujours une droite d'étalonnage. C'est le cas si la concentration devient trop élevée. La gamme de dosage est le domaine dans lequel la droite d'étalonnage est pratiquement une droite. Il est limité pour les faibles concentrations par la limite de détection et pour les fortes concentrations par l'erreur sur la fidélité : à une très forte variation de la concentration correspond une faible variation de l'absorbance. La gamme de dosage est généralement donnée par le constructeur. Elle dépend de la raie de dosage utilisée.

Appareillage

Le dispositif expérimental utilisé en absorption atomique se compose d'une source, la lampe à cathode creuse ①, d'un brûleur et un nébuliseur ②, d'un monochromateur ③ et d'un détecteur ④ relié à un amplificateur et un dispositif d'acquisition.



• La lampe à cathode creuse

La lampe à cathode creuse est constituée par une enveloppe de verre scellée et pourvue d'une fenêtre en verre ou en quartz contenant une cathode creuse cylindrique et une anode. La cathode est constituée de l'élément que l'on veut doser. Un vide poussé est réalisé à l'intérieur de l'ampoule qui est ensuite remplie d'un gaz rare (argon ou néon) sous une pression de quelques mm de Hg.



■ Le nébuliseur

L'échantillon à analyser est en solution. Celle-ci est aspirée au moyen d'un capillaire par le nébuliseur. A l'orifice du nébuliseur, du fait de l'éjection d'un gaz à grande vitesse, il se crée une dépression (effet Venturi). La solution d'analyse est alors aspirée dans le capillaire et à la sortie, elle est pulvérisée en un aérosol constitué de fines gouttelettes. Cet aérosol pénètre alors dans la chambre de nébulisation dont le rôle est de faire éclater les gouttelettes et d'éliminer les plus grosses. Ce brouillard homogène pénètre alors dans le brûleur.

■ La flamme - atomisation

L'aérosol pénètre dans le brûleur puis dans la flamme. Au bout d'un certain parcours au seuil de la flamme, le solvant de la gouttelette est éliminé, il reste les sels ou particules solides qui sont alors fondus, vaporisés puis atomisés.

A la place d'une flamme, on peut également utiliser un four cylindrique en graphite pour atomiser l'échantillon.

IV) Analyses microbiologiques

Dans ce projet, on a effectué des analyses bactériologiques, réparties sur la période d'étude pour les trois sites étudiées.

1) Préparation des échantillons de l'eau

1.1. Prélèvement et conservation des échantillons

Nous avons prélevé à l'aide d'un flacon en verre de 500 millilitres stérilisé au préalable; soit un échantillon par station en remplissant les flacons au 9/10 et en respectant les précautions d'asepsie.

Les échantillons sont transportés dans une glacière (1°C à 4 °C) et remise au laboratoire sans délai, ou nous les avons analysés le jour même.

2) Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FMAT) par la méthode du nombre le plus probable MPN :

Cette méthode est une estimation statistique du nombre de micro-organismes supposés distribués dans l'eau de manière parfaitement aléatoire. L'estimation de la densité bactérienne est obtenue par application du principe de vraisemblance, à partir de réponses positives observées pour une ou plusieurs dilutions successives de la suspension bactérienne originelle. Il s'agit d'une



méthode quantique et non pas énumératif.

Mode opératoire (test présomptif)

➤ Pour détecter les coliformes :

- 3 tubes de milieu Lauryl de concentration double avec cloche
- 6 tubes de milieu Lauryl de concentration simple avec cloche
- Repartir 10 ml de l'eau à analyser dans chaque tube de la première série.
- Préparer une dilution de 1, -1 et -2 et même jusqu'à -4 ou -5 dans le cas où l'eau est très polluée. la dilution se fait comme suit :

- on prend 1 ml de l'échantillon et on y ajoute 9 ml de l'eau distillée stérilisée, puis on agite très bien ce contenu.

- pour la deuxième dilution de -1, on prend 1ml de l'échantillon préparé de la première dilution et on y ajoute 9 ml de l'EDS (eau distillée stérilisée), puis on homogénéise, ainsi de suite on reprend le même processus jusqu'à obtention le nombre souhaité de série de dilution.

➤ Pour détecter les streptocoques :

- On suit les mêmes étapes citées pour la détection des coliformes sauf pour le milieu de culture, pour les streptocoques on utilise le milieu Roth de concentration double et simple.
- On rassemble tous ces tubes dans un seul porte-tube et on fait leur incubation à 37°C pendant 48 h.

Lecture des résultats + test confirmatif

• Pour les coliformes :

les tubes représentant un trouble autrement dit un dégagement de gaz plus un précipité déposé au fond du tube peuvent contenir des coliformes soient totaux soient fécaux. Pour différencier entre les deux il faut réaliser le test confirmatif.

A partir des tubes positifs, on ensemence à l'aide d'une anse ces tubes dans le milieu de vert brillant et on agite puis on les incube à 37°C pendant 48 h, si le résultat est positif après deux jours on déduit la présence des **coliformes totaux** dans notre échantillon. par contre pour les **coliformes fécaux**, l'ensemencement s'effectue à l'aide d'une anse stérile dans le milieu de l'EC-Medium et l'incubation des tubes dure 24h seulement à 44°C.

