Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences Dhar El Mahraz- Fès
Centre d'Etudes Doctorales
"Sciences et Technologies"

Formation Doctorale : RNE2D

Discipline : Environnement

Spécialité : Chimie-physique appliquée

Laboratoire : LIEME

THESE DE DOCTORAT

Présentée par

EL MADANI FATIMA-ZAHRA

Identification et contribution au traitement des polluants ayant une potentialité de perturbateurs endocriniens

Soutenue le 27 Septembre 2019 devant le jury composé de :

Pr. HAMMOUTI Belkhir	***FS- Oujda***	***Président***
Pr. ABRIAK Nor-Edine	***IMT- Lille Douai***	***Rapporteur***
Pr. SOUABI Salah	***FST-Mohammedia***	***Rapporteur***
Pr. EL RHAZI Karima	***FMP-Fès***	***Rapporteur***
Pr. TALEB Mustapha	***FSDM-Fès***	***Examinateur***
Pr. LAHBABI Noura	***FSDM-Fès***	***Examinatrice***
Pr. RAIS Zakia	***FSDM-Fès***	**Directrice de thèse**
Pr. MERZOUKI Mohamed	***FSDM-Fès***	**Co-directeur de thèse**
Pr. BERRADA Sanae	***ISPITS-Fès***	***Invitée***

Année universitaire : 2018-2019



سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك

أنت العليم الحكيم



سورة البقرة: الآية: 31

Dédicaces

Aucune dédicace ne saurait traduire la profondeur des sentiments d'affection, d'estime et d'amour que j'ai pour vous pour toute l'aide et les sacrifices que j'ai reçue de ma petite famille, tout particulièrement :

***Mon défunt père** que Dieu ait son âme qui rêvait de ce jour. J'espère que tu es fier de moi en implorant Dieu tout puissant de t'accueillir en son vaste paradis. Merci pour toutes les valeurs et les instructions que tu m'as enseigné qui m'a amené là où je suis.*

***Ma mère** que Dieu te donne une longue vie et te protège de tout mal afin que tu puisses bénéficier des fruits de cet effort. Merci pour tous les sacrifices fournis afin que mes études supérieures aboutissent. Sans ton affection et ton soutien tant sur le plan moral que matériel et spirituel, jamais ce travail n'aura vu le jour.*

*Ma sœur **Zineb** et mes chers frères **Omar et Youness** merci pour le soutien, l'amour et le courage que vous m'apportez depuis toujours à garder la tête haute et à surmonter les moments difficiles et me remonter le moral, je vous remercie.*

***Ma grande famille**, pour avoir toujours cru en moi, pour vos encouragements et tant d'amour dont vous m'entourez. Votre présence m'est très chère.*

A vous tous, je dédie ce travail.

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu tout puissant, de m'avoir accordé la force, le souffle de vie, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail malgré toutes les contraintes vécu.

Ce ne sont pas des mots si personnels soient-ils qui arriveront à exprimer ma gratitude, mes remerciements et ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.

Quoique je dise et quelques soient les expressions que je puisse utiliser, je ne peux exprimer ma grande reconnaissance à mes directeurs de thèse: ***Madame le Pr. Rais Zakia et Monsieur le Pr. Merzouki Mohammed****, qui n'ont cessé de me prêter leur soutien scientifique et moral depuis ma première inscription et bien avant cela, ils ont accepté de diriger ce travail ; Et de m'avoir aidé de m'épanouir dans mes activités de recherche tout au long de ces années de recherche avec patience. Je les remercie pour leur gentillesse, leur compréhension, leur rigueur et leurs conseils judicieux, et je ne pourrais jamais leur exprimer ma reconnaissance.*

J'exprime ma profonde gratitude et mes respects à ***Monsieur le Pr. Taleb Mustapha****, Directeur du laboratoire d'Ingénierie d'Electrochimie de Modélisation et d'Environnement (LIEME), pour l'accueil qu'il m'a réservé et intégré au sein de son laboratoire, pour la confiance, le soutien qu'il m'a toujours témoigné, son assurance, ses amples conseils, son aide précieuse, sa disponibilité en toutes à poursuivre mes travaux de recherche dans des conditions optimales. Merci pour toutes les facilités émanant de votre laboratoire durant ces années de travail. Rien de ces travaux n'aurait pu être possible sans votre contribution.*

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury, le ***professeur Hammouti Belkhir****, Faculté des Sciences-Oujda, qui a accepté de présider cette thèse, aux* ***Pr. Abriak Nor-Edine*** *de l'IMT Lille Douai; Ecole Mines-Télécom de l'Université de Lille-France* ***Pr. Souabi Salah****, Faculté des sciences et Techniques de Mohammedia et* ***Pr. El Rhazi Karima*** *de la Faculté de médecine et de pharmacie de Fès, qui ont accepté de rapporter ce travail et malgré leurs occupations, ils ont eu le temps d'évaluer ce travail et nous faire part de leurs critiques qui ne feront qu'améliorer sa qualité.*

Je suis profondément reconnaissante aux ***Prs. Lahbabi Noura****, Faculté des Sciences de Fès,* ***Pr. Taleb Mustapha****, Faculté des Sciences de Fès et* ***Pr. Berrada Sanae****, Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé de Fès, d'avoir accepté être examinateurs de ce travail.*

Mes plus vifs remerciements à Monsieur le docteur ***Mohammed Ben Abbou*** *qui a participé, en dépit de l'accès difficile aux oueds visités et étudiés, à recueillir les prélèvements nécessaires tout au long de cette étude, ses orientations, ses conseils, son soutien et son accompagnement de près et de manière méthodique et précise qu'il m'a procurés à cet égard.*

Je tiens également à remercier l'ensemble du corps professoral et tous les agents administrateurs de notre faculté, en particulier Mme ***Samira Benali*** *pour ses encouragements, son aide précieuse et son soutien sur le plan professionnel et moral.*

J'adresse mes remerciements à toute l'équipe du laboratoire LIEME et en particulier à mes collègues docteurs, ***Nisrine Idrissi, Nouha El Allaoui, Kenza Lahlou, Anass Omor, Nourelhouda Mtarfi, Hind Mikdame, Ibtissam El Manssouri, Fatima-Zahra Bouaich, Zineb Majbar, El Hachmia Ech-Chihbi et Rajae Salim,*** *pour avoir été à mes côtés, pour leurs soutiens inappréciables tout au long de ces années, pour tout les échanges techniques riches et scientifiques quotidiens dans la bonne humeur, pour la solidarité et l'ambiance mémorable au laboratoire LIEME. Vous m'avez toujours encouragé à aller de l'avant et à me projeter bien au delà de mes propres ambitions. C'est avec vous que j'ai pu partager les moments inoubliables d'hibernation studieuse, les plus difficiles.*

Enfin que tous ceux qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'aboutissement de ce travail.

Merci à tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

FATIMA-ZAHRA EL MADANI

Résumé

Le présent travail s'intéresse à l'évaluation de l'impact de la pollution des eaux de surface de la ville de Fès, par les perturbateurs endocriniens sur le diabète, et la contribution à leur traitement.

Pour ce faire, ce travail est divisé en 2 parties :

La première partie a été consacrée à l'identification des polluants à effet endocrinien dans les eaux de surface de la ville de Fès dans l'espace et dans le temps et au traitement des effluents déversés en amont des oueds les plus pollués.

La deuxième partie a été dédiée à l'étude de la situation épidémiologique du diabète pendant les cinq dernières années et de l'impact de la qualité des eaux de surface sur l'apparition de cette maladie.

Les résultats montrent que :

- ✓ La population de la ville est en recrudescence démographique considérable à titre de 2 % par an, les zones plus denses sont situés à l'arrondissement Fès El Médina et Jnane El Ward ;
- ✓ Cinq zones sont à proximité des zones industrielles et agricoles de la ville. Ces zones existent aux arrondissements : Jnan El Ward, Fès Médina, Agdal, Zouagha et Saiss ; appartenant respectivement aux zones : Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim.
- ✓ Cinq oueds traversant la ville de Fès sont respectivement : Oued Tghat, Zhoun, Fès en amont, Ain Smen et Lmahraz qui se caractérisent par des fortes charges organiques, azotées, phosphorées et sont riches en Chrome, Arsenic, Plomb et Cadmium et à moindre degré en charge bactérienne fécale et en Zinc et Nickel.
- ✓ Les oueds ayant une qualité mauvaise sont oued Tghat et oued Zhoun traversant respectivement les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- ✓ Le traitement des effluents déversées en amont de ces deux oueds par coagulation-floculation dans les conditions optimales, de pH, de doses de coagulant, de floculant, du temps et vitesses de coagulation, de floculation ont permis une réduction de leur charge globale métallique d'environ entre 90 et 94%.
- ✓ La majorité des interrogés sont du sexe masculin dans les 5 zones et sont des analphabètes ou ayant un niveau primaire.
- ✓ Des 1500 interrogées, la population atteinte par le diabète et ayant une confirmation par le médecin est celle des zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- ✓ Des associations statistiquement significatives existent entre l'apparition du diabète et plusieurs variables tels que l'age, le niveau d'étude, l'exploitation des eaux des oueds avoisinants, l'habitat à proximité aux industries et la consommation des cultures maraîchères irriguées par les oueds.
- ✓ Le taux de prévalence du diabète est très significatif et lié fortement aux facteurs de risque sus-cités.

Mots clé : Perturbateurs endocriniens, identification, traitement, eaux de surface, qualité, corrélation.

Abstract

The present work focuses on the evaluation of the impact of the pollution of the surface water of the city of Fez by endocrine disruptors on diabetes and the contribution to their treatment.

For this reason, this work is divided into two parts:

The first part was devoted to the identification of endocrine disruptors in the surface waters of the city of Fez in space and time and to the treatment of the effluents discharged upstream of the most polluted wadis.

The second part was dedicated to the study of the epidemiological situation of diabetes during the last five years and the impact of the quality of surface waters on the appearance of this disease.

The results show that :

- ✓ The population of the city is in considerable demographic recrudescence as 2% per year, the denser areas are located in the district of Fez El Medina and Jnane El Ward ;
- ✓ Five zones are close to the industrial and agricultural areas of the city. These zones exist in the districts: Jnan El Ward, Fez Medina, Agdal, Zouagha and Saiss; belonging respectively to the zones: Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda and Sidi Brahim.
- ✓ Five wadis crossing the city of Fez are respectively: Oued Tghat, Zhoun, Fez upstream, Ain Smen and Lmahraz which are characterized by high organic, nitrogenous, phosphorus loads and are rich in Chromium, Arsenic, Lead and Cadmium and to a lesser degree in fecal bacterial load and Zinc and Nickel.
- ✓ The wadis having a bad quality are Wadi Tghat and Wadi Zhoun crossing respectively the Ain Nokbi and Sidi Boujida zones.
- ✓ The treatment of the effluents discharged upstream of these two wadis by coagulation-flocculation in optimal conditions, pH, coagulant doses, flocculant, coagulation time and speed, flocculation have allowed a reduction in their overall metal load of between 90 and 94%.
- ✓ The majority of the respondents in the 5 areas are male and are illiterate or have a primary school education.
- ✓ Of the 1,500 people interviewed, the population affected by diabetes and confirmed by the doctor is that of the Ain Nokbi and Sidi Boujida zones.
- ✓ Statistically significant associations exist between the appearance of diabetes and several variables such as age, level of education, the use of water from neighbouring wadis, housing close to industries and the consumption of market gardening crops irrigated by the wadis.
- ✓ The prevalence rate of diabetes is very significant and strongly linked to the above-mentioned risk factors.

Keywords: Endocrine disruptors, identification, treatment, surface water, quality, correlation.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم تأثير اضطرابات الغدد الصماء على المياه السطحية لمدينة فاس على مرض السكري ، والمساهمة في علاجها.

للقيام بذلك ينقسم هذا العمل إلى جزأين :

الجزء الأول تم تخصيصه لتحديد الملوثات التي لها تأثير الغدد الصماء في المياه السطحية لمدينة فاس في المكان والزمان ومعالجة النفايات السائلة التي يتم تصريفها في اتجاه الوديان الأكثر تلوثًا.

الجزء الثاني تم تخصيصه لدراسة الحالة الوبائية لمرض السكري على مدى السنوات الخمس الماضية وتأثير نوعية المياه السطحية على ظهور هذا المرض.

أظهرت النتائج ما يلي :

- ✓ سكان المدينة في نمو ديموغرافي كبير يبلغ 2٪ سنوياً، مع وجود أعلى كثافة في فاس المدينة وجنان الورد.
- ✓ خمس مناطق قريبة من المناطق الصناعية والزراعية للمدينة .هذه المناطق هي :جنان الورد، فاس المدينة، أكدال، زواغة وسايس .ينتمون على التوالي إلى مناطق عين نقبي، سيدي بوجيدة، دكارات، بنسودة وسيدي إبراهيم.
- ✓ خمسة أودية تعبر مدينة فاس على التوالي: واد تغات ، زحون ، فاس المنبع ، عين السمن والمهرز والتي تتميز بأحمال عضوية ونيتروجينية وفوسفورية عالية وغنية بالكروم والزرنيخ والرصاص والكادميوم وبأقل درجة في الحمل البكتيري البرازي والزنك والنيكل.
- ✓ الوديان ذات الجودة الرديئة هي وادي تغات ووادي زحون ، يعبران منطقتي عين النقبي وسيدي بوجيدا على التوالي.
- ✓ إن معالجة النفايات السائلة التي يتم تصريفها في اتجاه هذين الوديان عن طريق التخثر - اندماج الدقائق المترسبة في الظروف المثلى ، درجة الحموضة ، جرعات تجلط الدم ، والاندفاع ، وزمن التخثر وسرعته ، سمح التلبد بتخفيض شحنتها المعدنية الشاملة ما بين 90 و 94٪.
- ✓ غالبية المستجيبين هم من الذكور في المناطق الخمس وهم أميون أو لديهم مستوى أولي.
- ✓ من بين المستجيبين البالغ عددهم 1500 شخص ، فإن السكان المصابين بالسكري وأكدهم الطبيب هم من منطقتي عين النقبي وسيدي بوجيدا.
- ✓ توجد ارتباطات ذات دلالة إحصائية بين ظهور مرض السكري وعدة متغيرات مثل السن ,مستوى الدراسة,استغلال مياه الوديان القريبة ، الموئل القريب للصناعات واستهلاك محاصيل الخضروات المروية من الوديان.
- ✓ يرتبط معدل انتشار مرض السكري بشكل كبيرو بقوة بعوامل الخطر المرتفعة المذكورة أعلاه.

كلمات البحث :اختلال الغدد الصماء، تحديد، المعالجة، المياه السطحية، الجودة، الارتباط

Table des matières

Dédicaces .....

Remerciements .....

Résumé .....

Abstract .....

ملخص .....

Liste des tableaux .....

Liste des figures .....

Glossaire .....

Introduction générale **1**

Partie1 : Identification des polluants à effets endocriniens des eaux de surfaces de la ville de Fès et contribution à leur traitement **7**

Chapitre I : Synthèse bibliographique **8**

I. Introduction 8

II. Etat des lieux de la pollution des eaux de surface 9

III. Risques environnementaux liés à la pollution des eaux de surface 11

III.1. Revue littérature sur la pollution des eaux 11

III.2. Types des polluants de l'eau 13

IV. Stratégies de dépollution des eaux de surface aux niveaux national et régional 15

V. Méthodes de traitement des eaux polluées 17

V.1.Traitements biologiques 17

V.2. Traitements physico-chimiques 19

VI. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface SEQ-Eau 22

VII. Gestion informatique des données 24

VII.1. Système d'Information Géographique 24

VII.2.Tests statistiques 25

VIII. Conclusion 28

Chapitre II : Méthodologies expérimentales **29**

I. Introduction 29

II. Zone d'étude 29

III. Méthodes d'échantillonnage et d'analyses physico-chimiques et bactériologiques 30

III.1.Echantillonnage 30

III.2. Description des techniques analytiques 31

IV. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface (SEQ-Eau) 32
V. Méthodes d'analyses informatiques 34
V.1. Système d'Information Géographique 34
V.2.Analyse de la variance ANOVA 35
VI. Traitement des eaux de surface étudiées par coagulation-floculation 35
VII. Conclusion 36
Chapitre III : Etat des lieux de la pollution des eaux de surface traversant la ville de Fès 37
I. Introduction 37
II.. Principaux oueds traversant la ville de Fès 37
III. Etat des lieux des eaux de surface traversant la ville de Fès 40
III.1. Identification des industries avoisinantes les eaux de surface de la ville de Fès 40
III.2. Description des activités agricoles exploitant les eaux de surface de la ville Fès 42
III.3. Présentation du réseau d'assainissement liquide de la ville de Fès 44
III. Sites de prélèvement 46
IV. Conclusion 49
Chapitre IV : Evaluation de la qualité des eaux de surface de la ville de Fès et contribution à leur traitement 50
I. Introduction 50
II. Evaluation de la qualité des eaux de surface des cinq zones d'étude 50
II.1. Caractérisation des eaux de surface étudiées 50
II.2. Indices de pondération et d'altération des sites d'étude 58
II. 3. Répartition spatiale de la qualité globale des eaux de surface au niveau de la ville de Fès 60
III. Évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux d'oued Tghat (S1) et oued Zhoun (S2) 62
III.1. Evaluation spatiotemporelle mensuelle de la qualité des eaux des sites S1 et S2 62
III.2. Indices de pondération et d'altération des eaux des sites S1 et S2 71
III.3. Répartition spatiale de la qualité globale des eaux d'oueds Tghat et Zhoun en 2017 73
IV. Qualité globale des eaux d'oueds Tghat et Zhoun 76
V. Analyse statistique des eaux de surface identifiées les plus polluées par ANOVA 77
VI. Traitement des eaux en amont des oueds Tghat et Zhoun par coagulation-floculation 79
IV.1. Ajustement du pH de coagulation-floculation 80
VI.2. Optimisation de la dose du coagulant 82
VI. 3. Optimisation de la dose du floculant 82
VI.4. Optimisation du temps de la coagulation floculation 83
VI.5. Optimisation de la vitesse de coagulation floculation 85
V. Conclusion 87

Partie II : ... 88

Impact de la pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès sur les maladies endocriniennes : Cas du diabète ... 88

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique ... 89

I. Introduction ... 89
II. Généralités sur l'épidémiologie ... 89
II.1. Branches de l'épidémiologie ... 89
II.2. Types d'enquêtes en épidémiologie ... 90
III. Risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface ... 92
III.1. Perturbateurs endocriniens (PE) ... 93
III.2. ETM et l'apparition des pathologies chroniques ... 95
III.3. ETM et maladies endocriniennes ... 96
III.4. Diabète ... 97
IV. Efforts mis en œuvre par l'état marocain ... 104
V. Méthodes d'évaluation des risques sanitaires ... 105
VI. Conclusion ... 106

Chapitre II : Etude épidémiologique du diabète dans la ville de Fès ... 107

Introduction ... 107
I. Méthodologie de travail ... 107
I.1. Méthodes de recensement des données sanitaires ... 107
I.2. Etude épidémiologique transversale du diabète dans la ville de Fès ... 109
II. Résultats & discussions ... 113
II.1. Situation épidémiologique du diabète dans la ville de Fès ... 113
III.2. Etude épidémiologique transversale du diabète auprès de la population des cinq zones d'étude de la ville de Fès ... 120
III.3. Analyse de la relation entre la répartition du diabète et la qualité globale des polluants des eaux de surface de la ville de Fès ... 127
III.3.1. Analyse géographique vis à vis du taux de prévalence du diabète recensé ... 127
III.3.2. Analyse géographique vis-à-vis du taux d'atteinte du diabète ... 129
IV. Conclusion ... 131

Conclusion générale et perspectives ... 133

Références ... 138

Annexes ... 161

Liste des tableaux

Tableau 1: Méthodes d'analyses des différents paramètres (Rodier, 2009) 31
Tableau 2: Classes de qualité des eaux par indice d'altération 33
Tableau 3: Moyennes des indices d'altération et de pondération physicochimiques et bactériologiques des eaux des oueds étudiées 59
Tableau 4: Indices d'altération et de pondération physico-chimique, bactériologique et métallique des eaux des sites S1 et S2 durant l'année 2017 72
Tableau 5: Analyse de la variance ANOVA des paramètres identifiant la qualité des eaux, des sites S1 et S2 en fonction du temps 78
Tableau 6: Localisation des Centres de santé selon les zones et quartiers de la ville de Fès. 116
Tableau 7: Répartition des interrogés selon les données sociodémographiques 120
Tableau 8: Répartition des interrogés selon les données cliniques et spécifiques 121
Tableau 9: Analyse Bivariée de l'association entre le diabète et les données sociodémographiques 123
Tableau 10: Analyse Bivariée entre les associations entre le diabète et les données cliniques et spécifiques 125

Liste des figures

Figure 1: Oued Fès et ses affluents (Reynard et al., 2011) 39
Figure 2: Représentation géographique des cinq zones de la ville de Fès 40
Figure 3: Répartition géospatiale des principales industries au niveau de la ville de Fès en 2017 (CCIS, 2017) 42
Figure 4: Zones agricoles El Merja, Jnanates et Sidi Boujida de la ville de Fès 43
Figure 5: Oued Fès traversant la zone El Merja 43
Figure 6: Autres usages des eaux de surface étudiées par la population de la ville de Fès (photos prises réelles lors du diagnostic) 44
Figure 7: Réseau d'assainissement de la ville de Fès et bassins versants (RADEEF, 2017) ... 45
Figure 8: Réseau principal d'assainissement liquide de la ville de Fès, extension vers la STEP (ASUF, 2017) 46
Figure 9: Répartition spatiale des oueds à proximité des zones industrielles de la ville de Fès par SIG 47
Figure 10: Photos des cinq sites d'échantillonnage de la ville de Fès (Photos prises au moment du prélèvement) 48
Figure 11: Caractérisation des eaux de surface dans les cinq sites de la ville de Fès 56
Figure 12: Répartition géographique de la caractérisation physicochimique globale au niveau des cinq sites étudiés 60
Figure 13:Répartition géographique de la caractérisation bactériologique globale au niveau des cinq sites étudiés 61
Figure 14: Répartition géographique de la caractérisation métallique globale au niveau des cinq sites étudiés 61
Figure 15: Suivi spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métalliques de l'évaluation mensuelle de la qualité des eaux, pour l'année 2017, au niveau du site S1 et S2 68
Figure 16: Répartition spatiale de la qualité physico-chimique globale des eaux d'oued Tghat et Zhoun en 2017 74
Figure 17: Répartition spatiale de la qualité bactériologique globale des eaux d'oued Tghat et Zhoun en 2017 75
Figure 18: Répartition spatiale de la qualité métallique globale des eaux d'oued Tghat et Zhoun en 2017 76
Figure 19: Qualité globale des eaux d'oueds Zhoun et Tghat de la ville de Fès en 2017 77
Figure 20:Diagramme de Pourbaix de l'aluminium (Boudhane, 2016) 80
Figure 21: Ajustement du pH des eaux à traiter: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2OH3] = 0,15 g.L^{-1}, [Praestol] = 1 mg.L^{-1}, Temps de coagulation =3 min, Temps de floculation =20min, vitesse de coagulation =150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min ... 81
Figure 22: Effet de la dose du coagulant sur l'abattement du Cr, de l'As, du Pb, et du Cd : (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : pH =6,5, [Praestol] = 1 mg.L^{-1}, Temps de coagulation = 3 min, Temps de floculation = 20min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min 82
Figure 23: Effet de la dose du floculant sur l'abattement du Cr, As, Pb et du Cd: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al_2SO_4] = 0,15 g.L^{-1}, pH = 6,5, Temps de coagulation = 3min,

Temps de floculation = 20min, vitesse de coagulation = 150tr/min, vitesse de floculation = 20tr/min 83
Figure 24: Effet du temps de coagulation sur l'abattement du Cr, de l'As, du Pb et du Cd: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2SO4]= 0,15 $g.L^{-1}$, pH= 6,5, Temps de coagulation=3min, Temps de floculation=20min, vitesse de coagulation=150 tr/min, vitesse de floculation= 20 tr/min 84
Figure 25: Effet du temps de floculation sur l'abattement du Cr, de l'As, du Pb et du Cd: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2SO4] = 0,15g. L^{-1}, pH = 6,5, Temps de coagulation = 3min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min 84
Figure 26: Effet de la vitesse de coagulation sur l''abattement de Cr, de l'As, du Pb et du Cd : (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2SO4] = 0,15 $g.L^{-1}$, pH = 6,5, Temps de coagulation =3 min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation =150tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min 85
Figure 27: Effet de la vitesse de floculation sur l'abattement de Cr, de l'As, du Pb et du Cd : (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al_2SO_4] = 0,15 $g.L^{-1}$, pH = 6,5, Temps de coagulation = 3 min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min 86
Figure 28: Principaux types d'enquêtes en épidémiologie 91
Figure 29: Mécanismes d'action du Cd, du Ni, du Hg et de l'As sur les cellules bêta du pancréas 103
Figure 30: Découpage régionale du royaume et de la région Fès_Meknès (DRHCPF, 2017) 113
Figure 31: Répartition géographique de arrondissements de la ville de Fès (DRHCPF, 2017) 114
Figure 32 : Répartition géographique de la densité populaire calculée pour chaque arrondissement et commune de la ville de Fès 115
Figure 33: Répartition spatiale des centres de santé de la ville de Fès 116
Figure 34: Répartition spatiale des centres de santé en couplage avec les zones de la ville de Fès 118
Figure 35: Répartition spatiale de la prévalence du diabète dans les 5 zones cibles de la ville de Fès 119
Figure 36: Répartition géographique des différents paramètres avec la prévalence du diabète 129
Figure 37 : Répartition géographique des différents paramètres avec le taux d'atteinte du diabète 130

Glossaire

ABHS	Agence du Bassin Hydraulique Sebou
ANAM	Agence Nationale d'Assurance Maladie
ANOVA	Analyse de la variance
CS	Centre de Santé
ADES	Banque nationale d'accès aux Données sur les Eaux Souterraines
AGIRE	Programme d'Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
AUSF	Agence Urbaine de Sauvegarde de Fès
CCIS	Chambre de Commerce, d'Industrie et de Service
CNEDD	Charte nationale de l'environnement et du développement durable
CPE	Cellule Préfectorale d'Épidémiologie
DPS	Délégation Préfectorale de la Santé de la région Fès_Meknès
DDM	Direction de Développement Minier
DH	Direction de l'Hydraulique
DI	Direction d'Irrigation
DO	Déclaration Obligatoire
DREVS	Direction régionale et épidémiologique de veille sanitaire –Fès
ENPSF	Enquete nationale de la population et santé familiale
FID	Fédération Internationale du Diabète
HCP	Haut-commissariat au Plan
ICP-AES	Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy
INDH	Initiative Nationale de Développement Humain
LERCSC	Laboratoire d'Épidémiologie, Recherche Clinique et Santé Communautaire
MANE	Mise à Niveau de l'Environnement
MEMEE	Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONE	Office National de l'Électricité
PDD	Programme de Développement Durable
PDI	Programme de dépollution Industrielle
PDNGDD	Plan Directeur National de Gestion des Déchets Dangereux
PE	Perturbateur Endocrinien
PNAL	Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement

PNDM	Programme National de gestion des Déchets Ménagers
PNE	Plan National de l'Eau
RADEEF	Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Électricité de Fès
RES	Réseau Environnement Santé
RSSB	Réseau de Soins de Santé de Base
SEEE	Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement. Ministère de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement
SEQ-Eau	Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux de surface
SIG	Système d'Information Géographique
SME	Stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement
SNDD	Stratégie Nationale de Développement Durable
SNPE	Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRES	Service système de Réseau d'Établissement Sanitaire Fès
UNFPA	Fonds des Nations Unies pour la population

Introduction générale

Partout dans le monde, la qualité de l'eau baisse sous la pression des activités anthropogéniques; à savoir l'évolution démographique, la modernisation des habitudes de vie, l'urbanisation rapide, l'industrialisation, le développement économique et agricole, le rejet de nouveaux organismes pathogènes et de nouveaux produits chimiques provenant des industries et d'espèces invasives sont les principaux facteurs qui contribuent à la détérioration de la qualité de l'eau et de l'apparition ou la prolifération de plusieurs maladies, notamment endocriniennes.

En fait, l'altération de la qualité de l'eau est causée principalement par la charge organique des eaux usées, les bactéries et virus émanant des flux de déchets provenant des êtres humains et des animaux domestiques chargés de nutriments (nitrates et phosphates) qui provoquent l'eutrophisation et la désoxygénation des voies fluviales, la salinisation due à l'irrigation et aux dérivations de l'eau, les métaux lourds issus des activités industrielles et artisanales, la pollution par les hydrocarbures, les produits chimiques de synthèse et les polluants persistants (matières plastiques, colorants pigmentaires, pesticides), les résidus de produits pharmaceutiques, la pollution radioactive et même la pollution thermique résultant de la libération des eaux de refroidissement d'installations industrielles et de réservoirs,... Ce qui causent des changements brusques et non linéaires de la qualité des eaux douces et des écosystèmes aquatiques pouvant ainsi entrainer des floraisons d'algues et appauvrir ces milieux en oxygène qui réduit leur capacité d'autoépuration, rend pratiquement impossible la vie animale, et peuvent avoir donc un risque pour la santé publique et deviennent ainsi une des principales causes de maladies et de décès. Cette situation alarmante induit les acteurs concernés le développement d'un grand nombre de mécanismes institutionnels, juridiques et financiers , aux niveaux international, national et régional, de contrôle et de suivi de la qualité de ces eaux pour faire face aux différentes contraintes liées à la gestion et la protection des ressources en eau et à la satisfaction de leurs besoins futurs à court, moyen et long termes d'ici à l'horizon 2030 [NU, 2015].

Au niveau mondial, 193 États Membres de l'Assemblée générale des Nations Unies ont fixé parmi les objectifs à atteindre, dans le cadre du Programme de Développement Durable (PDD), l'amélioration de la qualité de l'eau en réduisant la pollution, éliminant l'immersion

de déchets et réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et de matières dangereuses, diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et augmentant nettement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau (WWDR, 2017).

Au niveau national, le Maroc a mis en place, en premier lieu, une nouvelle stratégie de développement de ses ressources en eau (SEEE, 2015) dont les grands axes se concentrent sur la gestion de la demande en eau et la valorisation de l'eau; la gestion et développement de l'offre; la préservation et protection des ressources en eau, du milieu naturel et des zones fragiles tout en accélérant le rythme de mise en œuvre des programmes nationaux d'assainissement et d'épuration des eaux usées, de prévention et de lutte contre la pollution et du plan national de gestion des déchets ménagers et assimilés; la réduction de la vulnérabilité aux risques naturels liés aux inondations et aux sécheresses; la poursuite des réformes règlementaires et institutionnelles par adaptation de la loi 10/95 modifiée par la loi 36-15 relative à l'eau et promulgation des textes d'application restants et enfin la modernisation des systèmes d'information et de renforcement des moyens et des compétences.

Plusieurs autres projets de prévention ont été établis pour préserver sa qualité et pallier aux impacts de sa pollution sur la santé humaine; comme l'Initiative Nationale de Développement Humain (INDH,..), la Stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement (SME,..) et de la Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement (SNPE, ..), la Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD, 2017), le Plan National d'Assainissement Liquide (PNAL,...), etc. Aussi, des accords entres organismes en vue d'établir un cadre institutionnel et juridique pour gérer conjointement et durablement les problèmes partagées liés à l'environnement et à la santé.

En deuxième lieu, le département de l'Environnement a établi en collaboration avec le Ministère de la Santé et l'OMS, un programme national en santé et environnement pour identifier les risques sanitaires prioritaires liés à la dégradation de l'environnement; renforcer les actions de maîtrise et de prévention de ces risques environnementaux, au niveau national, régional et local; promouvoir l'intégration de la promotion de la santé environnementale dans les politiques sectorielles de développement et réduire les expositions à fort impact sur la santé et protéger les personnes vulnérables (SEEE, 2015). D'autres programmes ont été adoptés pour diminuer le taux de mortalité, de la morbidité et de l'émergence des facteurs de risque à travers lesquels il est possible de contrôler, voire réduire, plusieurs maladies qui

constituaient anciennement une menace réelle pour la santé de la population telles que le choléra, la malaria, la diarrhée,...

Au niveau régional, un programme d'actions a été établi dans le cadre du développement durable et visant l'amélioration du cadre de vie dans les villes, l'encouragement à l'exploitation rationnelle des ressources naturelles, la sensibilisation, l'information et l'incitation. Ainsi toutes les actions les ont accompagné des contrôles renforcés sur le respect des normes de rejet et de nuisances et ont exigé des amendes dissuasives en cas de non-respect; ou d'import des produits chimiques toxiques ou allergènes dans les marchandises oui des études d'impact non réalisées.

Quant à la ville de Fès, un certain nombre d'actions ont porté sur la question de la qualité de l'eau et des impacts sanitaires qui encourent. La réalisation d'une station de prétraitement des eaux usées de la ville de Fès (1995); la construction d'un site de traitement des margines par évaporation situé à 15 kms au Nord de la ville (1997); le test de nouveaux procédés de fabrication pour les dinanderies et les tanneries , qui leur ont permis de réduire les rejets en chrome et en nickel de près de 70% (entre 1999 et 2001), l'implantation d'une station de déchromatation des eaux usées chromées issus des industries de tannage des peaux (2003), l'enfouissement des déchets ménagers et assimilés dans une décharge contrôlée (2004) et production de l'énergie à partir du méthane produit (2008); la réalisation des stations de prétraitement propres aux quatre grandes unités industrielles (CBGN, LESAFFRE, BRANOMA, MULTIWASH) , permettant le traitement de leurs rejets avant leur transmission vers le réseau d'assainissement (entre 2010-2012); le projet de délocalisation des huileries, des dinanderies et des tanneries en vue de les transférer vers une nouvelle zone industrielle dotée des ouvrages de prétraitement nécessaires (depuis 2010), la réalisation d'une Station d'épuration des eaux usées de Fès (STEP) (2014) conçue pour traiter 130.000 m^3/j permettant l'abattement de 85 % de la pollution; la sensibilisation des responsables d'autres types d'industries (poteries, robinetteries, industries chimiques et métallurgiques,...) au traitement de leurs effluents et déchets avant leurs rejets et à la substitution des substances toxiques par celles qui sont biodégradables; le développement des recherches scientifiques dans le domaine de l'environnement et de la santé; etc.

En dépit de ces efforts indéniables, nous assistons à une accentuation de la propagation des maladies, à cause de la mauvaise réutilisation des eaux usées en irrigation et la production et/ou la consommation des produits alimentaires de crudités qui sont commercialisés

localement (Albane *et al*., 2010; Sebgui, 2015; Condom *et al*., 2016) ; vecteurs principaux des pathogènes associés aux polluants. En effet, toute substance chimique étrangère à l'organisme est capable d'interférer avec le fonctionnement du système endocrinien et ainsi induire des effets délétères sur l'individu (MCED, 2018).

Selon les statistiques des services de la santé publique, la maladie d'origine endocrinienne la plus fréquente, et qui est à déclaration obligatoire, est le diabète.

À cet effet, nous nous sommes intéressés à la répartition géographique du diabète recensé et étudié au niveau des arrondissements et communes de la ville de Fès, et de leur relation avec la charge polluante des eaux de surface en éléments traces métalliques. Ceci étant via le Système d'Evaluation Globale de la Qualité des Eaux SEQ-Eau, les outils SIG, les tests statistiques et l'approche de corrélation (SIG-SEQ). Cette méthodologie est extraite principalement des législations marocaines élaborées par la Direction des Ressources et la Planification de l'Eau au Maroc (SEEE, 2008; Errochdi *et al*., 2012; MDCEau, DRPE, 2015; BO, 2016).

Ce travail est divisé en deux parties :

La 1ère partie concerne dans un premier temps, la connaissance des oueds de surface traversant la ville de Fès, ensuite l'identification de leur charge en polluants à effets endocriniens. Ceci a eu lieu par l'utilisation du système d'information géographique SIG, le système d'évaluation de la qualité globale SEQ-Eau et l'analyse de la variance ANOVA.

Dans un deuxième temps, une étude de l'évaluation spatiotemporelle de la qualité de ces eaux a été réalisée pendant une année.

En dernier lieu, une contribution au traitement des effluents des oueds identifiés les plus pollués par coagulation-floculation.

Cette partie comprend 4 chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à une analyse bibliographique des travaux antécédents sur la qualité des eaux de surface et les risques environnementaux liés à leur pollution à l'échelle internationale, nationale et locale. Les méthodes d'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique et de traitement des eaux et les stratégies de dépollution des eaux de surfaces au niveau national et local seront aussi évoquées. Enfin, des rappels sur les méthodes

de gestion informatique et géographique des données et des corrélations statistiques seront présentés.

-Le deuxième chapitre s'articule sur les méthodes utilisées pour la délimitation des zones d'étude, de caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux analysées, du suivi spatio-temporel, de l'évaluation de la qualité des eaux par le SEQ-Eau en calculant l'indice pondéré pour chaque type d'altération, de détermination de la qualité globale de ces eaux, de traitement par coagulation-floculation des eaux identifiées les plus polluées et aussi des corrélations entre les différents paramètres de pollution et les sites d'étude.

-Le troisième chapitre dénote les principaux résultats du diagnostic en délimitant les zones d'étude et les sites de prélèvement d'eau.