• Pour les streptocoques fécaux :

Les tubes représentant un précipité peuvent contenir des streptocoques fécaux. On parvient alors à un test confirmatif. Celui-ci s'effectue à partir des tubes positifs dont on ensemence dans autres tubes du milieu Litsky à l'aide d'une anse stérile, puis on agite doucement et on les incube à



37°C pendant 48h. si le résultat est positif après deux jours, on confirme l'existence **des streptocoques fécaux** dans notre échantillon.

Alors pour pouvoir compléter le test confirmatif, on compte le nombre de séries de tubes positifs et le nombre de tubes négatifs en respectant la durée d'incubation de chaque test, ensuite on obtient les résultats en extrapolant sur une table statistique appelée : table de MAC CRADY.



DEUXIEME PARTIE

Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux brutes



CHAPITRE I

Résultats et Discussions

I) Analyses physicochimiques



La partie théorique précédente m'a permis de cerner les différents paramètres qu'il faut contrôler pour détecter le degré de pollution qui menace l'eau de L'oued Sebou ou plus précisément l'eau pompée de ce Oued et traitée par l'ONEP pour satisfaire les besoins en eau potable de toute la ville de Fès.

1. Température

	Site 1		Site 2		Site 3	
Nbre de Prélèvements	T° eau en °C	T° air en °C	T° eau en °C	T° air en °C	T° eau en °C	T° air en °C
P 1	18.9	19	19.3	19	19.7	19
P 2	17.4	18	18	18	19.4	18
P 3	19.8	22	20.5	22	20.6	22
P 4	20.5	22	20.8	22	21.0	22
La moyenne	19.15	20.25	19.65	20.25	20.17	20.25

Tableau 14 : Résultats d'analyse de températures des trois sites

Interprétations :

Les eaux de la zone d'étude, ont une moyenne de 19.65°C et ne présentent pas de différences significatives du site 1 au site 3, cependant, on remarque une petite baisse au niveau du site 1 qui peut être due à la vitesse du courant qui est encore élevée, qui favorise la diminution de la température de l'eau (tableau 14).

En ce qui concerne le site 2 on note bien qu'il représente les températures les plus élevées, en fait ; ceci peut être dû à la proximité d'une tannerie traditionnelle sur les bords de l'oued Sebou qui déverse ses rejets qui doivent avoir une température élevée à celle de l'oued, en plus de l'apport d'eau de température (rejets industriels et urbains) élevée après confluence avec oued Fès (le cas du site 3).

En plus, On distingue 3 types de sources en fonction du contraste entre la température moyenne annuelle de l'eau et de l'air :

- $t_{\text{eau}} > 4 \text{ °C de } t_{\text{air}}$ source thermique
- $t_{\text{eau}} = t_{\text{air}}$ source normale
- $t_{\text{eau}} < 4 \text{ °C de } t_{\text{air}}$ source hypo thermique



Donc d'après ce qui précède on peut déduire que l'oued Sebou est une source de l'eau normale.

2. pH

	Site 1	Site 2	Site 3
Nbre de Prélèvements	pH	pH	pH
P 1	8.02	8.02	7.65
P 2	8.00	7.33	7.98
P 3	7.97	7.97	8.50
P 4	8.03	7.24	7.20
La moyenne	8.00	7.64	7.83

Tableau 15: Résultats d'analyse de pH des trois sites

Interprétations :

Le pH est un facteur sensible à divers facteurs environnementaux. Il suit généralement les variations de la température, de la salinité et du taux du gaz carbonique (CO_2) dissous dans l'eau. Au niveau des trois sites étudiés, la moyenne est de 7.82. Cette valeur indique la neutralité de cette eau et c'est le cas en général des eaux de surfaces (voir tableau 15).

On remarque une petite augmentation de l'alcalinité du site 1 en comparaison avec les deux autres sites, qui peut être due à la nature des terrains traversés (vu qu'il ne reçoit encore pas les déversements des rejets), pour ce qui est du site 3 qui connaît aussi une augmentation de l'alcalinité et encore une évaporation intense, elle doit être due à la nature des rejets urbains et industriels (surtout la chaux qui est souvent utilisée dans les tanneries traditionnelles).

3. Conductivité

	Site 1	Site 2	Site 3
Nbre de Prélèvements	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$	Conductivité en $\mu\text{S/cm}$
P 1	1049	1050	1208
P 2	1042	1041	1298



P 3	984	1052	1233
P 4	1002	1048	1300
La moyenne	1019.25	1047.75	1259.75

Tableau 16 : Résultats d'analyse de conductivité des trois sites

Interprétations :

Les eaux de la zone étudiée de l'Oued Sebou et de ses affluents (oued Fès) sont fortement minéralisées, et la moyenne des valeurs des trois sites est de 1108.91 $\mu\text{S/cm}$ à 20°C. Cette minéralisation élevée est surtout à cause du terrain calcaire de la plaine Sais.

Pour les trois sites étudiés, la conductivité a subi une augmentation faible mais marquante au niveau du site 3. Cette augmentation est tout à fait normale du fait que l'Oued Sebou reçoit à ce niveau les rejets (apportés par l'Oued Fès) domestiques et agricoles aussi que ceux de certaines unités industrielles soit traditionnelles ou modernes, qui sont chargés en sel dissous.

4. Turbidité

	Site 1	Site 2	Site 3
Nbre de Prélèvements	Turbidité en NTU	Turbidité en NTU	Turbidité en NTU
P 1	47.3	67.8	198
P 2	32.7	67.4	68.6
P 3	52.1	90.7	106
P 4	48.2	80.3	120
La moyenne	45.07	76.55	123.15

Tableau 17 : Résultats d'analyse de turbidité des trois sites

Interprétations :

D'après les résultats de turbidité mentionnés dans le tableau ci-dessus des trois sites, on peut dire que les trois types d'eau sont colorés. Car la turbidité permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. Mais pour le site 3 la valeur est plus élevée, cela est causé surtout par les particules en suspension dans cette eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...) Cependant, une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur les particules en suspension: la qualité bactériologique d'une eau turbide est donc suspecte.



5. Titre alcalimétrique et Titre alcalimétrique complet

	Site 1		Site 2		Site 3	
Nbre de Prélèvements	TA en (méq/l)	TAC en (méq/l)	TA en (méq/l)	TAC en (méq/l)	TA en (méq/l)	TAC en (méq/l)
P 1	0.00	6.04	0.00	6.14	0.00	8.02
P 2	0.00	7.6	0.00	7.2	0.00	8.7
P 3	0.00	6.53	0.00	7.42	0.00	9.11
P 4	0.00	5.63	0.00	7.28	0.00	8.9
La moyenne	0.00	6.45	0.00	7.01	0.00	8.68

Tableau 18 : Résultats d'analyse de TA et TAC des trois sites

La mesure du TA, qui correspond à la teneur de l'eau en alcalins libres et en carbonates alcalins caustiques, montre une stagnation nulle autrement dit il n'y a pas apparition de la couleur rose. En fait on peut déduire qu'on travaille sur des eaux naturelles dont le pH est généralement inférieur à 8.3 (c'est ce qui est prouvé par la mesure du pH) cette mesure de l'alcalinité par le biais du titre alcalimétrique va être vérifiée en mesurant un autre paramètre la caractérisant : c'est le titre alcalimétrique complet.

Pour ce dernier qui représente la présence des carbonates et hydroxydes, on remarque qu'il y a une augmentation importante surtout entre le site 2 et le site 3 (on enregistre à ce niveau là 8.68 méq/l) qui par ces déversements augmente l'alcalinité de la zone étudiée de l'Oued Sebou (si on compare le site 1 avec le site 3). généralement la valeur moyenne était de 7.38 méq/l.

6. Dureté totale, dureté calcique

	Site 1		Site 2		Site 3	
Nbre de Prélèvements	Dureté totale TH en mg/l	Dureté calcique en mg/l	Dureté totale TH en mg/l	Dureté calcique en mg/l	Dureté totale TH en	Dureté calcique en mg/l



					mg/l	
P 1	5.2	24	6.00	20	7.32	56
P 2	4.2	20.2	3.1	24	6.15	110
P 3	5.52	26	5.16	30	7.12	96
P 4	6.1	21	5.01	45	6.80	130
La moyenne	263	22.8	240	29.75	342	98

Tableau 19: Résultats d'analyse de dureté totale et calcique des trois sites

Interprétations :

L'analyse des moyennes de la dureté totale, montre une augmentation très nette au niveau du site 3 qui est situé à l'aval de la prise, autrement dit après confluence avec l'oued Fès, ce qui peut être facilement expliqué par le taux des rejets urbains et industriels à ce niveau là.

Par contre pour l'analyse des résultats de la dureté calcique, indique que le site 3 registre une concentration élevée de calcium dans l'eau vu les rejets de différentes origines (surtout ceux des tanneries) qu'il reçoit en plus le cours d'eau aborde un substrat contenant des éléments calcaires qui augmentent ces teneurs en calcium.

Alors qu'au niveau des sites 1 et 2 leurs concentrations sont plus faibles en comparaison avec le site 3 du fait de la dilution qu'elles subissent avec les eaux de l'oued Sebou qui sont moins polluées comme le prouvent les résultats trouvés dans le site 1.

7. Oxygène dissous

	Site 1	Site 2	Site 3
Nbre de Prélèvements	O2 dissous en mg/l	O2 dissous en mg/l	O2 dissous en mg/l
P 1	9.06	8.62	4.18
P 2	8.20	7.3	3.20
P 3	10.2	8.75	3.12
P 4	9.8	7.20	2.01
La moyenne	9.31	7.96	3.12

Tableau 20 : Résultats d'analyse d'oxygène dissous des trois sites



Interprétations :

D'après les résultats obtenus, on peut dire que la variation de la teneur en oxygène dissous, qui est indicateur de pollution et encore est un paramètre essentiel dans le maintien de la vie, et donc dans les phénomènes de dégradation de la matière organique et de la photosynthèse.

Au niveau du site 1 la situation de l'oxygène est requise. par contre, avec l'arrivée successive des effluents polluants (surtout les tanneries traditionnels et les eaux usées dans l'industrie) on remarque que la chute des valeurs est importante, atteignant une moyenne de 7.9 mg/l au niveau du site 2.