-Le quatrième chapitre présente les résultats, d'une part, du suivi spatio-temporel des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux analysées, l'évaluation de leur qualité globale, moyennant les techniques de SEQ-Eau et du SIG et l'effet de la période de prélèvement et des activités du site sur les paramètres analysés par analyse statistique (ANOVA). D'autre part, il relate les résultats de traitement physico-chimique des effluents en amont des oueds identifiés les plus pollués par coagulation-floculation.

La 2ème partie s'intéresse à l'étude d'impact de la pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès sur l'apparition du diabète, en analysant l'évolution de la situation épidémiologique du diabète pour pouvoir remonter aux différentes corrélations statistiques entre les résultats environnementaux et épidémiologiques. Cette partie se compose de 2 chapitres :

Le premier chapitre est dédié à une revue bibliographique relative, d'un coté, aux risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface en indiquant l'état actuel du diabète, les mécanismes d'action et les méthodes d'évaluation des risques sanitaires d'un autre coté aux efforts étatiques pour réduire ces risques.

Le deuxième chapitre expose, dans un premier temps, l'approche méthodologique appliquée pour recenser les données sur le diabète ainsi que le calcul du taux de prévalence et de la taille d'échantillon, les types des enquêtes épidémiologiques et les outils utilisés pour l'analyse spatiale et la corrélation statistique des données.

Dans un deuxième temps, il présente l'état des lieux du diabète dans les cinq zones d'étude de la ville de Fès identifiées traversées par des oueds et leur situation épidémiologique actuelle.

Dans un troisième temps, il donne, d'une part, les principaux résultats du questionnaire établi dans les cinq zones d'étude, par une analyse descriptive et une analyse bivariée en se basant sur le test Khi-deux dans le but de comparer les variables qualitatives et quantitatives. D'autre part, il relate les associations entre la prévalence du diabète et les autres variables de l'étude.

Dans un quatrième temps, il présente l'identification et l'analyse de la relation entre la répartition spatiale de la prévalence du diabète et la charge des eaux de surface en éléments de traces métalliques dans les zones identifiées les plus polluantes de la ville de Fès. Les résultats sont accompagnés des corrélations statistiques possibles et l'analyse des facteurs de risques influençant.

Enfin, cette étude se clôturera par une conclusion générale qui récapitule les principaux résultats obtenus et une présentation des perspectives à envisager lors des futurs travaux de recherches scientifiques.

Partie1 : Identification des polluants à effets endocriniens des eaux de surfaces de la ville de Fès et contribution à leur traitement

L'évolution des risques environnementaux et leurs répercussions sur la santé est devenue un enjeu environnemental et scientifique majeur de manière alarmante. Toutefois, l'essor démographique accompagné d'une révolution agricole et industrielle, participent à l'augmentation de la consommation au niveau des produits chimiques utilisés au sein des industries tels que les métaux lourds (Cr, Zn, Pb, Cd, As,..). Même à de faibles doses, ces éléments restent accumulés dans les différents compartiments environnementaux (eau, sol, air) et dégradent leur qualité. Chose qui pourrait causer des maladies chroniques et aigues à la population exposée ou exploitant l'un des milieux.

Dans cette partie, nous nous sommes concentrés sur le volet environnement qui présente :

- l'état des lieux actuel des eaux de surface de la ville de Fès ;

- la description de l'approche méthodologique appliquée;

- l'évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux de surface de la ville de Fès et leur qualité globale, via les outils du SIG, SEQ-Eau et ANOVA ;

- Le traitement de ces effluents en amont des oueds identifiés les plus pollués, par coagulation-floculation et optimisation des conditions opératoires.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I. Introduction

Depuis longtemps, nous assistons au changement climatique, à la rareté des ressources naturelles, à la pollution excessive des milieux et augmentation du taux de malades et de décès dus essentiellement aux activités anthropiques non contrôlées et à une production non propre qui ne respecte pas les piliers du développement durable.

Parmi les sources de pollution ayant un impact direct sur la santé humaine, on trouve les produits chimiques toxiques, notamment les pesticides, les insecticides, les éléments traces métalliques (ETM),…même à l'état de trace. Par leur concentration, leur biodisponibilité et leur accumulation dans les chaines trophiques au cours du temps ou par l'exposition de la population à long terme, ils deviennent nocifs.

Dans ce travail, nous nous intéressons aux éléments traces métalliques ayant un caractère de perturbateur endocrinien, qui contaminent les eaux de surface de la ville de Fès.

Généralement, émis sous forme de très fines particules, ils sont transportés par le vent et se disséminent dans les sols et les milieux aquatiques contaminant ainsi la flore et la faune, et se retrouvant dans la chaine alimentaire. Certains métaux sont nécessaires à l'organisme, d'autres n'ont aucune fonction biologique. Mais, même indispensables, ils peuvent s'avérer toxiques à fortes concentrations. Leur toxicité ne dépend pas seulement de cette concentration, elle est aussi fonction de leur spéciation sous laquelle ils sont présents dans notre environnement.

Ce chapitre expose une étude bibliographique qui s'articule autour de quatre principaux axes :

Le premier axe décrit la problématique de la pollution de l'eau, notamment des eaux de surfaces aux échelles internationales, nationales et locales.

Le deuxième axe dénote les risques environnementaux liés à la pollution de ces eaux et les avancées de recherches pour leur dépollution et préservation.

Le troisième axe révèle les méthodes de traitement des eaux polluées ainsi que les stratégies de dépollution des eaux de surfaces aux niveaux national et régional.

Le quatrième axe est consacré essentiellement aux travaux antécédents liés aux méthodes d'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux polluées, de leur traitement et des tests statistiques permettant la validation des résultats.

II. Etat des lieux de la pollution des eaux de surface

La pollution de l'eau est principalement due à la rapide croissance démographique, l'industrialisation, l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement. Ce qui provoque une déstabilisation de l'écosystème et génère des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physicochimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs et peuvent avoir un impact sur la faune et les humains (Makhoukh *et al*., 2011; Ateba Bessa *et al*., 2012; Dahane, 2015). En outre, ces activités sont particulièrement à l'origine de la pollution des eaux superficielles et souterraines et de la variation de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques en y rejetant certaines substances à l'état insoluble ou dissous, susceptibles de perturber l'équilibre biologique du milieu en rendant l'eau impropre à toute réutilisation (Ateba Bessa *et al*., 2012). Par ailleurs, plusieurs pays souffrent de la rareté de cette ressource. En 2012, ils disposent moins de 500 m^3/an/habitant (Servat, 2012). Cette problématique est la conséquence de plusieurs causes comme l'accroissement mondiale de la population qui augmente les besoins en eau de 64 milliards de m^3 chaque année (Servat, 2012). Cela est dû principalement à leur accessibilité aux ressources en eau et la recrudescence des besoins en eau causant ainsi la dégradation de la qualité des eaux et la rendant ainsi indisponible (Hachimi, 2012).

En plus, l'accumulation des rejets urbains, industriels, artisanaux et agricoles dans la nature, provoque une pollution et une dégradation intenses et persistantes des systèmes fluviaux qui pourraient engendrer de sérieuses maladies notamment les maladies d'origines endocriniennes (diabète, thyroïde,...), les maladies à transmission hydriques (la fièvre typhoïde, les hépatites virales,…), les intoxications chimiques et métalliques, les allergies de la peau et certains cancers, etc (Cicolella, 2012;Barouki., 2013 ; Klaassen, 2013 ; Jacquet et al ., 2015; Yoshinaga *et al*., 2018).

A l'échelle **mondiale**, le problème de la pollution des eaux est devenu un enjeu environnemental, sanitaire et scientifique majeur de manière inquiétante du fait de la dégradation du milieu naturel par la civilisation contemporaine. Il s'ensuit que certaines eaux de surfaces sont aujourd'hui contaminées au point d'être impropres aux usages domestiques, industriels et parfois agricoles (Baechler, 2012; OREDD, 2014).

Actuellement, près d'un tiers de la population mondiale souffre de la rareté de l'eau, vu que le taux des eaux superficielles douces disponibles au monde est d'environ 0,3 %. Cette quantité

reste inférieure à la demande mondiale en eau (Santra, 2015) et d'ici l'année 2025, plus de la moitié de la population sera vulnérable aux pénuries des eaux (Steffen *et al*., 2015) et d'ici l'année 2050, la demande mondiale en eau augmentera de 55% (UNESCO, 2015). Quant à l'Afrique, seulement 5 % des ressources potentielles en eau qui sont exploitées, et la quantité moyenne d'eau accessible par habitant n'est que de 200 m^3 (UNESCO, 2015).

Au **Maroc**, les ressources naturelles en eau sont parmi les plus faibles au monde. En effet, le potentiel hydraulique de ces ressources en 2016 est évalué à 22 milliards de m^3 par an, soit l'équivalent de 750 m^3/habitant/an, réparties en 18 milliards de m^3 par an des eaux superficielles et 4 milliards de m^3 par an des eaux souterraines. Plus de la moitié de ces ressources sont concentrées dans les bassins du nord et le bassin de Sebou qui couvre presque 7% du territoire national. Ce bassin reçoit chaque année des quantités énormes d'effluents pollués émanant des villes voisines (M.E.M.E.E, 2015; Benmalek & Lahrache, 2017). De même pour le bassin de Tensift dont sa qualité a été identifiée par Mounaam en 2011 en déterminant les différentes sources de sa pollution et son impact sur la qualité d'autres ressources. Il a montré que sa dégradation est due principalement aux rejets domestiques, industriels et à l'utilisation abusive des engrais. D'autres études en 2014 ont réclamé que le bassin de Sebou reçoit les quantités de charges polluantes d'origines domestiques et industrielles les plus élevées. Ceci est probablement dû, d'une part, à sa grandeur vu qu'il couvre 7% du territoire national ; et d'autre part, à sa position géographique près des villes de Kenitra, Meknès et Fès connues par différentes activités industrielles et artisanales : Tanneries, Dinanderies, Teintureries, Sucreries, Huileries, Papeteries, Poteries tritureries,…qui rejettent leurs déchets sans traitement au préalable. La chose qui cause des arrêts de fonctionnement aussi bien des stations de traitement de l'eau potable que d'épuration des eaux usées. Ceci cause aussi la pollution de la nappe du Gharb et des affluents de l'Oued de Sebou et ceux de l'Oued Fès, l'Oued Beht, l'Oued Ourgha, l'Oued Berkane et l'Oued R'dom. Ces rejets sont également la cause de la mortalité des poissons dans la retenue de Barrage Garde de Sebou (M.E.M.E.E, 2014).

Autres recherches ont démontré que ces ressources en eau sont de plus en plus vulnérables et chroniques. En 2015,Tekken & Kropp ont estimé le risque de l'accroissement des activités touristiques situées au Nord du Maroc sur la forte exploitation de l'eau. A cet effet, ils ont appliqué l'analyse SWOT comme Support Politique, reposée sur la revue de la littérature comme support politique pour une meilleure gestion durable de l'eau. En 2018, Barakat *et al*. ont estimé la variation spatiale et temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Oum Er Rbia

et son principal affluent, la rivière El Abid. Grâce aux méthodes statistiques multi variées utilisées, ils ont trouvé que les changements climatiques participent à l'augmentation de la pollution des eaux et par la suite à leur rareté.

A l'échelle régionale, les rejets liquides représentent l'un des principaux problèmes environnementaux vu l'ampleur de la pollution générée et son impact sur les ressources hydriques superficielles et souterraines. La ville de Fès génère seule 40 % de la pollution du bassin de Sebou, à cause des effluents de différentes activités artisanales modernisées et industrielles rejetés sans aucun traitement (ABHSF, 2015; Benmalek & Lahrache, 2017). Nous citons les tanneries (Cr), les dinanderies (Ni), les poteries (Pb),…) et d'autres types d'industries chimiques et agricoles (chimie-parachimie, industries des denrées agroalimentaires, transformations et conserves, huileries d'olives (Margines), textile, abattoirs, laiteries, usines de boissons etc (CCIS, 2017) estimés à 65% de la pollution totale (RADEEF, 2015) qui nécessitent une consommation excessive d'eau et une utilisation anarchique des produits chimiques toxiques (pesticides, insecticides, ETM (Cr, Ni, Pb, Cd, Zn, …).

Ces rejets ont plusieurs effets néfastes sur le maintien de l'équilibre des caractéristiques du milieu aquatique, et sur la santé en provoquant ainsi des risques environnementaux majeurs liés à plusieurs sources de pollutions.

De ce fait, le royaume a fait face à la dégradation de la qualité de ses ressources, au retard enregistré dans l'assainissement liquide, à la pollution par les activités agricoles (nitrates), à l'intrusion marine due à la surexploitation des nappes et à l'industrialisation, par le traitement des eaux usées industrielles, domestiques et urbaines (Chafik, 2014)

III. Risques environnementaux liés à la pollution des eaux de surface

Des travaux antérieurs suscités, nous déduisons que les eaux de surface sont les plus polluées. Elles contiennent des millions de tonnes de polluants des industries, de l'agriculture et des activités quotidiennes (ASEF, 2010) qui pourraient engendrer une contamination aiguë et chronique de ces milieux.

III.1. Revue littérature sur la pollution des eaux

À l'échelle mondiale, le changement climatique a des répercutions sur la qualité de l'eau en modifiant la composition bactériologique; augmentant ainsi les taux d'acidité des mers et

océans à cause des gaz à effets de serre, vu que ceci se manifeste par un réchauffement global, et donc une augmentation de la température des eaux de surface (cours d'eaux, lacs, mers) (ASEF, 2010).

En 2012, Oufline et al. ont précisé, par le biais des tests statistiques, l'impact de trois sources de pollution : eaux usées, lixiviats, et activités minières sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface et souterraines dans la région de Marrakech. Ils ont constaté que ces eaux possèdent une qualité dégradée dans la région. Ils ont déduit, en appliquant l'analyse en composantes principales (ACP), que les effets des eaux usées et de la mine dominent ceux issus de la décharge dans la zone étudiée.

En 2014, l'OMS a affirmé que la pollution des eaux de surface augmente rapidement de façon remarquable, en raison de leur dégradation provoquée par la limitation des ressources hydriques (OREDD, 2014), la croissance démographique, la révolution des différentes activités anthropiques et l'utilisation accrue des produits chimiques dans les secteurs agricoles et industriels. Ce qui menace la qualité de l'eau de nombreuses rivières (Salvarredy, 2008 ; Belhadj, 2011 ; Nannou et al.,2015 ; Belhadj, 2017).

En 2015, Nannou, et al. ont envisagé que les sources de pollutions pourraient être plus élevées dans les systèmes fluviaux en raison du changement révolutionnaire des activités terrestres et pourraient être à l'origine de la croissance économique, la transformation de l'activité agricole intensive et les industries lourdes. Dans la même année, Rise a identifié 60 substances chimiques dans 122 rivières et 164 points d'eaux. Il a montré que ces substances sont des pesticides, résidus de médicaments, métaux lourds, phtalates, phénols et divers perturbateurs endocriniens.

En 2016, Ghadbane et al. ont travaillé sur l'évaluation de la qualite physico-chimique et microbienne des eaux de surface dans le haut bassin de l'oum er rbia, en se basant sur les calculs de l'indice de la qualité globale de l'eau IQE. Les résultats obtenus montrent que la plupart des sites étudiés sont d'une qualité moyenne avec une nette dégradation en aval due aux rejets liquides des principales agglomérations urbaines.

En 2017, Belhadj atteste qu' à cause de la consommation humaine de l'eau, et l'approvisionnement en eau douce, on est passé de l'emploi des eaux de sources et de nappes à une utilisation de plus en plus poussée des eaux de surface ; ainsi une grande quantité d'eau est polluée par les usages industriels, agricoles ou encore domestiques dont la majeure partie

de cette eau retourne à la nature chargée de déchets, de produits chimiques et de métaux lourds. En outre, Benmalek & Lahrache, dans la même année, ont rapporté que 80 millions de m^3 d'eaux usées sont rejetées dans les oueds sans traitement au préalable et que 70 % de la pollution est à l'origine des huileries, papeteries et sucreries.

En dehors de toutes mesures de protection de l'environnement, les ressources en eau de surface se trouvent exposées à des risques potentiels d'altérations chroniques ou épisodiques. Il faut signaler également que depuis 2004, Koukal et al. ont affirmé que les sites de l'Oued Sebou, situés à proximité des zones les plus urbanisées et les plus industrialisées, sont gravement atteints par la pollution métallique notamment en chrome et la pollution organique causant ainsi le phènomène d'eutrophisation. Ce qui engendre une toxicité aiguë et chronique de la ville de Fès. De plus, Salvarredy en 2008, Hayzoun et al. en 2014 et Tanouayi et al. en 2015 ont constaté que les eaux de surface contiennent une pollution importante en éléments traces métalliques (Cd, Pb, Ni et Cu, Cr, Zn, etc).

III.2. Types des polluants de l'eau

Les polluants de l'eau sont classés en polluants physiques (radiations ionisantes, pollution thermique), polluants chimiques (hydrocarbures, matières plastiques, pesticides, détersifs, composés organiques de synthèse divers, dérivés de soufre, nitrates, phosphates, métaux lourds, fluorures, particules minérales (aérosols) et polluants biologiques (matières organiques mortes, microorganismes pathogènes) (Yi Li, 2017).

III.2.1. Les éléments traces métalliques toxiques (ETM)

Ces dernières années, l'exposition de la population aux métaux lourds tels que le Hg, le Cd ou le Pb, l'As, le Cr, etc, s'est fortement accentuée avec l'augmentation exponentielle de leur utilisation dans le processus industriel (Culioli et al, 2008 ; HUSS, 2011; El-Khawaga, 2011; Ballouki, 2012), et leur migration vers les eaux et vers les organismes vivants (N. Manlius, Btattaglia-Bruner F., 2009) dans lesquels se concentrent à travers la chaine alimentaire. En 2013, Kayalto Barnabas a montré que les eaux d'oued de lac sont contaminés par le Cr, le Cd et le Pb. Ces résultats ont été validés par l'analyse de la variance ANOVA. Dans la même année, Sakelarieva & Varadinova ont signalé que l'excès de tout métal ou métalloïde dans les cours d'eau subit des caractères toxiques. En conséquence, ces substances sont continuellement transférées aux sols par le rejet des déchets des industries métallurgiques ou par l'épandage direct des sols par les boues des stations d'épuration des eaux usées pour améliorer les rendements des cultures (Dung Huynh, 2009). Marijić et al. en 2016, ont précisé

que les ETM même à faibles doses, absorbés par les êtres vivants déclenchent des maladies immédiates par leur accumulation dans les os et les organes au fil du temps (Goher et al., 2014 ; Zhang et al., 2014; Hesse et al., 2015; Gouitaa, 2016 ; Baysal & Akman, 2018) à cause de leur caractère non biodégradable dans les milieux (Marijić et al., 2016).

III.2.2. Les éléments traces métalliques à effet endocrinien

Le rejet en continu des ETM dans le milieu aquatique confère à sa composition un caractère à effet endocrinien (ASEF, 2010; HUSS, 2011; RES, 2012). Cicolella a déclaré que les métaux comme le cadmium, le mercure ou l'arsenic perturbent le métabolisme glucido-lipidique via un mécanisme principalement de stress oxydant. Il a aussi annonce que les métaux susmentionnés sont des polluants diabétogènes et obésogènes (Cicolella, 2012).

Le Cadmium est un contaminant retrouvé dans l'environnement surtout en raison des activités humaines telles l'utilisation d'engrais phosphatés dans l'agriculture, les industries d'extraction et de raffinage du Cd. Il est facilement dispersé dans le sol et les milieux aquatiques (Nakib, 2010). Entre 2006 et 2015, plusieurs études ont montré que l'intoxication au cadmium est liée au disfonctionnement du système endocrinien et ont dénoté ainsi une corrélation entre l'exposition au Cd et l'augmentation de la prévalence du diabète (Schoeters et al., 2006; Cicolella, 2012; Jacquet et al., 2015).

En ce qui concerne l'arsenic, Battaglia-Brunet et al. en 2008 ont estimé que l'arsenic est l'un des éléments les plus toxiques qui constitue un réel danger pour la santé humaine, notamment la survenue des pathologies chroniques. Il participe aussi à l'apparition du diabète type2 (Ettinger AS et al., 2009; Navas-Acien et al., 2010).

En 2010, Kyung-Min Lim et al. ont prouvé que les ETM peuvent contribuer à des pathologies immunologiques telles que la sclérose en plaques ou d'autres défauts du système immunitaire (inflammations chroniques, effets immunosuppressifs, allergies). Ils ont aussi tendance à perturber les systèmes reproducteur et endocrinien (comprenant tous les organes/glandes ayant une fonction de sécrétion d'hormones) causant ainsi des effets cytotoxiques (effets destructeurs sur les cellules).

En 2012, Cicolella a montré que le mercure est encore utilisé en technique dentaire. Son action de perturbation s'exercerait sur plusieurs glandes, sur les ovaires et les testicules provoquant des troubles de l'immunité, des troubles de la reproduction et un accroissement des cancers du sein. De même, Garnier & Langrand, en 2013, ont confirmé que le plomb est

aussi considéré comme perturbateur endocrinien; il contient une liaison plus forte pour les individus avec les antécédents du diabète, Hypertension artérielle et des effets rénaux.

Klaassen en 2013, a fait une synthèse des effets pour la santé humaine d'une exposition orale chronique de faibles doses de certains métaux lourds (As, Cr, Cu, Cd, Pb, Zn, Hg, Co, Fe et Ni) : effet neurotoxique, paralysie, faiblesse musculaire, jaunisse, cirrhose de foie, troubles cardiovasculaires, troubles neurologiques, cancers, diabète, etc.

En 2018, Yoshinaga et al. ont affirmé que le Cr peut diminuer l'activité du système immunitaire et provoquer des complications cardiaques, diabète, vertige, éruptions cutanées, douleurs abdominales et parfois des diarrhées hémorragiques. Par inhalation ou contact direct, il peut causer des allergies et des problèmes respiratoires et il peut même provoquer des tumeurs. Ainsi qu'au cours de la même année, l'OMS a déclaré que les sources d'exposition de l'arsenic existent dans l'eau de boissons, les cultures irriguées par l'eau contaminée et les aliments préparés avec ces eaux (OMS, 2018).

Le dépouillement des données bibliographiques ainsi relatées montre que le milieu le plus sensible à la pollution par les éléments traces métalliques est l'eau, que ce soit de surface ou souterraine. De ce fait, nous nous sommes intéressés à évaluer la qualité des eaux de surface traversant la ville de Fès après les efforts réalisés par l'état qui rentrent dans le cadre d'une stratégie nationale.

IV. Stratégies de dépollution des eaux de surface aux niveaux national et régional

Face à la situation environnementale inquiétante qui menace notre pays et afin de faire face aux différents enjeux nationaux et mondiaux, le Maroc s'est engagé, au cours des sommets de la Terre de Rio de Janeiro (1992) et de Johannesburg (2002), de mettre en place une stratégie de développement durable qui repose sur l'établissement d'une charte nationale de l'environnement et du développement durable (CNEDD), la Mise à Niveau de l'Environnement (MANE), l'Initiative Nationale du Développement Humain (INDH), la stratégie Nationale de Protection de l'Environnement (SNPE), le Plan National d'Assainissement Liquide (PNAL), le Programme National de gestion des Déchets Ménagers (PNDM), le Plan Directeur National de Gestion des Déchets Dangereux (PDNGDD), le Plan National de l'Eau (PNE),…

A l'échelle régionale, comme la ville de Fès entraine à elle seule à hauteur de 40% de la pollution du bassin de Sebou (ABHF, 2015), le Maroc a répondu avantageusement pour

résoudre cette problématique, dans le cadre de la Stratégie Nationale de Protection d'Environnement (SNPE) et du Programme de dépollution Industrielle (PDI), en réalisant un centre d'enfouissement contrôlé des déchets (2004) avec production de l'énergie (2008) et des essais pilotes de traitement des lixiviats (2016) ; un centre de tri des déchets ménagers (2018) et une station d'épuration d'eaux usées STEP (2014). Cette station est conçue pour traiter un débit d'eaux usées de 100.000 m^3/j. Le reste, estimé à 70.000 m^3/j, est rejeté directement dans l'Oued de Sebou (RADEEF , 2014) à cause de leur forte charge organique non biodégradable. Ceci est dû à la charge de ces eaux très élevée qui ne peut pas être traitée par voie biologique. Pour réduire en amont le taux de pollution de ces rejets, la Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Electricité (RADEEF) a déployé plusieurs efforts indéniables, nous citons par exemple :

- ✓ La construction des bassins de stockage pour favoriser l'évaporation naturelle des margines ; effluents issus de la trituration des olives par un procédé à 3 phases ;
- ✓ L'installation d'une station de déchromatation des eaux chargées en chrome VI issues des tanneurs au quartier Dokkarat ;
- ✓ L'implantation d'une station de prétraitement ZENJFOUR, dans la zone Sidi Boujida, qui sert à réduire les effluents et les grands rejets et déchets solides par action de dessablage, dégrillage, déshuilage et pour alimenter l'usine hydroélectrique de Fès gérée par l'Office National de l'Électricité ONE (Amarti Riffi, 2013);
- ✓ La délocalisation des dinanderies et de certaines tanneries de la médina de leurs unités vers la zone industrielle Aïn Nokbi ;
- ✓ Le stockage tampon et collecte des eaux chromées par des camions citernes pour les transporter à la station de déchromatation ;
- ✓ La réduction à la source de la pollution issue par les dinanderies via ders bassins tampons et des accessoires ;
- ✓ La sensibilisation des industriels au traitement ou prétraitement de leurs effluents pour la conformité à la norme des rejets des eaux usées dans les eaux de surface ;
- ✓ L'installation des unités de prétraitement des eaux usées de quatre industries (BRANOMA, CBGN, Multiwash, LESAFRE) ;
- ✓ La délocalisation des huileries et le passage au système de trituration à deux phases avec valorisation des grignons d'olive.

En dépit de ces efforts, la station d'épuration connait des arrêts de longues durées à cause de la charge des eaux usées en métaux lourds issus des effluents des industries artisanales et des polyphénols des margines provenant des industries de trituration des olives qui augmente leur

charge organique, notamment aux périodes de l'Aid al Adha et du mois de Septembre au mois d'Avril (récolte des olives) (El Allaoui et al., 2017; El Allaoui, 2018). Un prétraitement de ces eaux en amont de la station serait souhaitable.

V. Méthodes de traitement des eaux polluées

Le traitement efficace d'une eau pollué nécessite une bonne connaissance de débit, sa qualité (composition chimique) et les variations temporelles de sa composition. A cet effet, la recherche d'une technologie de traitement adéquate à chaque type de pollution s'avère nécessaire. Plusieurs méthodes de traitement d'eaux polluées biologiques et/ ou physico-chimiques ont été développées.

V.1.Traitements biologiques

En 2013, Baccar a signalé que les méthodes biologiques sont celles qui impliquent des organismes vivants utilisant des substances organiques ou, dans certains cas, inorganiques, modifiant totalement leurs propriétés chimiques et physiques.

Nombreuses sont les techniques biologiques de traitement des eaux et principalement : Boues activées, lagunes naturelles, Biofiltre à lit ruisselant, contacteurs biologiques rotatifs, la méthanisation et procédés séquentiels discontinus.

- Lagunes naturelles aérées

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration naturelle qui a pour principe d'utiliser la lumière, les bactéries aérobies en cultures libres et d'algues comme agents épurateurs des eaux polluées stockées dans des bassins artificiels pendant plus de 60 jours. Les algues, grâce au phénomène de photosynthèse, apportent l'oxygène nécessaire à l'épuration et la respiration bactérienne qui est produit par des végétaux en présence de rayonnement lumineux. En effet, une lagune aérée est un bassin profond (1 à 4 mètres) dans lequel les eaux sont traitées soit par voie d'écoulement, soit par recyclage des matières solides.

Cependant, des différences se produisent puisque la grande surface d'une lagune peut entrainer plus d'effets de température que d'habitude dans les procédés conventionnels de boues activées. L'eau est oxygénée par la surface de la turbine ou l'aération diffuse. La turbulence générée par l'aération consiste à maintenir le contenu du bassin en particules en suspension. D'après le temps de rétention, l'effluent de la lagune aérée comporte presque le 1/6 de la valeur de matière organique biodégradable DBO entrante sous forme de masse cellulaire (Fagrouch *et al*., 2010; Li *et al*., 2013; Durot & Molle, 2015).

➢ Boues activées

Le processus de boues activées est un procédé aérobie à écoulement continu qui vise à accroitre des bactéries présentes naturellement dans les eaux usées à grande échelle, dans des bassins aérés pour éliminer la pollution.

Il consiste à transférer des eaux, après la décantation primaire, dans un bassin d'aération où il est mélangé avec une masse active de microorganismes, spécialement des bactéries et des protozoaires, qui dégradent de façon aérobie la matière organique en dioxyde de carbone, eau et autres produits finaux. Le procédé recycle une partie de la boue vers les bassins d'aération pour maintenir la concentration de boues activées demandée (Labelle, 2013; Guo *et al*., 2015; Mazioti *et al*., 2015).

➢ Filtre à Lit Ruisselant

C'est un procédé de traitement biologique aérobie, le plus utilisé, pour la destruction des matières organiques des eaux. Il se forme d'un lit de milieu hautement perméable auquel des microorganismes sont liés, constituant une couche de boue biologique et à travers laquelle les eaux usées sont percolées et filtrées. Le milieu filtrant se comporte généralement de matériaux d'emballage en pierre ou en plastique.

Autant que les micro-organismes augmentent, l'épaisseur de la couche de boue augmente et l'oxygène s'arrête avant de s'être infiltré dans la profondeur totale de la couche de boue.

La matière organique est dégradée avant de l'arrivée des micro-organismes près de la surface du milieu. Enlevés de leur source de nourriture organique externe, ces micro-organismes meurent et sont rejetés par le liquide qui coule. Une nouvelle couche de boue se développe à leur place. Ce phénomène est appelé «déstabilisation».

Le liquide obtenu passe ensuite dans un bac de décantation où les solides sont séparés des eaux traitées. Une partie du liquide extrait dans le système de retrait ou l'effluent installé est recyclé pour faire la dilution de la résistance des eaux entrantes et le maintien de la couche de boue biologique dans un état humide (Zhao et al., 2016 ; Kamal et al., 2017).

➢ Contacteurs biologiques rotatifs

Un Contacteur biologique rotatif (RBC) est un processus biologique à croissance annexée qui comporte un ou plusieurs bassins dans lesquels de grands disques circulaires, étroitement espacés et montés sur des bâtons horizontaux, tournent lentement à travers des eaux usées. Les disques, qui sont en polystyrène à haute densité ou en polychlorure de vinyle (PVC), sont partiellement submergés dans les eaux, de sorte qu'une couche de boue bactérienne se forme

sur leurs surfaces mouillées. Au fur et à mesure que les disques tournent, les bactéries sont exposées alternativement aux eaux usées, à partir desquelles ils adsorbent de la matière organique et de l'oxygène. Le mouvement rotatif permet également d'éliminer les excès de bactéries des surfaces des disques et de maintenir une suspension de solides biologiques.
Une clarification finale est nécessaire pour enlever les matières en suspension. La matière organique est dégradée au moyen d'un mécanisme similaire à celui du Biofiltre à Lit Ruisselant. (Vasiliadou et al., 2014 ; Hassard et al., 2015).

- Méthanisation

La méthanisation est une digestion anaérobie qui contribue à la conversion biologique de matières organiques et inorganiques en l'absence d'oxygène à une variété de produits finis, y compris le méthane et le dioxyde de carbone. Un groupe d'organismes anaérobies travaillent ensembles pour dégrader les boues organiques et les déchets en trois étapes consistants : hydrolyse de composés de masse moléculaire élevée, d'acidogenèse et méthanogenèse. Le processus se déroule dans un réacteur étanche. Les boues sont introduites de manière continue ou intermittente et conservées dans le réacteur pendant des périodes variables.
Les digesteurs anaérobies sont couramment utilisés pour le traitement des boues et des eaux à forte teneur en matières organiques. L'avantage de ce type de système est la production du gaz de méthane, qui peut être utilisé comme source de carburant ou d'énergie, s'il est produit en quantité suffisante. En outre, le système produit une boue bien stabilisée, qui peut être éliminée en toute sécurité dans une décharge sanitaire après séchage ou déshydratation (Fotidis et al., 2015 ; Ambuchi et al., 2016) ou valorisée dans la filière de compostage (Lahlou et al., 2017; 2018).
Nous signalons que les procédés biologiques sont généralement efficaces sur des effluents de nature organique, comme les effluents domestiques (Smith et al., 2013 ; Gao et al., 2014 ; Shin et al., 2014), urbains (Lorenzo et al., 2015) et les effluents des industries agro-alimentaire et industries laitière (Sheldon et al., 2016; Daverey et al., 2015).

V.2. Traitements physico-chimiques

Les processus physico-chimiques sont appliqués et utilisés pour l'élimination des métaux lourds, des huiles, des graisses, des matières en suspension, des substances organiques émulsionnantes, des composants organiques et inorganiques difficiles à décomposer, des substances organiques non polaires, des polluants toxiques,...
En 2010, Bourgeois et al. ont signalé que les techniques physico-chimiques permettent l'élimination des substances dissoutes et non dissoutes à travers une combinaison des forces

physiques et chimiques d'où la puissance de ces procédés. En 2014, Sancey a indiqué que les méthodes chimiques se basent sur les interactions chimiques des pollutions non désirés dans l'eau et l'application des produits chimiques qui contribuent à la séparation des contaminants de l'eau, à la destruction ou à la neutralisation des effets nocifs associés aux contaminants. Au cours de la même année, Seghairi a souligné que les techniques physico-chimiques de traitement des eaux usées sont utilisées comme prétraitement, traitement final ainsi qu'un traitement spécifique pour la réutilisation des eaux usées comme eau de processus. Ainsi, on distingue les procédés membranaires, les résines échangeuses d'ions, l'adsorption sur charbon actif, l'oxydation avancée, l'électrocoagulation, la coagulation-floculation, etc.

- Procédés membranaires

Les processus membranaires sont nombreux ; la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration et l'osmose inverse (Qu et al., 2013 ; Löwenberg et al., 2015). Ils sont de plus en plus utilisés pour le traitement des eaux usées, et ont été appliqués sur une grande variété de domaines tels que l'industrie pharmaceutique (Ravikumar et al., 2014), les industrie laitiers et alimentaires (Salehi, 2014), l'industrie des pâtes et papiers (Gönder et al., 2011), l'industrie textile (Buscio et al., 2015) ainsi qu'une grande diversité d'autres nouvelles applications (He et al., 2014 ; Petrinic et al., 2015) .

La séparation globale de la membrane dépend essentiellement principalement de trois principes primordiaux : l'adsorption, le tamisage et le phénomène électrostatique.

Il ya aussi des membranes échangeuses d'ions fonctionnant par électroattraction et électrorépulsion, qui sont mises en œuvre dans différents types de modules : plans, spirales, tubulaires, à fibres creuses... (Bourgois et al., 2010).

- Résines échangeuses d'ions

Ces dernières années, un intérêt croissant a été porté au traitement des différents types d'effluents par résines échangeuses d'ions : lixiviat des décharges (Gomes et al., 2017), l'effluent de l'usine de papier (Bassandeh et al., 2013), les margines (Víctor-Ortega et al., 2016), les effluents textile (Yang et al., 2015) et les effluents chargés en métaux (Alvarado *et al.*, 2013) . Dans ce procédé, deux principaux mécanismes sont responsable à la dépollution des eaux :

- l'échange d'ions qui implique un déplacement de contre-ion de la phase de résine et une interaction électrostatique entre les groupes fonctionnels ioniques.
- l'adsorption physique qui implique les interactions de Van Der Waals entre les fractions hydrophobes non ioniques et le squelette polymère de la résine (Beita-Sandí *et al.*, 2017).

La structure de la matrice solide des résines échangeuses d'ions est un composé de type copolymère réticulé à base de polystyrène ou de polyacrylate, mis en œuvre sous forme de billes de diamètre compris entre 0,3 et 1,2 mm (Bourgois *et al.*, 2010). Le système d'échange d'ions qui utilise la capacité de résines spéciales à adsorber les polluants de la solution sous forme ionique à un pH spécifique. Il est très efficace pour l'élimination continue des métaux, et des polluants organiques à partir d'eaux usées peu concentrées et à écoulement élevé (Wong et al., 2013).

- Adsorption sur charbon actif

Le processus d'adsorption est une méthode très connue dans le domaine de traitement des eaux usées. L'adsorption sur le charbon actif est très largement utilisée pour obtenir une purification élevée de l'eau (Koçer & Acemioğlu, 2016 ; Malwade et al.,2016). Bien que le charbon actif soit un adsorbant préféré, son utilisation généralisée est limitée en raison de son coût. Les carbones activés disponibles dans le commerce sont encore coûteux en raison de l'utilisation des matières premières non renouvelables et relativement coûteuses. Afin de diminuer le coût de traitement et élargir son utilisation dans le traitement des eaux usées, plusieurs études ont été réalisées pour trouver des adsorbants à faible coût, tels que les cendres volantes (Zhang et al., 2014), les grignons d'olives (Koçer & Acemioğlu, 2016), ou encore le charbon actif préparé à partir des sciures de bois (Dhorabe et al., 2016 ; Thue et al., 2017 ; El Allaoui et al., 2017; Majbar et al., 2018).