Alors que pour le site 3 situé à l'aval de la prise, on remarque que la moyenne des valeurs est très faible ne dépassant pas 3.12 à cause de l'abondance de la matière organique qui nécessite d'énormes quantités d'oxygène pour pouvoir la dégrader.

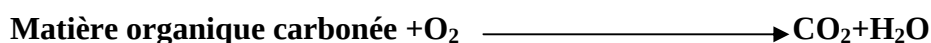
8. Oxydabilité au permanganate de potassium

	Site 1	Site 2	Site 3
Nbre de Prélèvements	Oxydabilité en mg/l	Oxydabilité en mg/l	Oxydabilité en mg/l
P 1	3.6	3.44	6.67
P 2	6.5	5.20	7.98
P 3	4.20	4.01	7.50
P 4	2.1	4.93	6.40
La moyenne	4.1	4.39	7.13

Tableau 21 : Résultats d'analyse d'oxydabilité des trois sites

Interprétations :

Les matières oxydables constituent la principale charge polluante liée aux activités humaines domestiques. En milieu oxygéné, ces matières organiques peuvent être oxydées par les microorganismes épurateurs de l'eau suivant l'équation suivante :



La valeur moyenne enregistrée de l'oxydabilité de l'eau des trois sites étudiés est de 5.2 mg/l d'O₂.

La valeur moyenne enregistrée est importante au niveau du site 3 ; ce qui montre bien l'influence des rejets de la ville de Fès (surtout rejets ménagers) qui sont trop chargés en matières organiques qui demandent d'énormes quantités d'oxygène pour leur dégradation.

Par contre, pour les deux sites 1 et 2 les valeurs sont proches et logiquement acceptables vu la faible pollution que connaît l'oued Sebou avant confluence avec l'oued Fès.



9. Ions majeurs

Sites	Nitrates en mg/l	Ammonium en mg/l	chlorures en mg/l	Sulfates en mg/l
Site 1	8.28	0.01	151.80	51.90
Site 2	11.69	0.02	198.5	69.98
Site 3	26.25	16.3	210.5	85.94

Tableau 22 : Résultats d'analyse d'ions majeurs des trois sites

Interprétations :

- Nitrates :

D'après le tableau ci-dessus, on peut dire que l'ion nitrate existe dans les trois sites mais avec des concentrations différentes, cela prouve l'existence d'une pollution tout au long de la zone d'étude

On sait bien que sous l'action microbienne, le nitrate peut être réduit en nitrite (NO_2^-), qui est alors la forme la plus toxique, Dans l'eau, ces substances peuvent provenir de la décomposition de matières végétales ou animales, d'engrais utilisés en agriculture, du fumier, d'eaux usées domestiques et industrielles, des précipitations ou de formations géologiques renfermant des composés azotés solubles ce qui est confirmé par le résultat du site 3 (26.25 mg/l) qui connaît beaucoup de déversements de toute la ville de Fès.

-Ammonium :

Les concentrations trouvées dans les échantillons de ces trois sites montrent que la teneur de l'ammonium est faible dans les deux sites 1 et 2 et presque nulle dans le premier. Mais pour le site 3 il y en a présence avec une concentration de 16.3 mg/l, ce qui est tout a fait normal.

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industriel.

- Chlorures :



Les résultats obtenus au niveau des trois sites étudiés, montrent des teneurs variables. Les teneurs en chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). les concentrations de cet ion sont tous élevées.

Ces teneurs élevées sont :

-d'une part ; l'indice d'une pollution urbaine et industrielle qui est due principalement aux effluents des usines de produits chimiques, aux eaux des tanneries, aux eaux d'égouts, à l'écoulement des eaux d'irrigation, aux eaux de lixiviation des déchets, aux apports anthropiques (urine, sel...).

-d'autre part ; dues aux couches de marnés et de calcaires lacustres qui sont traversées par l'Oued Sebou et ses affluents.

- Sulfates :

La répartition spatiale des concentrations en sulfates est différente entre les trois sites d'étude, vue que la pollution de l' Oued Sebou devient de plus en plus accentuée en partant vers le site 3 (après confluence avec l'oued Fès), qui reçoit les eaux de l'oued Fès qui sont fortement chargées en sulfates. la moyenne des concentrations est de 69.27 mg/l.

L'origine de la plupart des composés sulfates est l'oxydation des minerais de sulfites, la présence de schistes, ou de déchets industriels. Ainsi, le sulfate est un des éléments majeurs des composés dissouts dans l'eau de pluie.