- Électrocoagulation

L'électrocoagulation s'est avérée importante pour éliminer les contaminants les plus complexes de l'eau. Elle se caractérise par une réduction du temps de traitement, de production de boues, une dégradation et destruction de certaines souches bactériennes grâce au champ électrique, une absence de produits chimiques agressifs et une facilité d'utilisation (Al-Shannag et al., 2012). Cette méthode a été utilisée pour le traitement de plusieurs types d'effluents des industriels (Zodi, 2012) ; effluents des tanneries (Ben Abbou , 2014; Rais et al., 2017) ; eaux usées urbaines (El Allaoui et al., 2017; Nidal Fayad, 2017) ; margines (Majbar et al., 2018);

- Coagulation-floculation

Le processus de coagulation-floculation dans le traitement des eaux implique l'ajout des produits chimiques pour modifier l'état physique des solides dissous et en suspension, faciliter leur élimination par sédimentation. Dans le traitement de l'eau, la coagulation est considérée comme le traitement le plus classique et le plus réussi vue son efficacité et son faible coût; malgré la génération excessive des boues (Verma et al., 2012 ; Kulkarni, 2017). La

coagulation chimique est obtenue par addition de coagulants inorganiques, tels que le sulfate d'aluminium, le chlorure de fer, les molécules cationiques, anioniques et amphotères contenant des groupes ionisables tels que les groupes amino, carboxyle et sulfoniques et les coagulants naturels (De Moura et al., 2016). Plusieurs études ont été réalisées sur la coagulation visant à choisir le coagulant, optimiser les paramètres de coagulation ou la combiner avec d'autres méthodes de traitement (Lakhdari bouazza, 2011 ; Verma et al., 2014 ; Majdy et al., 2015 ; Saritha et al., 2015; Boudhane & Ammar, 2016 ; El Shamy et al., 2017; El Allaoui, 2018 ; Majbar, 2019). Cependant, d'autres études proposent que pour les eaux de grands débits, le sulfate d'aluminium peut considérablement améliorer la coagulation à faible dosage donc à faible coût (Zueva et al., 2013 ; Kulkarni, 2017; El Allaoui, 2018).

En 2018, El Allaoui a traité les eaux usées de la ville de Fès, en amont de la station d'épuration par électrocoagulation, adsorption sur la sciure de bois d'Eucalyptus et par coagulation-floculation avec une validation de ses résultats par une étude statistique. Elle a montré et recommandé que la méthode la plus efficace pour les grands débits d'eaux usées polluées et de fortes charges en métaux lourds est la coagulation-floculation. C'est cette méthode que nous allons appliquer pour contribuer au traitement des effluents ayant une charge dépassant les normes de qualité des eaux de surface.

Cette étude a été précédée par l'évaluation de la qualité des eaux de surface de la ville de Fès via le Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux, appelé SEQ-Eau, la répartition géographique de leur qualité globale. Cela étant par l'exploitation des outils SIG dans le but de les corréler avec la prévalence du diabète, maladie endocrinienne, déclarée la plus fréquente par le ministère de santé (DREVS, 2017). La détermination de la relation entre les différentes variables est procédée par le test de Student afin d'explorer statistiquement l'évolution de la qualité des eaux étudiées dans l'espace et dans le temps. La corrélation de Pearson nous a servi pour évaluer la relation entre la distribution geospatiale de la qualité de ces eaux superficielles des différents sites étudiés et celle des taux de prévalence du diabète renforcée par des représentations cartographiques par le biais des SIG.

VI. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface SEQ-Eau

La méthodologie de l'évaluation globale de la qualité d'une eau de surface est extraite principalement des lois marocaines établies par la Direction des Ressources et de Planification de l'Eau au Maroc (SEEE, 2008; Errochdi et al., 2012; MDCE, 2015; Bulletin officiel, 2016). Elle a pour principe de tenir en compte collectivement plusieurs paramètres pour la

détermination de la qualité globale de l'eau, et résumer un nombre marquant de données complexes sur la qualité de l'eau en un message simple et facile à saisir. C'est un outil qui repose sur la notion d'altération. Une altération est un regroupement des paramètres de même nature ou ayant le même effet perturbateur permettant de décrire les grandes causes de dégradations de la qualité de l'eau.

Au sein de chaque altération, des indices de qualité doivent être calculés pour chaque paramètre (indice variant de 0 pour une eau de mauvaise qualité, à 100 pour une eau de très bonne qualité). Il s'agit en fait de traduire les valeurs de concentrations mesurées dans une unité commune et les présenter sans unité pour évaluer la qualité de l'eau et son aptitude aux fonctions naturelles des milieux aquatiques et aux usages.

Le SEQ-Eau indique les classes de qualité de l'eau ; si elle est excellente, bonne, moyenne, mauvaise ou très mauvaise, en se basant sur le calcul de l'Indice Pondéré de Qualité Globale IPQG pour chaque site d'eau (Ben-Daoud *et al*., 2011; Belhaj & Kettani, 2013).

Jusqu'aujourd'hui, il se trouve un certain nombre d'indices de qualité de l'eau reposés sur différents indicateurs et méthodes d'agrégation comme : l'indice de qualité de l'eau de la National Sanitation Foundation (NSFWQI) des États-Unis; l'Indice de qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau (IQBP) établit par l'OBVNEBSL à Rimouski-Neigette (OBVNEBSL, 2012), l'indice de qualité de l'eau de la Colombie-Britannique BCWQI et l'indice de qualité de l'eau de l'Oregon OWQI, etc (Mourhir *et al*., 2014), l'indice québécois de la qualité de l'eau élaboré par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement CCMEWQI (Ewaid, 2016).

En effet, en 2014, Mourhir *et al*. ont évalué la qualité de l'eau dans un certain nombre de stations le long des bassins de Bouregreg-Chaouia et de Zizi-Rhéris au Maroc, en proposant un nouvel indice de qualité des eaux fluviales utilisant la logique floue. L'indice flou proposé, combine des seuils prescrits d'indicateurs de qualité ; extraits principalement des lois marocaine et canadienne de l'eau. Ils ont prouvé la particularité de l'approche proposée ; comparée aux classifications de l'indice physicochimique conventionnel de qualité de l'eau actuellement utilisé au Maroc. Mourhir et al. ont rajouté que l'indice flou porte des classifications rigoureuses par rapport à l'indice conventionnel dans respectivement 41% et 33% des cas pour les deux bassins. Ils ont justifié leurs résultats par les grandes disparités entre les différents seuils de qualité dans les deux normes, en particulier pour les coliformes fécaux et le phosphore total.

VII. Gestion informatique des données

VII.1. Système d'Information Géographique

Le système d'information géographique (SIG) est une technique très utilisée pour l'identification des données (cartes thématiques), l'analyse, l'interprétation et la synthèse des données, l'évaluation des besoins écologiques et socio-économiques et la planification environnementale (Borges *et al.*, 2014; Jha *et al.*, 2017). Le SIG consiste à transformer des données géocodées en cartes géographiques. Il fournit des résultats efficaces quand il s'agit de données spatiales. De plus, les données collectées doivent pouvoir être gérées, modifiées, puis analysées et représentées sous forme de cartes pour faciliter la compréhension, l'interprétation et la communication (Smida *et al.*, 2006). Les systèmes d'information géographique (SIG) sont des outils qui permettent ce type d'applications (Soudani, 2007). Plusieurs travaux ont prouvé l'efficacité de cet outil dans les études de l'environnement :

En 2011, Ben-Daoud et al. ont étudié l'apport des SIG à la gestion de la qualité des ressources hydriques dans la région de Meknès, en élaborant le couplage d'un SIG avec un système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau), et en traitant les résultats d'analyses microbiologiques et physicochimiques effectuées au niveau de l'Oued Boufekrane. Les résultats obtenus ont permis d'élaborer une carte de qualité globale et d'évaluer la pollution de cet Oued.

En 2014, Borges et al. ont utilisé le logiciel de système d'information géographique (SIG) pour établir des cartes thématiques et évaluer les données obtenues, après avoir caractérisé la qualité du bassin versant du Canal de Cunha (Brazil) en déterminant les paramètres physico-chimiques de l'eau de surface en deux périodes différentes : de 1998 à 2003 et de 2004 à 2011 au cours du programme Favela-Bairro, afin d'observer les changements de la pollution des bassins hydrogéographiques.

En 2016, Aharik & EL Garouani ont appliqué le SIG pour la gestion des ressources en eau dans la region de Saiss, les résultats cartographiques ont mené à la détermination de toutes les composantes du bilan de la nappe profonde de Saiss. Dans la même année, Alinejad et al. ont réalisé le suivi spatio-temporel de la qualité des ressources en eau potable du comté de Kohgiluyeh (Iran) en métaux lourds (arsenic, nickel, mercure et plomb) en exploitant le Système d'information géographique (SIG).

En 2017, Jalouni et al. ont également utilisé l'outil du SIG pour réaliser une étude géotechnique du sol de la ville de Fès. Les résultats ont figuré selon la carte géotechnique, et ont montré que la ville de Fès se compose de dix zones, chaque zone ses caractéristiques

spécifiques physiques, mécaniques et rhéologiques. Au cours de la même année, une autre étude a exploité l'outil SIG pour identifier les facteurs causals des risques d'instabilités naturels, accentués par l'action anthropique en caractérisant le bâti géologique de la ville de Fès. L'analyse des résultats a montré que les risques liés aux mouvements de terrain dans la zone urbaine de la ville de Fès, se sont manifestés principalement par les glissements et affaissements de terrain, par l'hydrodynamique des ravins Chaâbat oued El Maleh (Cherai *et al*., 2017).

En 2019, Maychou a réalisé une étude sur l'analyse morphostructurale des données topographiques entre les embouchures des oueds Loukkos et Sebou, en se basant sur l'outil SIG et les analyses des éléments de surfaces et des réseaux hydrographiques. Les résultats de cette étude ont montré que la région de la lagune de Moulay Bousselham constitue vraisemblablement une frontière morphostructurale majeure (limite du front de déformation).

VII.2.Tests statistiques

Un test statistique se repose sur la prise des décisions relatives aux résultats expérimentaux obtenus. Il se base sur nombreux calculs pour connaitre le risque d'erreur lié à l'incertitude des observations et des remarques ou des résultats obtenus. Il consiste ensuite à vérifier l'hypothèse maintenue statistiquement appelée hypothèse nulle, en fonction d'un enjeu de données et compatible à une problématique donnée.

Ces tests ont pour principaux objectifs, de préciser et caractériser le cadre exigeant de ces études, d'une part, et de confirmer si les différences existantes sont critiques et marquantes, selon un seuil déterminé ou non (significatives ou non significatives) d'autre part. Deux hypothèses H_0 et H_1 doivent être tenues en opposition pour tout test statistique :

- L'hypothèse nulle, figurée par H_0, est une hypothèse statistique qui montre qu'il n'y a pas de diversité parmi une valeur distinctive et un paramètre étudié, ou qu'il n'y a aucune différence entre les paramètres eux-mêmes.
- L'hypothèse alternative, indiquée par H_1, est une probabilité statistique qui dévoile la présence d'une différence parmi un paramètre et une valeur significative, ou assure qu'il y a une différence parmi les mêmes paramètres.

Selon la hiérarchie de grandeur de l'hypothèse critique suggérée, le test sera significatif, très significatif ou hautement significatif :

$1\% < \alpha < 5\%$: Différence significative, fréquemment représentée lors du traitement par (*)

0.1% < α < 1% : Différence t très significative, couramment figurée par (**)
0.01% < α < 0.1% : Différence hautement significative, souvent symbolisée par (***)
(Boukhoubza *et al*., 2008; Belhadj, 2017).

Ainsi, on distingue plusieurs types de tests statistiques qui sont classés selon leur finalité, le nombre et le type des variables d'intérêts, l'existence d'hypothèses sur les distributions des données et le mode de constitution des échantillons. Il s'agit des tests de normalité, de Student, de Fisher, de Khi-Deux, de l'analyse de la variance ANOVA et de corrélation.

- Le test de normalité est utilisé pour déterminer si les données sont complètement formalisées par une distribution normale et permet d'estimer la probabilité à propos de l'existence d'une variable incertaine sous-jacente à cette répartition normale (Fang *et al.,* 2017).
- Le test de Student consiste à comparer entre une moyenne « observée » et une valeur attendue (Boujelben *et al.,* 2017).
- Le test de Fisher est un test d'égalité de deux variances ; il permet de tester l'hypothèse nulle que deux lois normales ayant la même variance dans le cas où le test concerne des variances d'échantillons calculées sur des nombres différents d'individus. Dans ce test, le nombre d'échantillons est limité à deux (Boujelben *et al.,* 2017).
- Le test de Khi-Deux est principalement défini pour comparer entre deux distributions. Il peut être appliqué à des variables de nature qualitative (binaire, nominale, ordinales) ou quantitative regroupée en classe (Priac et al., 2017).
- L'analyse de variance (ANOVA) est un modèle statistique utilisé pour comparer les moyennes d'échantillons. Il est appliqué lorsque l'on mesure un ou plusieurs variables explicatives catégorielles, appelées facteurs de variabilité ou niveaux, qui ont une influence sur la loi d'une variable continue à expliquer. Elle est conditionnée par l'utilisation d'un paramètre qui suit une distribution normale, des variances de populations toutes égales et des échantillons prélevés aléatoirement et indépendamment dans les populations.
- Le test de corrélation est utilisé pour évaluer une association (dépendance) entre deux variables. Le calcul du coefficient de corrélation peut être effectué en utilisant différentes méthodes. Il existe la corrélation r de Pearson, la corrélation tau de Kendall et le coefficient de corrélation rho de Spearman. Pour réaliser un test de corrélation entre deux variables, il suffit d'indiquer en argument de

cette fonction, les noms des deux vecteurs contenant les observations, ainsi que la méthode choisie. Pour affiner le test, il faut préciser le type unilatéral ou bilatéral et le niveau de confiance. Ce test peut être vu comme un test appliqué à deux échantillons appariés dans la mesure où les variables considérées ont été observées sur la même population.

Un grand nombre de travaux ont prouvé l'intérêt de l'application du test de l'ANOVA sur le traitement de leurs données ou la validation de leurs résultats. Entre autres, nous citons:

En 2012, Melghit a étudié l'analyse de la variance ANOVA pour connaitre la qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau / Sédiments de l'Oued Rhumel, et des barrages Hammam Grouz et Béni Haroun à Constantine. Une autre étude similaire a appliqué l'ANOVA pour étudier l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques caractérisant la qualité des eaux de l'estuaire du Loukkos (EL Morhit *et al*., 2012).

En 2013, Kayalto Barnabas a exploité le test de l'ANOVA pour étudier la contamination en métaux lourds dans les eaux d'oued de lac Tchad et a dénoté une forte charge métallique surtout en chrome, cadmium et plomb.

En 2017, Taffouo et al. ont étudié le traitement statistique par ANOVA, pour connaitre l'impact des caractéristiques physico-chimiques des eaux sur la distribution du phytoplancton et des macrophytes de la rivière Nkam en Cameroun. Dans la même année, El Allaoui a étudié le degré et la nature de différents paramètres physico-chimiques et métalliques des effluents des sites estimés les plus pollués de la ville de Fès à travers le test statistique bi varié ANOVA. Elle avait pour but d'identifier les différences entre la qualité des eaux des sites étudiés durant la période d'étude.

Pour notre travail, nous avons déterminé la relation entre les différentes variables par le test de Student afin d'explorer statistiquement l'évolution de la qualité des eaux étudiées dans l'espace et dans le temps. La corrélation de Pearson a été exploitée pour évaluer la relation entre la distribution geospatiale de la qualité des eaux étudiées et celle des taux d'indices du diabète renforcée par des représentations cartographiques via le SIG.

VIII. Conclusion

A travers l'étude bibliographique menée sur l'état des lieux de la qualité des eaux de surface, nous constatons qu'il ya une conscientisation de toute population de pallier la problématique de la pollution de l'environnement et ses conséquences, notamment sur les milieux aquatiques. A cet effet, plusieurs travaux de recherche et d'efforts étatiques ont été réalisés à différentes échelles, internationale, nationale et régionale. On a montré que les diverses activités humaines et le développement industriel et agricole sont les premiers responsables. Face à ce constat, il faut renforcer les recherches et prendre davantage des mesures pour réduire voir limiter cet impact par une surveillance et un suivi de la qualité de ces milieux.

Par ailleurs, la littérature souligne aussi l'importance des techniques d'évaluation de la qualité des eaux dans l'espace et dans le temps ; à savoir : le système d'évaluation de qualité des eaux SEQ, les outils statistiques pour comparer et corréler entre les résultats, et définir les facteurs principaux d'une éventuelle dégradation, et le système d'information géographique SIG. Cette outil a pour objectif de présenter les résultats sous forme des cartographies rassemblant aussi bien les éléments identifiées critiques et dominants que le taux de prévalence de la maladie étudiée d'une part. La plupart des travaux ont suggéré que la méthode de la coagulation-floculation convient bien au traitement des grands débits. En effet, toute méthode de traitement des eaux dépend de leur débit, type et charge polluante, de l'objectif de traitement et de son coût.

Chapitre II : Méthodologies expérimentales

I. Introduction

Ce chapitre expose le matériel et les méthodes mis en œuvre pour :

- Définir la zone d'étude et les points de prélèvement ;
- identifier les polluants des eaux de surface de la ville de Fès, suivre l'évolution de leur qualité en fonction du temps et de l'espace afin de déduire les causes responsables à leur pollution ;
- traiter les eaux identifiées les plus polluées.

Par la suite, nous allons donner un aperçu sur le SEQ et mentionner les paramètres utilisés pour l'analyse informatique des données et des résultats (SIG, ANOVA).

II. Zone d'étude

La délimitation de la zone d'étude a eu lieu après plusieurs réunions entre l'équipe de recherche du laboratoire LIEME et les responsables du département d'exploitation des Eaux et d'Assainissement à la Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Électricité de Fès (RADEEF). Pour cela, nous avons réalisé un diagnostic approfondi, sur les différents arrondissements et communes de la ville de Fès en concertation avec les autorités locales et les acteurs concernés, à savoir : la chambre de commerce, d'industrie et de services (CCISF), l'Agence du Bassin Hydraulique Sebou (ABHSF), l'Agence Urbaine de Sauvegarde de Fès (AUSF), le département d'exploitation des Eaux et Assainissement à la RADEEF, le Haut Commissariat au Plan (HCP), la Station d'Épuration des Eaux Usées (RADEEF-Waterleau), l'Office Nationale de l'Eau et de l'Électricité (ONEE), les centres de santé et quelques services de santé que nous allons citer dans le chapitre 3 de la partie II, etc. Ce diagnostic nous a permis d'une part, d'identifier les activités de toutes les zones industrielles de la ville de Fès ; et d'autre part, de délimiter les zones les plus polluantes. Ceci étant pour connaitre l'impact de la pollution identifiée sur la qualité des oueds avoisinant le récepteur des rejets industriels non traités au préalable, et sur la santé de la population consommatrice en termes de maladies endocriniennes.

Le choix des zones les plus polluées de la ville de Fès s'est reposé principalement sur la localisation géographique ; de manière à associer et lier le maximum des divergents apports anthropiques (industries, densité de population, agriculture et rejets des déchets…). L'objectif

était de remonter aux différentes corrélations entre les polluants chimiques identifiés, la contamination de l'environnement et la survenue ou l'apparition de certaines pathologies d'origine endocriniennes (cas du diabète).

III. Méthodes d'échantillonnage et d'analyses physico-chimiques et bactériologiques

III.1.Echantillonnage

Dans l'optique de réaliser une évaluation spatio-temporelle de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de surface, des zones cibles de la ville de Fès; nous avons procédé à un échantillonnage composite spatial et indépendant des sites que nous avons défini par le diagnostic.

L'échantillonnage composite est une technique qui consiste à mélanger des échantillons ponctuels prélevés, à volumes égaux ou pondérés en trois points ou plus. Les points de prélèvement doivent être répartis également sur la longueur de la zone à caractériser selon le profil transversal du cours d'eau de la zone en question (Gay, 2006 ; Dennis & Oullet, 2013). Ceci a été réalisé sur la base de l'Arrêté définissant la grille de qualité des eaux de surface (BO, 2016) exigeant ainsi ce type d'échantillonnage.

Les prélèvements ont été effectués dans des conditions hydrologiques stables une fois par mois, entre la fin de l'année 2016 et durant l'année 2017 pour tous les sites d'échantillonnage afin de qualifier et quantifier leur pollution ;

- Six campagnes de prélèvement mensuel de chaque site ont eu lieu du 09/10/2016 au 09/03/2017 pour identifier les oueds les plus pollués.
- Douze campagnes de prélèvement mensuel ont été faites pour les oueds identifiés ; du 03/01/2017 au 03/01/2018.

Tous les échantillons ont été prélevés, transportés, étiquetés et conservés selon les normes AFNOR édictées par Rodier (Rodier, 2009).

III.2. Description des techniques analytiques

III.2.1. Paramètres physicochimiques

Les paramètres physiques (Température, pH, Conductivité électrique, Oxygène dissous) ont été analysés in situ les sites de prélèvement via une mallette multisonde paramétriques HI 9829. Les paramètres chimiques analysés sont : la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biologique en Oxygène (DBO_5), l'Azote Total Kjeldhal (NTK), le phosphore total (P_t), les nitrates (NO_3^-) et les éléments traces métalliques (Arsenic (As), Chrome (Cr), Plomb (Pb), Zinc (Zn), Cadmium (Cd), Nickel (Ni). Ces derniers ont été analysés à la Cité de l'Innovation de l'Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Fès. Toutes les analyses ont été effectuées selon les normes AFNOR édictées par Rodier (Rodier, 2009) et ont été répétées trois fois pour assurer la fiabilité des résultats. Le tableau 1 regroupe toutes les méthodes standardisées d'analyses utilisées durant cette étude.

Tableau 1: Méthodes d'analyses des différents paramètres (Rodier, 2009)

Paramètres physico-chimiques	**Méthode / Appareillage**	**Unité**
Conductivité	Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	$\mu s.cm^{-2}$
pH	pH Type Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	_____
Température	Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	° C
Oxygène dissous	Oxymètre Type Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	mg d'$O_2.L^{-1}$
Turbidité	Turbidimètre Type HACH-Modèle 2100P (en retour)	NTU
DCO	NF T90-101/ Oxydation de la matière organique par le bichromate de potassium, oxydant fort/ Distillateur "PRO-NITRO M", "PRO-NITRO S" Semi-automatique et "PRO-NITRO A" Automatique	mg d'$O_2.L^{-1}$
DBO_5	NF EN 1899 par le Système Velp capteur de pression 6D gamme PV2000.	mg d'$O_2.L^{-1}$
Phosphore Total (P_t)	NF 11 885, Analyse par Spectrométrie d'émission atomique Couplée à un Plasma Induit (ICP AES) Ultima 2 – JobinYvon, après minéralisation des échantillons d'eau à analyser	$mg.L^{-1}$
Nitrates (NO_3^-)	NFT 90-040, Méthode spectrométrique UV- visible au	$mg.L^{-1}$

	salicylate de sodium	
Ammonium (NH_4^+)	Dosage par la méthode colorimétrique avec le salicylate / spectromètre UV- visible automatique NF EN ISO 15587-2/ NF EN ISO 11885.	$mg.L^{-1}$
Azote Kjeldahl (NTK)	Méthode après minéralisation au sélénium pour transformer l'azote organique en ammonium indice de classement T90110. Distillateur Kjeldhal"PRO-NITRO, Dosage de l'azote Kjeldhal 4002430.	$mg.L^{-1}$
Analyse des métaux (As, Zn, Cr, Ni, Pb, Cd)	NF 11 885 / Analyse par Spectrométrie d'émission atomique Couplée à un Plasma Induit (ICP AES) Ultima 2 – JobinYvon, après minéralisation des échantillons d'eau à analyser dans l'eau régale	$mg.\ L^{-1}$

III.3.2. Paramètres bactériologiques

Les analyses bactériologiques ont été réalisées le même jour des prélèvements par mesure des coliformes fécaux (CF) indicatrices de la contamination d'origine fécale ; selon la grille de qualité marocaine globale des eaux de surfaces (BO, 2016). La méthode appliquée est celle du Nombre le Plus Probable NPP à 3 tubes par dilution, en utilisant des tableaux statistiques spéciaux (Mac Crady).

IV. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface (SEQ-Eau)

L'approche de système d'évaluation de la qualité des eaux est surtout conçue pour, d'une part, déterminer la qualité globale de l'eau, et d'autre part, identifier les divers types de dégradation de la qualité de l'eau. C'est un outil fondé sur la notion de l'Indice de Qualité Pondéré (IQP) et sur l'Indice d'Altération (IA) qui sont calculés pour chaque type d'altération et pour chaque zone d'étude. Chaque altération regroupe un nombre de paramètres. Les paramètres de même nature ou de même effet sur l'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages sont regroupés en 16 altérations de la qualité de l'eau. Parmi lesquelles, figurent : les matières organiques et oxydables, les matières azotées, les matières phosphatées, les éléments traces métalliques, les détergents,…

Le SEQ est constitué de trois outils sur la base des paramètres qui composent les altérations :

1- Classes d'aptitude de l'eau aux usages et à la qualité de l'eau,

2- Classes et indices d'aptitudes à la biologie,

3- Classes et indices d'altération qui rangent la qualité de l'eau en excellente, bonne moyenne, mauvaise ou très mauvaise (Tableau2).

Tableau 2: Classes de qualité des eaux par indice d'altération

Classe de qualité	Excellente		Bonne		Moyenne		Mauvaise		Très mauvaise	
Indice	100	80	80	60	60	40	40	20	20	0

La démarche comprend quatre étapes : la définition des altérations, l'identification de l'indice pondéré de chaque paramètre **(IPpa)**, le calcul de l'indice pondéré pour chaque altération et enfin l'indice pondéré de qualité globale **(IPQG).** Ainsi, nous avons considéré dix altérations à partir des paramètres les plus recommandés (SEEE, 2008):

Les 10 altérations ; concernant la température, l'acidification, évaluée par le paramètre pH, les matières organiques et oxydables composés de l'oxygène dissous, de la DBO_5, de la DCO et les ions ammonium, les matières azotées présentées par l'azote Kjeldahl (NTK), la minéralisation estimée par la conductivité électrique, les particules en suspension qualifiées par la turbidité, les microorganismes représentés par les coliformes fécaux (CF), et les éléments trace métalliques regroupant 6 métaux Cd, Cr, As, Zn, Pb, Ni **(SEEE, 2008)** (Annexe1).

La qualité de l'eau est évaluée en raison de différents types de pollution qui sont caractérisés par des groupes de paramètres de même nature. Les valeurs des paramètres ont été obtenues par des prélèvements réalisées sur les cinq oueds étudiés. L'indice d'un paramètre est calculé par pondération ainsi que l'indice d'une altération est calculé par la moyenne des valeurs pondérées des paramètres caractérisant «une altération ». Chaque classe de qualité est définie par un ensemble de valeurs seuils que les paramètres des différentes altérations ne doivent pas dépasser.

Il faut signaler que l'Indice pondéré de Qualité globale IPQG de chaque site d'eau étudiée est défini en choisissant l'indice d'altération le plus bas, obtenu sur l'ensemble des altérations considérées. Après, nous avons concordé à cet indice la classe de qualité convenable dans la grille d'évaluation de la qualité globale des eaux superficielles (Annexe 1).

Le calcul de l'indice pondéré est appuyé sur la distribution d'un poids fluctuant entre 0 et 100, aux divers paramètres physicochimiques, bactériologiques et métalliques analysés selon leur priorité dans la pollution de l'eau (Equation 1) (SEEE, 2008).

$$\mathbf{IPpa = Ii + [(Is - Ii) / (bs - bi)] \times (bs - pa)} \quad \text{(Equation 1)}$$

– Ii : Indice inférieur

– Is : Indice supérieur

– bi : Borne inférieure

– bs : Borne supérieure

– pa : Paramètre analysé

Dans notre étude, nous avons établi une approche basée sur le couplage de l'outil SIG avec le système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-eau) au niveau des eaux de surface de la ville de Fès. Ce couplage va nous permettre de faciliter la collecte, la saisie et le contrôle des données, les résultats d'analyses spatiales ainsi que les représentations cartographiques sous forme de cartes thématiques précisant les différentes classes de la dégradation de la qualité des eaux superficielles de la ville de Fès.

V. Méthodes d'analyses informatiques

V.1. Système d'Information Géographique

Afin d'élaborer les cartes de qualité pour chaque paramètre étudié et la carte de qualité globale, nous avons représenté les résultats de l'évaluation spatiotemporelle des eaux de surface sous formes des cartes thématiques du SIG, qui va nous permettre de visualiser et répartir géographiquement les principales (acidification, matières organiques et oxydables, microorganismes, éléments traces métalliques, etc.), ainsi que le taux de prévalence de diabète sur les sites de prélèvement).

L'exploitation des résultats et des données recensées nécessite un rassemblement des coordonnées géographiques avec les différentes analyses effectuées dans un tableau Excel. Il s'agit des calculs d'indices d'altérations et de pondération, de la densité populaire et des taux de prévalence). Ce tableau est transformé ensuite en fichier CSV lisible par le logiciel QGIS 2.8 afin de réaliser des cartes thématiques et avoir une répartition spatio-temporelle de la qualité des eaux analysées et une répartition de la prévalence de diabète.

Dans le domaine de SIG, nous avons utilisé le GPS de l'application Google MAPS pour localiser les points de l'étude dans un espace. Dans le système cartésien, l'unité utilisée est le kilomètre (km) ou le mètre (m). Dans le domaine de système de coordonnées géographiques, l'unité est DMS (Degrés, Minute, Seconde). L'utilisation de l'outil SIG demande la conversion du DMS vers le degré décimal DD, dont la longitude est toujours négative. À titre d'exemple :

Les coordonnées géographiques de la ville de Fès en DMS sont :

Latitude 34°02’13’’ N et longitude 4° 59’59’’ O

[34 + (02/60) + (13/3600)], c’est : 34,0 369 ; tandis que la longitude vaut [(4 + (59/60) + (59/3600)], Donc : -04,99972 en degré décimal.

Finalement, les données géo référencées ont été superposées sur un fond cartographique de Google-Maps pour obtenir des cartes thématiques que nous avons analysés et interprétées pour répondre à notre objectif.

V.2.Analyse de la variance ANOVA

Pour comparer, entre les paramètres relatifs aux sites étudiés et l’égalité des moyennes de chaque variable considérée, utilisées en exploitant le logiciel IBM- SPSS (Version 20, SPSS Inc.) et Microsoft Excel Software, nous avons employé un test d’analyse de la variance à deux facteurs de classification modèle fixe (Équation 2).

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - x)^2}{N} \qquad \text{Équation 2}$$

Avec :

$\sum(x_i - x)^2$: Somme des écarts types relativement à la moyenne;

N : degré de liberté.

Les variables dépendantes ou expliquées sont celles des 10 altérations de la qualité des eaux.

Ce test a été effectué à l’aide du logiciel (IBM — SPSS Version 20, SPSS Inc).

VI. Traitement des eaux de surface étudiées par coagulation-floculation

Les eaux usées traitées par coagulation-floculation sont celles entrant à l’amont des oueds identifiés les plus pollués. Le traitement a eu lieu dans un Jar-test type *VELP SCIENTIFICA(JLT6)* par le Sulfate d’Aluminium comme coagulant et le Praestol comme floculant. Le Jar-test est composé de 6 réacteurs de capacité d’un litre chacun dans lesquels, nous avons:

- introduit 800 mL d’effluent de surface décantée,
- ajusté le pH de la solution par addition de l’acide chlorhydrique HCl (0,01 M) ou la soude NaOH (0,01 M),
- ajouté une dose de coagulant (Sulfate d’aluminium ($Al_2\ (SO_4^-)_3,18\ H_2O$)) sous agitation rapide pendant quelques minutes,

- ajouté une dose de floculant à base d'acrylamide (Praestol 2540 ($C_{12}H_{24}ClN_3O_2$)) sous agitation lente jusqu'à obtention des flocs apparents,
- décanté le mélange pendant 20 minutes puis filtré le filtrat a été récupéré pour l'analyse.

Lors du traitement par coagulation-floculation, 6 paramètres ont été optimisés au pH ajusté : la dose du coagulant (0,10 – 0,25 $g.L^{-1}$), la dose du floculant (0.5 - 2 $mg.L^{-1}$), le temps de coagulation (1-7 min), le temps de floculation (15-30 min), la vitesse de coagulation (100-250 $tr.min^{-1}$) et la vitesse de floculation (15-30 $tr.min^{-1}$). Après optimisation de chaque paramètre, nous l'avons fixé à sa valeur optimale lors de l'optimisation d'un autre paramètre.

L'évaluation de l'efficacité de traitement a eu lieu par le suivi de quatre éléments traces métalliques en fonction du temps : le chrome, l'arsenic, le plomb et le cadmium ; indicateurs des perturbateurs endocriniens.

VII. Conclusion

Les matériaux et méthodes présentés dans ce chapitre nous ont permis d'étudier les conditions expérimentales et les techniques relatives à l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface SEQ-Eau de la ville de Fès, en utilisant les logiciels SIG.10 ; SPSS .20, ainsi que la méthode physico-chimique de leur traitement.

Chapitre III : Etat des lieux de la pollution des eaux de surface traversant la ville de Fès

I. Introduction

La ville de Fès est connue par une dynamique agricole et industrielle : tanneries, dinanderies, poteries, huileries, textiles, industries chimiques et industries des denrées alimentaires,… avec une large utilisation des pesticides et des produits chimiques toxiques (Cr, Ni, Pb, Cd, As, Zn, CN-, S^{2}-…) et aussi de la consommation excessive d'eau. Les eaux usées générées par la plupart des dites activités dans les cours d'eau sans traitement au préalable. Ceci génère une charge polluante importante des eaux de surface et cause un impact direct sur la santé et l'environnement du fait de leurs exploitations par la population avoisinante.

Ce chapitre présente les résultats du diagnostic, informations et données recensées en rapport avec les facteurs de risque des maladies endocriniennes et de la dégradation de la qualité des eaux de surface.

Dans un premier temps, il présente les oueds traversant la ville de Fès. Dans un deuxième temps, il rapporte les activités industrielles et agricoles exploitant les eaux des oueds et rejetant leur effluent sans traitement par zone. Dans un troisième temps, il relate le système du réseau d'assainissement de la ville de Fès. En dernier lieu, il précise les sites de prélèvements des échantillons d'eaux à étudier.

II.. Principaux oueds traversant la ville de Fès

La ville de Fès est située à la région de Fès_Meknès dans la moitié septentrionale du Maroc (DRHCPF, 2017) entre le 4°54'40" et 5°04'00" de longitude Ouest, et le 33°59'00" et 34°05'00" de latitude Nord, à l'extrémité orientale du bassin de Saïs qui lui-même fait partie du Sillon Sud-Rifain. Elle est limitée au Nord par les rides prérifaines (Jalouni, 2015).

Elle se caractérise par une hydrologie basée principalement sur Oued Fès, elle est traversée par un important réseau hydrographique qui prend naissance à partir du massif de kandar et qui coule suivant une direction générale Nord-Sud (Fahd & El Rhaffouli, 2016). La plupart des oueds qui constituent ce réseau, sont soutenus par des sources éternelles telles que: Ain Smen, Ain chkef, Ain Amier et Ain cheggag. Tous ces affluents convergent vers la vallée de l'oued Fès qui constitue ainsi le collecteur principal acheminant les eaux des deux bassins versants, qui intercalent la ville de Fès vers l'oued Sebou (Fahd & El Rhaffouli, 2016).

Les principaux oueds traversant la ville de Fès sont :

Oued Fès (879,37 km^2) se situe entre les parallèles 33°30 et 34°08 N et entre les méridiens 4°54 et 5°09 W (Figure 1). Il est composé de plusieurs sous-bassins de tailles et géomorphologies différentes : oued Boufekrane (52,40 km^2), oued El Mehraz (52,40 km^2), oued El Himmer (80,74 km^2), oued Chkou (428,08 km^2) et oued El Malleh, à l'aval du bassin versant (34,03 km^2) (Reynard et al., 2011). En outre, il se conflue à l'Est de la ville avec l'Oued Sebou, représentant ainsi 2,5 % de la superficie du bassin versant de cet oued (Perrin,2014). Il prend naissance à la source de Ras El Ma et collecte les eaux de plusieurs sources dans son cours en amont et en aval. Il draine la nappe jusqu'à sa sortie de la plaine de Saïs et reçoit suivant les saisons soit la totalité, soit l'excédent d'irrigation des eaux des autres oueds comme Bourkaïz, Ain Smen, Ain Chkef, il reçoit également des émergences et sources qui améliorent son débit (Reynard et al., 2011). L'oued Fès est considéré comme étant le principal polluant de l'oued Sebou et cause des impacts environnementaux très néfastes (Reynard et al., 2011) (Figure 1).

- Oued Mahraz couvre une surface de 137 km^2 et une longueur d'environ 34 m. Il est limité à l'Est par le bassin versant de Boufekrane et à l'Ouest par le Bassin de l'oued El Himmer. Il se situe entre Moulay Arafa et Dhar El Mahraz. Toutefois, l'écoulement de l'oued El Mehraz est périodiquement alimenté par des sources temporaires, elles-mêmes alimentées par quelques résurgences de la nappe superficielle.
- Oued Boufekrane : La superficie de son bassin versant est de 49 km^2 avec une pente globale qui est de 3.9 %. Il prend naissance à la source El Kanntra. De plus, il rejoint l'oued Fès à l'entrée de la médina avec un écoulement simple.
- Oued El Himmer : La superficie du bassin versant de l'oued El Himmer est de 71 km^2. Il est limité à l'Est par le bassin de l'oued El Mehraz et à l'Ouest par le Bassin de l'oued Chkou. Il rejoint la rive droite de l'oued Fès en amont; bien qu'il soit le plus souvent sans débit, il joue un rôle important dans l'alimentation de l'oued Fès en période des pluies.
- Ain Chkef : Il s'agit d'une source située dans la plaine du Saïs qui alimente Oued Ain Chkef. Cet oued rejoint également la rive droite de l'oued Fès en amont.
- Oued Chkou couvre une surface de 428 km^2 et draine le plus grand sous-bassin de l'oued Fès. Il coule sur une longueur d'environ 68 km et s'enchaîne à deux reprises à partir des sources artésiennes du plateau de Saïs (Ain Chgag et Ain Smen).