II) Analyses des métaux lourds par la spectrométrie d'absorption atomique

Métaux Sites	Cd en µg/l	Cr en µg/l	Pb en µg/l	Ni en µg/l	PO ₄ ⁻ en mg/l	Fe en mg/l	Cu en mg/l	Zn en mg/l	Al en µg/l	Mn en mg/l	Ba en µg/l	As en µg/l
Site 1	0.315	4.41	6.20	0.02	0.00	0.01	0.00	0.19	1689.44	0.01	49.73	3.36
Site 2	0.529	46.03	5.69	0.00	0.06	0.01	0.00	1.03	1792.00	0.02	59.80	2.70
Site 3	0.535	144.02	6.51	0.00	1.04	0.02	0.01	1.25	3090.05	0.05	59.1	3.22

Tableau 23: Résultats des métaux lourds des trois sites

Interprétations :

Pour ces trois échantillons d'eau, seuls trois métaux sont observés en quantités significatives (tableau 23 ci-dessus) : le chrome, l'aluminium et le zinc. La quantité de chrome total dosée au



niveau de l'eau du site 3 est 144.02 $\mu\text{g/l}$ alors que dans un rapport de l'agence Hydraulique du bassin de Sebou, une étude de la pollution des eaux de surface par les métaux lourds menée en 2004, a révélé une quantité de chrome total de 26.9 $\mu\text{g/l}$ dans Oued Sebou à quelques mètres de son point de confluence avec Oued Fès. Ce qui montre que la pollution au chrome augmente et risque de devenir, si ce n'est déjà le cas, une source de maladies graves pour la population avoisinante qui utilise cette eau non seulement pour l'irrigation mais aussi pour la consommation humaine, alors que les normes européennes et la norme marocaine et encore autres exigent un seuil limite de chrome total dans l'eau destinée à l'alimentation humaine de 50 $\mu\text{g/l}$.

D'après la grille de la qualité des eaux de surface (voir annexe 2), le zinc est l'un des substances indésirables, on le trouve surtout dans les deux sites 2 et 3. Le zinc est présent naturellement dans l'air, l'eau et le sol mais les concentrations en zinc de façon non naturelle du fait du rejet de zinc par les activités humaines. La plupart du zinc est rejeté par les activités industrielles, telles que l'exploitation minière, la combustion du charbon et des déchets toxiques et l'industrie de l'acier. Le niveau élevé de zinc dans l'eau peut causer des problèmes de santé, comme des crampes d'estomac; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie. De très hauts niveaux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme et provoquer des désordres respiratoires.

Parlons maintenant de l'aluminium qui existe dans les trois sites et avec des teneurs trop élevées (site3). Lorsqu'on y est exposé à de fortes concentrations, il peut engendrer des problèmes sur la santé.

Cet élément est quasiment insoluble dans l'eau à des pH supérieurs à 6, en revanche, sa solubilité croît rapidement en milieu acide. On peut absorber l'aluminium par l'intermédiaire de la nourriture, en respirant, ou par contact avec la peau. Une absorption pendant une longue période peut entraîner de sérieux problèmes sur la santé, tels que :

Tremblements, perte de mémoire : la maladie d'Alzheimer, Apathie etc.

Alors que pour le plomb, sa teneur est inférieure à 10 $\mu\text{g/l}$, donc d'après la grille de la qualité des eaux de surface cette teneur indique la non influence sur la pollution de l'eau de l'oued Sebou par le plomb, même remarque pour le baryum et l'arsenic qui n'interviennent pas directement dans l'impact sur ce milieu aquatique mais ils sont tout simplement dus aux divers déversements jetés dans l'oued.

III) Analyses bactériologiques



1) Germes témoins de la contamination fécale

1.1 Coliformes totaux

Interprétations :

L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. Elle permet également de contrôler l'efficacité des mesures de protection ou de traitement. Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale.

La variation spatiale de ce type de germes (les coliformes totaux), a montré l'existence d'une augmentation importante en comparant le site 1 avec le site 2 et ce dernier avec le site 3.

Cette variation observée, pourrait s'expliquer par l'apport des déjections humaines et animales de l'oued Fès vers l'oued Sebou qui pourrait conduire à une augmentation de l'abondance de la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires au développement bactérien.

nombre de sites	nombre des coliformes totaux par 100ml d'eau
site 1	930
site 2	1500
site 3	110000

Tableau 24: Résultats du nombre des coliformes totaux des trois sites

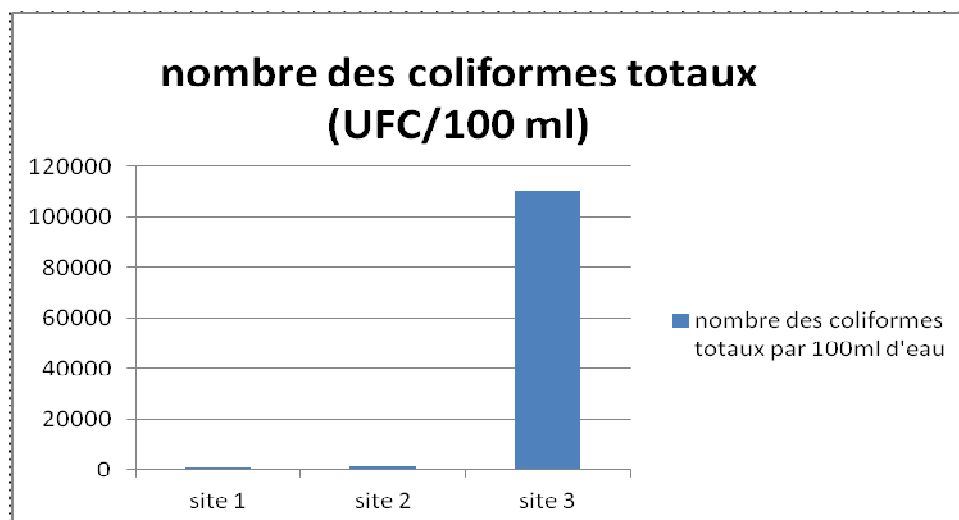


Figure 8 : Évolution spatiale du nombre des coliformes totaux des trois sites étudiés



1.2. Coliformes fécaux

Interprétations :

Après l'analyse de la variation spatiale des coliformes fécaux entre les trois sites choisis sur l'Oued Fès et Sebou, on se rend compte que ces germes suivent la même évolution si on compare le site 1 avec le site 2 et celui-ci avec le site 3.

Cette évolution est due comme c'est le cas des germes totaux aux rejets urbains, et plus précisément, ceux contenant la matière fécale, c'est-à-dire ; les eaux de vanne et les excréta, Ainsi que les eaux enrichies en matières organiques comme les produits de décomposition des plantes et du sol.

D'après l'OMS, l'indicateur le plus utile pour estimer la pollution fécale est *Escherichia Coli*. En effet, il est abondant dans les fèces humaines (jusqu'à 1 milliard de bactéries par gramme de matières fraîches), assez persistant pour être recherché (sa durée de détection dans l'eau à 20°C varie d'une semaine à un mois). Sa recherche spécifique est cependant difficile sur le terrain, c'est pourquoi on utilise de façon routinière les bactéries coliformes thermo tolérantes.

nombre de sites	nombre des coliformes Fécaux par 100ml d'eau
site 1	2100
site 2	4600
site 3	110000

Tableau 25 : Résultats du nombre des coliformes fécaux des trois sites

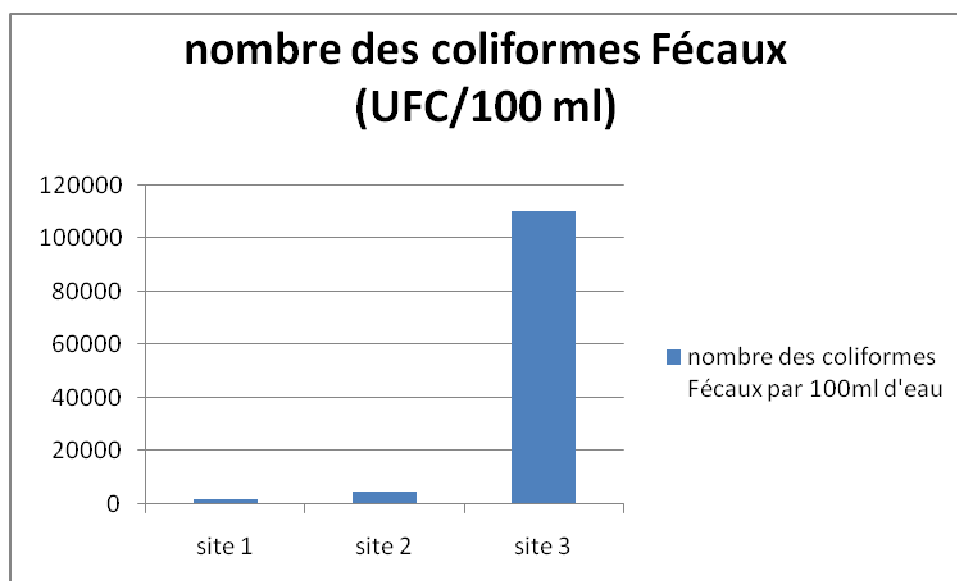




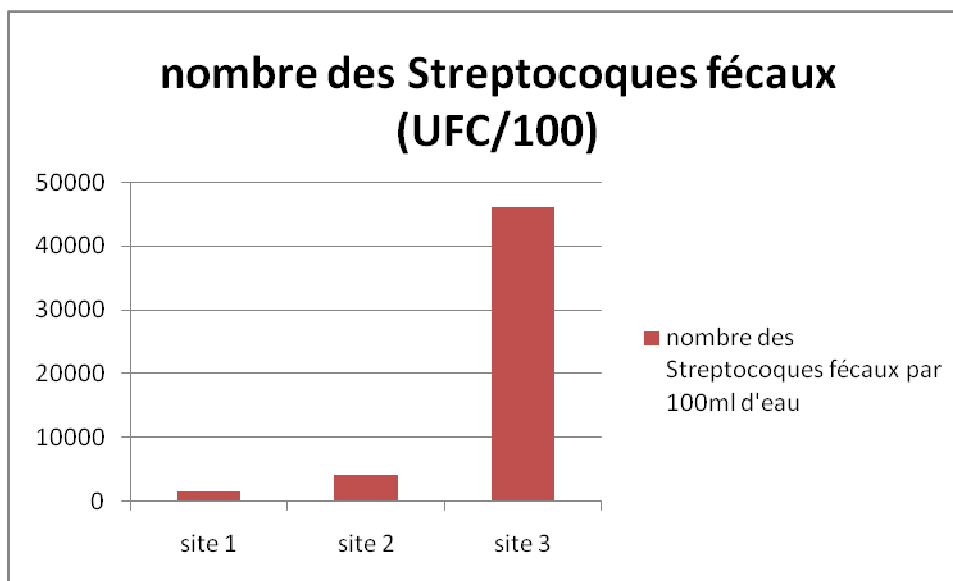
Figure 9 : Évolution spatiale du nombre des coliformes fécaux des trois sites étudiés

1.3. Streptocoques fécaux

Interprétations :

Pour ces germes qui sont aussi des indicateurs de la contamination fécale, on peut signaler une augmentation du nombre de germes. Cette augmentation importante des streptocoques fécaux est exprimée par le fait qu'il y a déversement des rejets non traités dans les eaux (qu'elles auraient fallu être propres) surtout pour le site 3 (situé après confluence avec l'oued Fès) qui représente l'état de pollution le plus marquant.