- Oued El Malleh couvre une surface de 34,03 km^2. Il draine la zone marneuse des rides pré rifaines, avant de rejoindre l'oued Fès aval.

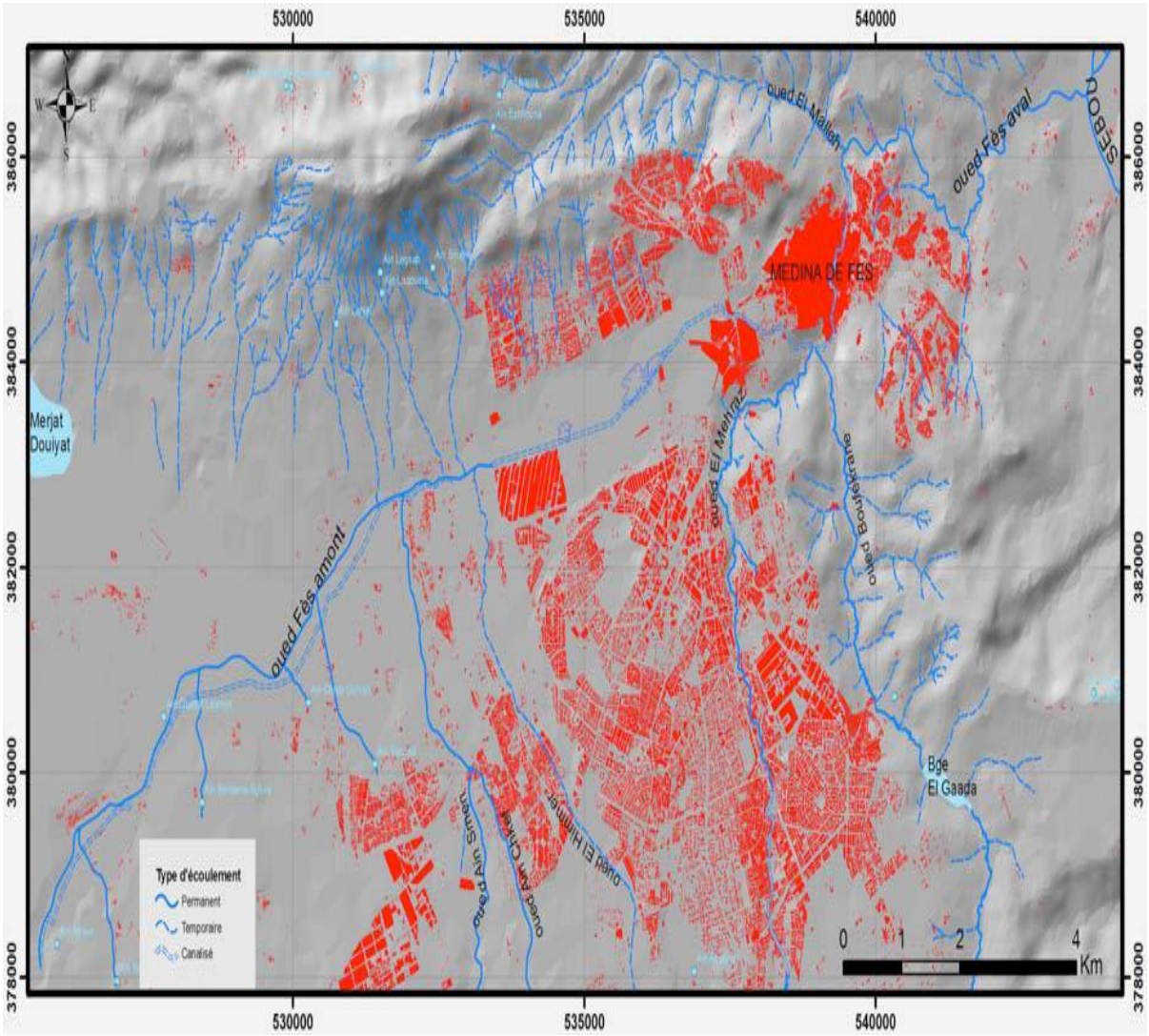


Figure 1: Oued Fès et ses affluents (Reynard et al., 2011)

L'Oued Sebou s'étend sur plus de 600 km depuis sa source dans le Moyen Atlas jusqu'à l'océan Atlantique. Son bassin versant, s'étend sur environ de 40 000 km^2 (Hayzoun Hanan, 2014) . Il prend sa source sous l'appellation d'oued Guigou dans le Moyen Atlas à 2030 m d'altitude, qui sillonne une longueur d'environ 500 km avant d'atteindre son exutoire dans l'océan atlantique à Mehdia (province de Kénitra). Ce cours d'eau draine un important bassin versant d'une superficie de 40 000 km^2 environ. Le long de son parcours, l'oued Sebou intercepte plusieurs affluents les plus importants sont Ouergha dans le rif, Inaouène et Lebene dans le couloir de Taza au contact rif et du Moyen Atlas ainsi que les oueds Beht et Rdom dans le plateau central (Fahd & El Rhaffouli, 2016). Il a apparu clairement que jusqu'à présent, plusieurs facteurs ont un impact d'accroître de façon colossale les évacuations des

eaux usées dans Oued Sebou ; ce qui augmente sa charge et fût parmi les causes de disparition de plusieurs espèces aquatiques et l'augmentation du taux de certaines maladies chez la population consommatrice.

III. Etat des lieux des eaux de surface traversant la ville de Fès

III.1. Identification des industries avoisinantes les eaux de surface de la ville de Fès

Les résultats du diagnostic et le recensement des données des différents organismes et centres de santé révèlent que la préfecture de Fès regroupe cinq principales zones industrielles (Figure 2) d'activités variables et différentes : Ain Nokbi, Dokkarat, Bensouda, Sidi Boujida et Sidi Brahim qui rassemblent plusieurs types d'industries : l'agroalimentaire (boissons, huileries, levureries, transformations et conserves, minoterie …), sucreries, Papeteries, tanneries, textile, dinanderies…, auxquelles se joignent les différentes activités artisanales (poteries, céramiques, ferronneries, brasseries, teintureries,…).

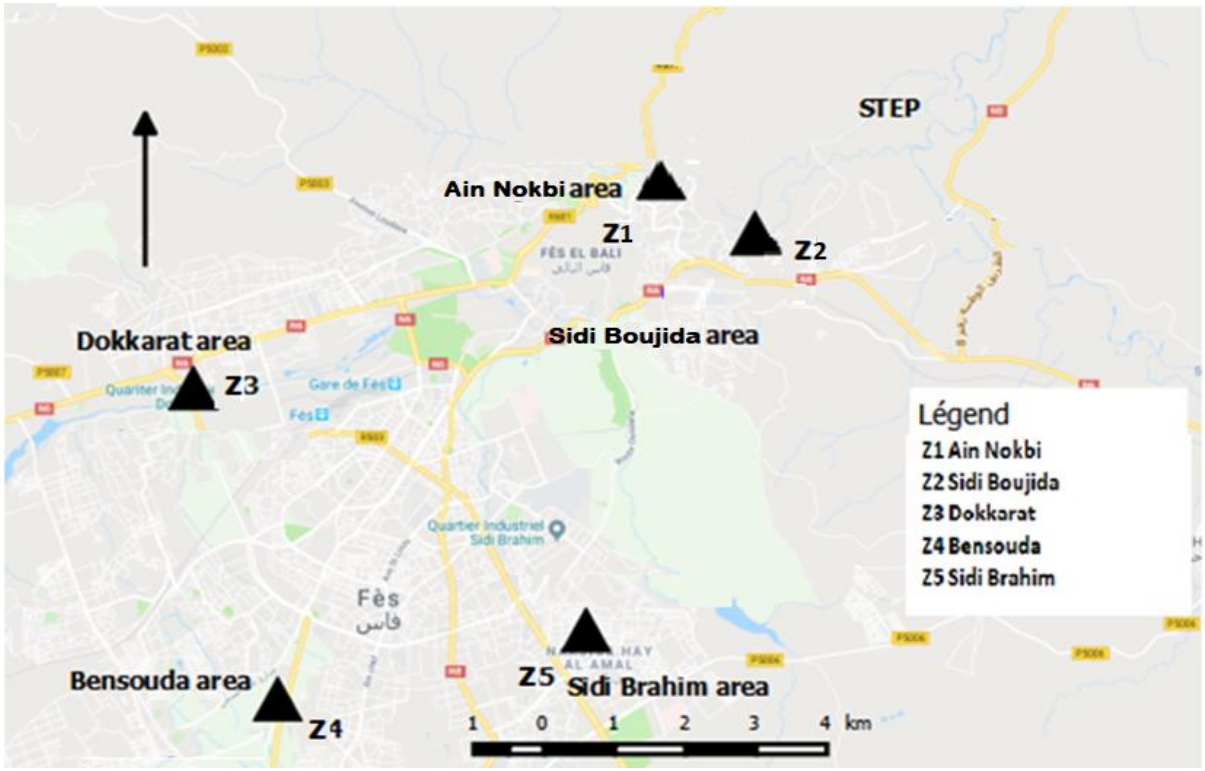


Figure 2: Représentation géographique des cinq zones de la ville de Fès

La répartition dans l'espace des données recensées sur la majorité des industries, définies comme problématique à cause de la grande charge polluante de leurs effluents est représentée dans la carte de la figure 3. Cette carte montre que les tanneries se trouvent dans quatre

quartiers: Dokkarat, Ain Nokbi, Sidi Brahim et Bensouda. Leurs effluents sont chargés en produits dégradables toxiques (protéines, graisses) et espèces chimiques non biodégradables, principalement le chrome et le sulfure (Omor et al., 2017). Les eaux usées issues des rejets des tanneries du quartier Ain Nokbi sont évacuées directement à l'Oued Sebou (El Allaoui, 2018).

Pour les dinanderies, elles sont installées dans le quartier industriel Ain Nokbi et dans la médina de Fès. Leurs rejets contiennent surtout le Nickel, le chrome, le cuivre et les cyanure,…(Bouftini, 2015 ; CCIS, 2017).

Les huileries sont localisées dans les quartiers Bensouda, Dokkarat et Sidi Brahim. Elles génèrent une pollution organique provenant principalement des margines chargées en polyphénols peu dégradables et en sels minéraux, matières organiques et éléments nutritifs ainsi qu'en substances chimiques toxiques. Leurs rejets dans les rivières emportent une chute de l'oxygène dissous, ce qui contribue à la destruction de la faune et la flore aquatique (CCIS, 2017).

Les textiles sont pareillement considérés comme des activités industrielles polluantes en premier degré en raison de leurs effluents toxiques contenant des tensioactifs, des colorants, des métaux et divers polluants organiques (CCIS, 2017).

Les industries métalliques et métallurgiques ainsi que les industries de chimie et parachimie sont installées surtout dans Ain Nokbi, Dokkarat, Bensouda et sidi Brahim. Leurs effluents sont riches en substances chimiques toxiques, principalement en éléments métalliques (CCIS, 2017).

Ces rejets industriels auxquels s'ajoutent les rejets domestiques sont variés et renferment une charge polluante toxique et énorme. La chose qui menace le disfonctionnement de la STEP et le système d'assainissement liquide de la ville.

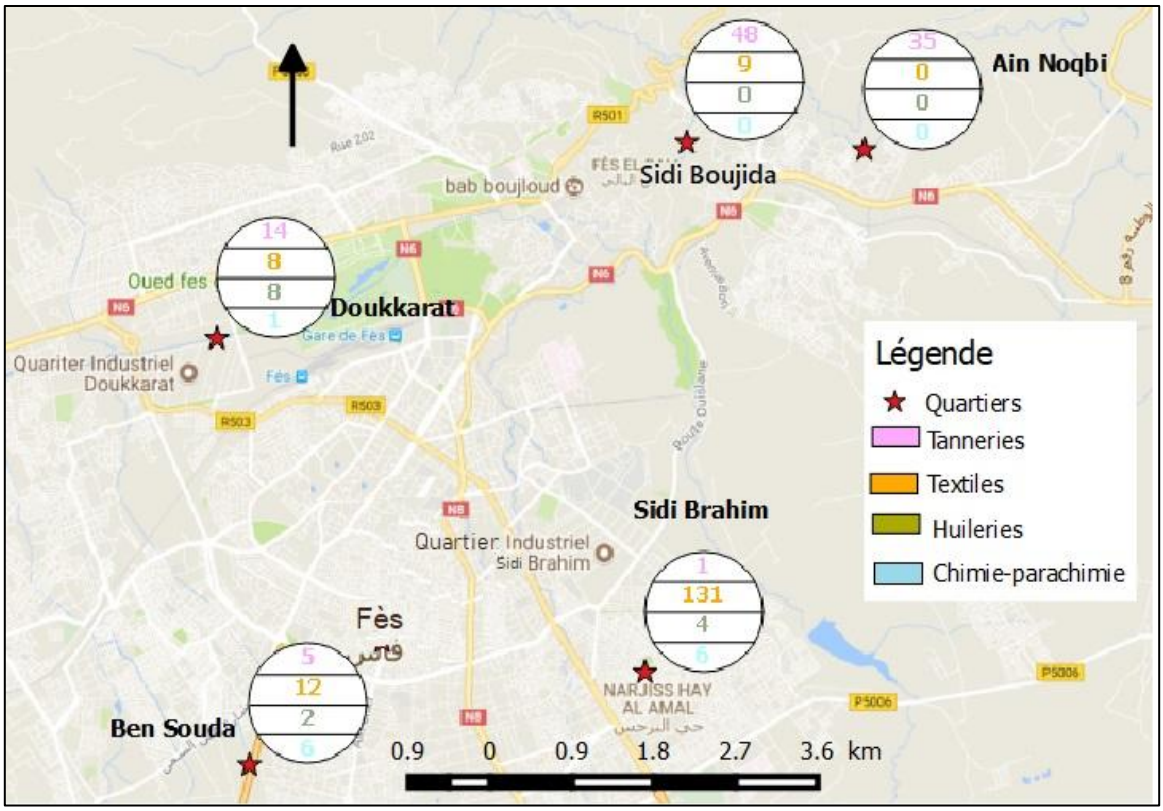


Figure 3: Répartition géospatiale des principales industries au niveau de la ville de Fès en 2017 (CCIS, 2017)

III.2. Description des activités agricoles exploitant les eaux de surface de la ville Fès

Des travaux antérieurs ont montré que les eaux de surface de la ville de Fès portent une charge en nitrates suite à l'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumiers, associés aux cultures et à l'élevage intensifs (Ouedghiri et al., 2014).

Les zones agricoles avoisinant la ville de Fès sont : Ain Nokbi (Jnanates), Bensouda, Zouagha, Sidi Boujida, El Merja, Ras Lma… Ces dernières desservent certaines cultures, notamment les maraîchères, les légumineuses et les céréales irriguées par les eaux usées domestiques ou industrielles. Les légumes arrosés par les eaux sont consommés à l'état cru par la population des zones Ain Nokbi, Zouagha et Fès Médina (Sidi Boujida) (Bouchouata et al., 2011; Lalami et al., 2014 ; Bouftini, 2015). De même, la zone El Merja utilise les eaux d'oued Fès pour l'irrigation (photos des figures 4 et 5).



Figure 4: Zones agricoles El Merja, Jnanates et Sidi Boujida de la ville de Fès



Figure 5: Oued Fès traversant la zone El Merja

Les résultats du diagnostic révèlent que la population urbaine et les riverains exploitent les eaux des oueds dans la majorité de leurs activités, principalement pour l'irrigation des cultures maraîchères, céréalières et des légumineuses, l'élevage des ovins et des bovins, le lavage des voitures, la baignade, l'abreuvage des animaux, etc. (Figure 6).



Figure 6: Autres usages des eaux de surface étudiées par la population de la ville de Fès (photos prises réelles lors du diagnostic)

III.3. Présentation du réseau d'assainissement liquide de la ville de Fès

Le système d'assainissement actuel de la ville de Fès est constitué d'un réseau unitaire conçu au fur et à mesure du développement de la ville, souvent vétuste, notamment à l'intérieur de la Médina. La Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Electricité de Fès (RADEEF) assure la gestion du réseau d'assainissement de la ville de Fès avec un taux de raccordement de 99 %. Il est composé de 2493 km de collecteurs. Les collecteurs existant jettent les eaux usées dans les nombreux Oueds qui traversent la ville. Certains sont devenus des égouts à ciel ouvert. L'exutoire final de l'ensemble des eaux usées est Oued Fès qui s'achemine vers Oued Sebou (Figure 7).

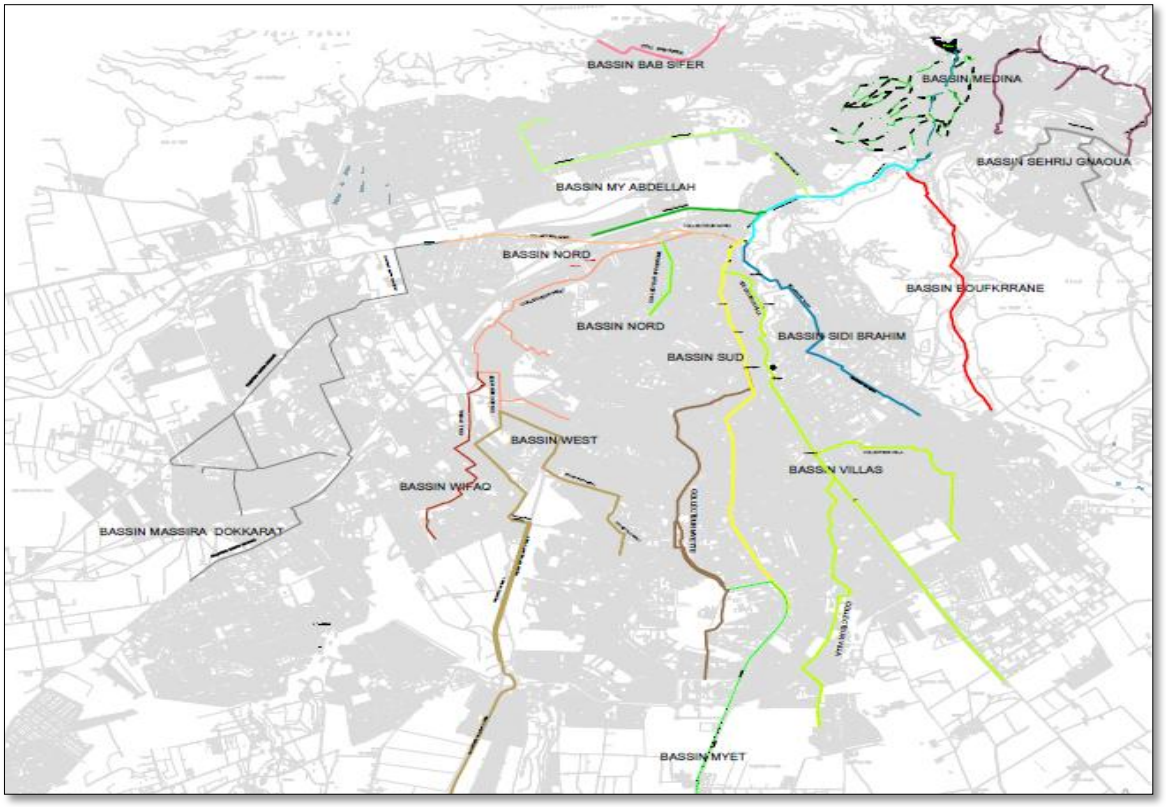


Figure 7: Réseau d'assainissement de la ville de Fès et bassins versants (RADEEF, 2017)

À l'heure actuelle, toutes les eaux usées de la ville se regroupent au moyen du collecteur d'extension pour le pompage de l'amont de la ville moyennant la station de pompage, vers la zone Ain Nokbi où se situe la STEP (Figure 8). A travers les observations prises sur le terrain, nous avons constaté que les eaux usées épurées sont déversées dans l'Oued Tghat avant la jonction Sebou-Fès. De ce fait, L'exutoire final de l'ensemble des eaux usées épurées est Oued Sebou, en aval du confluent Sebou-Fès.