Tableau 26 : Résultats du nombre des streptocoques fécaux des trois sites



**Figure10 :
spatiale du**

nombre de sites	nombre des Streptocoques fécaux par 100ml d'eau
site 1	1500
site 2	4300
site 3	46000

**Évolution
nombre des**

streptocoques fécaux des trois sites étudiés

IV) Résultats physicochimiques et bactériologiques des eaux de la Prise d'ONEP

les paramètres	Eau de la Prise
----------------	-----------------



température	19.4°C									
pH	7.82									
conductivité	1033.5µS/cm									
TA	0.00 méq/l									
TAC	6.73 méq/l									
Oxydabilité	4.24 mg/l									
Oxygène dissous	8.63 mg/l									
Dureté totale	251.5 en mg/l									
Dureté calcique	26.27 mg/l									
nitrates	9.98 mg/l									
chlorures	175.15 mg/l									
Sulfates	60.94 mg/l									
Ammonium	0.01 mg/l									
Métaux lourds en µg/l	Cd	Cr	Pb	Ni	Al	Mn	Fe	Cu	PO4 ³⁻	
	0.42	25.22	5.94	0.01	1740.72	10	10	0.00	30	
Coliformes totaux	1215 (UFC par 100ml d'eau)									
Coliformes fécaux	3350 (UFC par 100ml d'eau)									
Streptocoques fécaux	2900 (UFC par 100ml d'eau)									

En comparant les résultats de ce tableau ci-dessus avec ceux de la grille de la qualité des eaux de surface, on peut conclure que l'eau de la prise (en tant qu'une eau de surface) est d'une qualité excellente à bonne.

Mais pour dire que cette eau est vraiment destinée à la consommation humaine, Elle exige en premier lieu un traitement physique, un traitement chimique et une désinfection correcte, pour qu'elle puisse respecter les normes de qualité d'une eau potable.

Si on examine les normes de l'OMS sur l'eau potable, il y a encore beaucoup d'éléments et substances à contrôler et à éliminer pour dire que cette eau peut être consommée sans aucune peur de contamination ou de maladie.

L'ONEP ne fait que quelques analyses de ces éléments et pas régulièrement de ce fait l'eau de surface reste une source d'eau non consommable de préférence !



Conclusion

Ce stage a été une réelle occasion pour moi d'affronter le monde professionnel notamment celui de l'entreprise. Il m'a permis de mettre à l'épreuve les connaissances fondamentales acquises durant mon cursus universitaire et d'acquérir de nouvelles notions pratiques, notamment la capacité de s'adapter et réagir aux différentes situations et problèmes.

Dans ce travail de projet de fin d'étude qui est consacré à l'étude de la qualité de l'eau de l'Oued Sebou et surtout de l'eau de la prise d'ONEP, nous avons effectué des analyses physicochimiques et bactériologiques.



Ces analyses ont permis de faire la comparaison entre trois sites de répartition spatiale différentes (les sites 1 et 2 sur l'oued Sebou, et le site 3 sur l'oued Fès) et de détecter l'impact des différents types de rejets sur cette qualité d'eau.

En général, Les résultats obtenus au cours de cette étude témoignent d'une pollution de deux types:

- Une pollution microbienne, de moyenne à importante dans 100% des eaux d'origine domestique et industrielle,
- Une pollution chimique (organique et/ou minérale) de faible à importante d'origine agricole, industrielle et domestique.

Alors que pour **les eaux** de la prise d'ONEP, après l'étude de ses résultats d'analyse effectuées, et selon le cadre réglementaire des eaux d'alimentation, les valeurs trouvées classent ces eaux non-conformes pour la consommation humaine sans traitement préalable ; autrement dit une surveillance adéquate de tous les éléments que contiennent ces eaux est obligatoire en respectant strictement les normes de qualité de l'eau potable selon l'OMS.

Ces données sur la pollution des eaux de surface 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 surface.

En ce qui concerne les perspectives pour pouvoir lutter contre la pollution que connaît ces oueds, il faut essayer d'une part de traiter les rejets industriels au niveau de stations spécialisées, soit au sein de chaque unité industrielle soit en collectant les eaux de toutes les unités de la ville de Fès et les traiter entièrement. D'autre part il faut créer un assainissement rationnel des déchets urbains et industriels, qui éviterait le rejet des déchets dans les oueds Fès et Sebou sans aucun traitement préalable. Cet assainissement contribuerait sans doute à la protection de l'eau potable. En plus il est nécessaire de mettre en exécution de nouvelles normes de rejets concernant les différents types d'industries existantes sur la ville de Fès et les appliquer réellement en créant de nouvelles lois qui punissent les fraudeurs.

Finalement, il est très important de sensibiliser les citoyens, par leur familiarisation avec les diverses notions de protection du milieu naturel ainsi qu'avec les dangers que peut causer la pollution surtout celle des eaux des oueds destinées à l'alimentation humaine.

Les tâches effectuées par l'Office National de l'Eau Potable seraient alors plus faciles dans ce cas, il devrait tout simplement effectuer un traitement physique, un traitement chimique et un



traitement bactériologique quotidien des eaux pompées ainsi qu'une surveillance régulière des éléments traces de cette eau pour la rendre plus conforme pour la consommation.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdalloui A, 1990 : contribution à l'étude de la pollution des cours d'eau marocains par les métaux lourds – cas de l'oued Boufkrane-
- Benaabidate L, Beziane Z, Derwich E, Belghyti D, 2008.évaluation de la qualité des eaux de surface des oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraichère au Maroc.
- Boeglin J-C, 2004.Analyse des eaux résiduaires : mesure de la pollution
- Chevalier P, 2003.Coliformes totaux : institut national de santé publique du Québec.



-
- Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2008. Recherche et dénombrement des entérocoques : méthode par filtration sur membrane
 - Claus B et Robert P, 2001. Chimie de l'environnement.
 - Chambre de commerce et d'industrie de Paris, 2008. les polluants d'origine industrielle les critères globaux.
 - Castaignos E et Ducro S, 2004 : les effluents de tanneries.
 - Document de marketing du territoire de la région Fès-Boulemane, 2004
 - El Bouhali, 2001 : étude physicochimique, bactériologique et faunistique à l'interface superficielle de deux cours d'eau dans la vallée sud de l'oued Fès. Thèse de doctorat d'état, faculté des sciences Fès.
 - Lahlou A, 2009. Quelques aspects environnementaux dans les pays du Maghreb.
 - Lenntech, 2008. Traitement de l'eau et de l'air.
 - Le bassin hydraulique de Sebou novembre, 2006 : le débat national sur l'eau.
 - RéEEA (réseau francophone sur l'eau et l'assainissement), 2000. Analyse physicochimique de l'eau.
 - Rodier J et al, 1994. L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer).
 - Water analysis in belgim, 2004. Evaluation de la qualité de l'eau.



Annexes



Normes de l'OMS sur l'eau potable

Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable.

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)



Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Composés organiques

Groupe	Substance		Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS
Alcanes chlorés	Tétrachlorométhane		C Cl ₄	4 µg/l
	Dichlorométhane		C H ₂ Cl ₂	20 µg/l
	1,1-Dichloroéthane		C ₂ H ₄ Cl ₂	Pas de valeur guide
	1,2-Dichloroéthane		Cl CH ₂ CH ₂ Cl	30 µg/l
	1,1,1-Trichloroéthane		CH ₃ C Cl ₃	Pas de valeur guide
Alcènes chlorés	1,1-Dichloroéthène		C ₂ H ₂ Cl ₂	Pas de valeur guide
	1,2-Dichloroéthène		C ₂ H ₂ Cl ₂	50 µg/l
	Trichloroéthène		C ₂ H Cl ₃	20 µg/l
	Tétrachloroéthène		C ₂ Cl ₄	40 µg/l
Hydrocarbures aromatiques	Benzène		C ₆ H ₆	10 µg/l
	Toluène		C ₇ H ₈	700 µg/l
	Xylènes		C ₈ H ₁₀	500 µg/l
	Ethylbenzène		C ₈ H ₁₀	300 µg/l
	Styrène		C ₈ H ₈	20 µg/l
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires		C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P _{1 3}	Non mentionné
Benzènes chlorés	Monochlorobenzène (MCB)		C ₆ H ₅ Cl	Pas de valeur guide
	Dichlorobenzènes (DCBs)	1,2-Dichlorobenzène (1,2-DCB)	C ₆ H ₄ Cl ₂	1000 µg/l



Constituants organiques micellaires		1,3-Dichlorobenzène (1,3-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	Pas de valeur guide
		1,4-Dichlorobenzène (1,4-DCB)	$C_6 H_4 Cl_2$	300 µg/l
	Trichlorobenzènes		$C_6 H_3 Cl_3$	Pas de valeur guide
	Adipate de dioctyle		$C_{22} H_{42} O_4$	Pas de valeur guide
	phthalate de Di(2-ethylhexyle)		$C_{24} H_{38} O_4$	8 µg/l
	Acrylamide		$C_3 H_5 N O$	0.5 µg/l
	Epichlorhydrine		$C_3 H_5 Cl O$	0.4 µg/l
	Hexachlorobutadiène		$C_4 Cl_6$	0.6 µg/l
	Acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA)		$C_{10} H_{12} N_2 O_8$	600 µg/l
	Nitriloacétate (NTA)		$N(CH_2COOH)_3$	200 µg/l
	Organoétains	Dialkylétains	$R_2 Sn X_2$	Pas de valeur guide
		Oxyde de tributylétains (TBTO)	$C_{24} H_{54} O Sn_2$	Pas de valeur guide