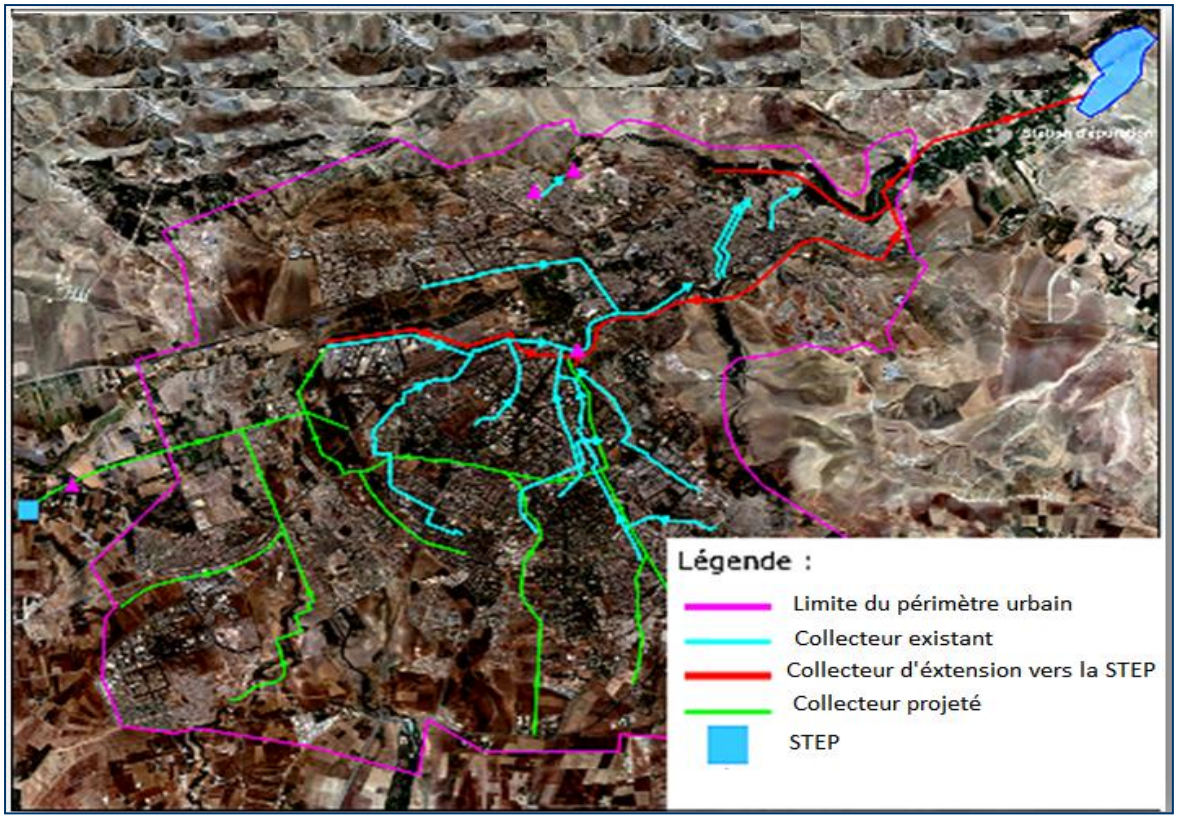


Figure 8: Réseau principal d'assainissement liquide de la ville de Fès, extension vers la STEP (ASUF, 2017)

En effet, ce réseau est composé de quatorze bassins versants dans lesquels les eaux usées et pluviales sont véhiculées vers l'Est-Nord de la ville. Ces bassins sont illustrés dans la figure 7. En outre, en 2018, El Allaoui et al. ont noté que quelques collecteurs d'eaux usées de la ville de Fès rejettent ces eaux dans les oueds qui traversent la ville. Certains sont devenus des égouts à ciel ouvert.

III. Sites de prélèvement

Les données recensées des différents organismes suscités, nous ont permis d'identifier cinq sites d'eaux de surface de la ville, estimés les plus pollués, et les plus inquiétants, en raison de leur emplacement dans les principales zones industrielles et à proximité des zones agricoles de la ville. Ces zones existent aux arrondissements : Jnan El Ward et Fès Médina, Agdal, Zouagha et Saiss appartenant respectivement aux quartiers : Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim, et sont traversées respectivement par les oueds: Tghat, Zhoun, Fès en amont, Ain Smen et Lmahraz qui sont reportés graphiquement par le Système d'Information Géographique SIG dans la carte de la figure 9.

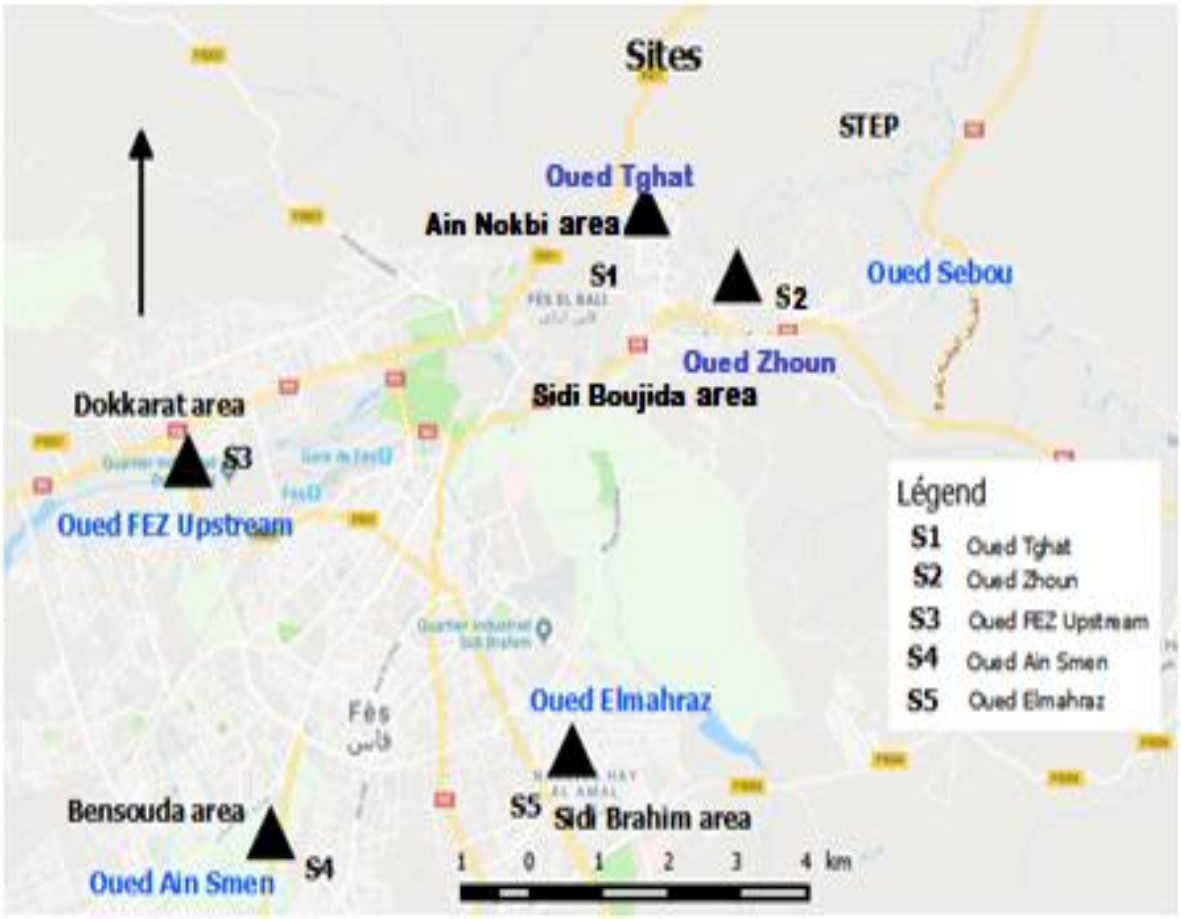


Figure 9: Répartition spatiale des oueds à proximité des zones industrielles de la ville de Fès par SIG

* S1 : Oued Tghat situé dans la zone Ain Nokbi de l'arrondissement Jnane El Ward.

* S2 : Oued Zhoun repéré dans la zone Sidi Boujida de l'arrondissement Fès Médina.

* S3 : Amont Oued Fès localisé dans la zone Dokkarat de l'arrondissement Agdal.

* S4 : Oued Ain Smen existe dans la zone Bensouda de l'arrondissement Zouagha.

* S5 : Oued Lmahraz : limité dans la zone Sidi Brahim de l'arrondissement Saiss.

Les cinq points de prélèvements sont rassemblés dans la figure 10.



Figure 10: Photos des cinq sites d'échantillonnage de la ville de Fès (Photos prises au moment du prélèvement)

Le choix des sites a été reposé essentiellement d'une part, sur leur localité géographique au voisinage des divers facteurs anthropiques (industries, agriculture, réseau d'assainissement, et rejets des ordures…).

Les prélèvements d'échantillons d'eaux ont eu lieu des cinq sites susmentionnés à raison d'un prélèvement par mois pendant 6 mois. Cette étude nous a servi d'identifier les oueds les plus chargés en polluants qui sont en nombre de deux. Leur qualité temporelle a été suivi pendant une année.

La caractérisation physico-chimique, bactériologique, et métallique des eaux de surface des cinq sites suscités nous a permis de connaitre les sites les plus pollués qui ont nécessité un suivi spatiotemporel de leur qualité durant toute l'année de 2017, en se basant sur le couplage des techniques du Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau (SEQ-Eau), d'Information Géographique (SIG) et de l'analyse statistique ANOVA.

IV. Conclusion

Le diagnostic établi sur l'état des lieux des oueds de la ville de Fès a montré que:

- le réseau d'assainissement des eaux usées de la ville de Fès est unitaire et l'exutoire final est Oued Sebou;
- la ville de Fès est traversée par cinq oueds : dont Oued Tghat, Oued Zhoun, Oued Fès en amont, Oued Ain Smen et Oued Lmahraz, situés respectivement dans les quartiers Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim. Ces zones connaissent actuellement une démographie intense et sont à proximité des zones industrielles et agricoles.

Les eaux de ces oueds sont exploitées par la population avoisinante dans l'irrigation des cultures maraichères céréales et légumes, le lavage des légumes et des voitures, le linge, la natation des petits enfants, l'élevage des ovins et bovins,...

Chapitre IV : Evaluation de la qualité des eaux de surface de la ville de Fès et contribution à leur traitement

I. Introduction

Ce chapitre relate, dans un premier temps, les résultats de la qualité physico-chimique, bactériologique et métallique d'une part, des cinq oueds Tghat, Zhoun, Fès en amont, Ain Smen et Lmahraz durant la saison automnale de l'année 2016 et la saison hivernale de l'année 2017, à raison d'un prélèvement par mois ; et d'autre part, des eaux des oueds évaluées les plus polluées pendant un suivi d'une année avec la même fréquence de prélèvement. Une validation statistique des résultats a eu lieu par analyse de la variance (ANOVA).

L'analyse et la représentation des données collectées et des résultats de la qualité globale des eaux par le SEQ-Eau étudiées sont figurés via les outils du Système d'Information Géographique (SIG).

Dans un deuxième temps, sont fournis les résultats de traitement par coagulation-floculation des eaux usées déversées en amont des oueds identifiées les plus pollués avec optimisation des paramètres conditionnant le traitement sont fournis.

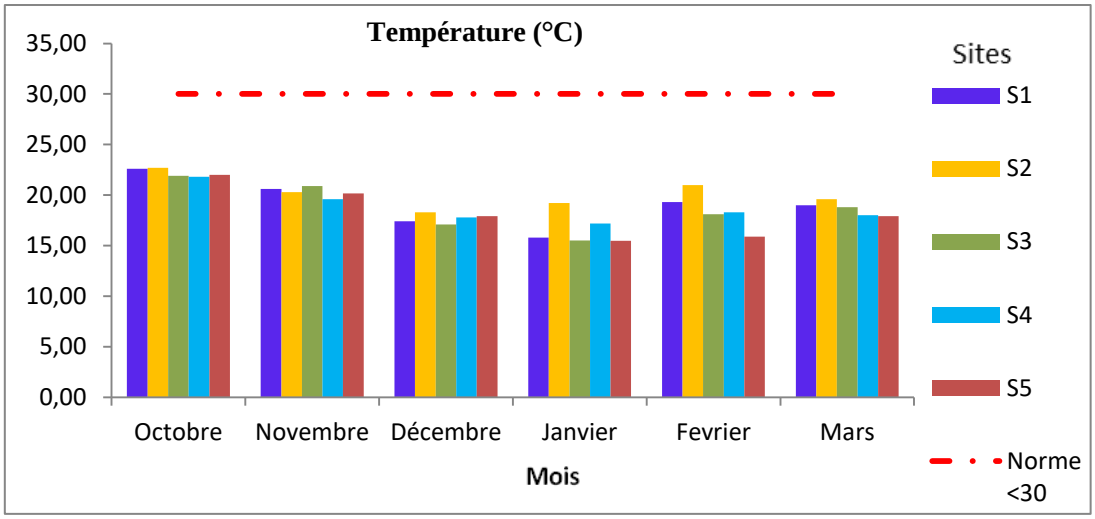
II. Evaluation de la qualité des eaux de surface des cinq zones d'étude

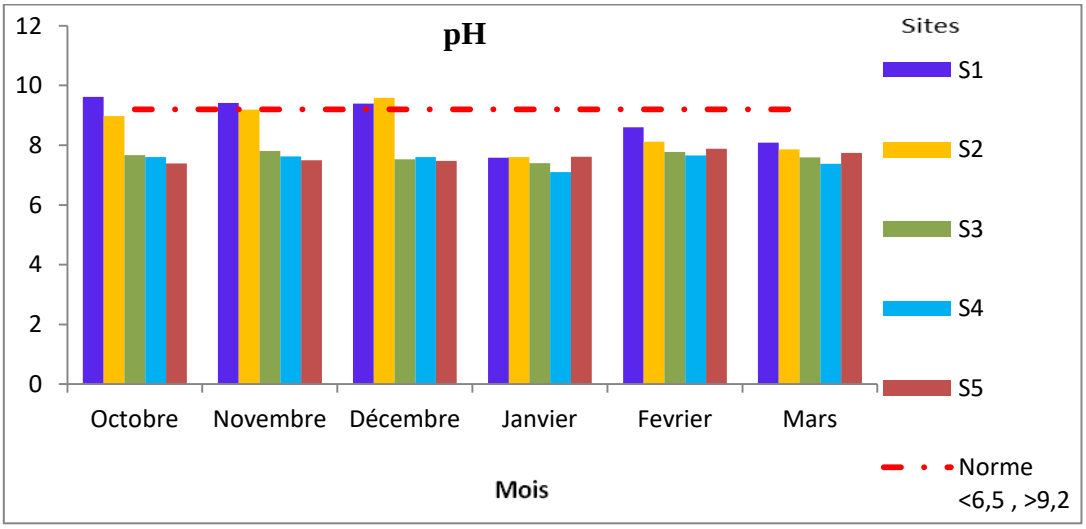
Nous rappelons que les eaux de surface traversant la ville de Fès à travers les zones Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim, sont oued Tghat (S1), oued Zhoun (S2) , amont oued Fès (S3), oued Ain Smen (S4) et oued Lmahraz (S5) respectivement.

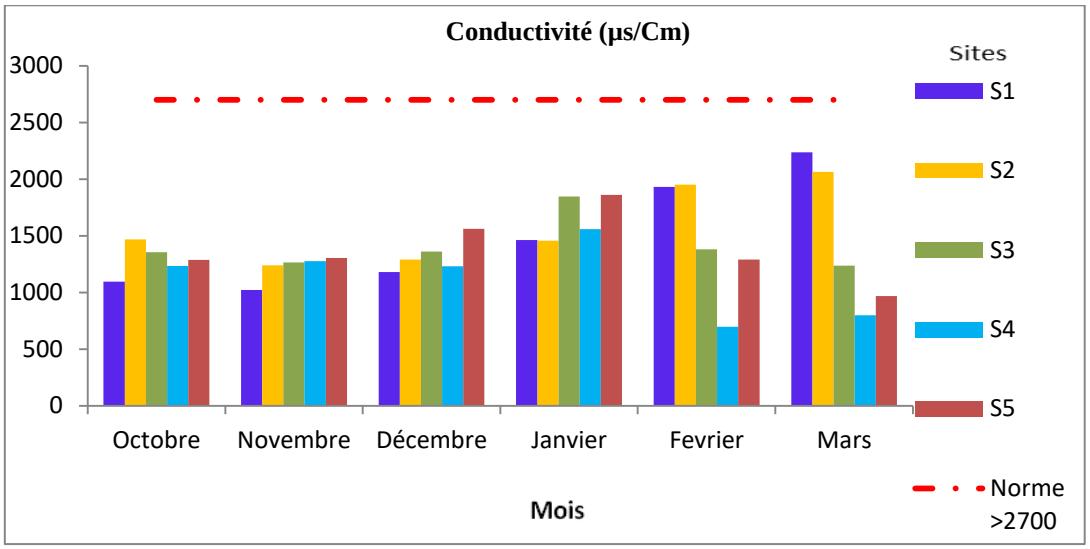
La qualité globale des eaux ainsi caractérisées a été déterminée après avoir calculé les indices de pondération (Tableau 4) et est représentée spatialement dans les cartes des figures 12,13 et 14.

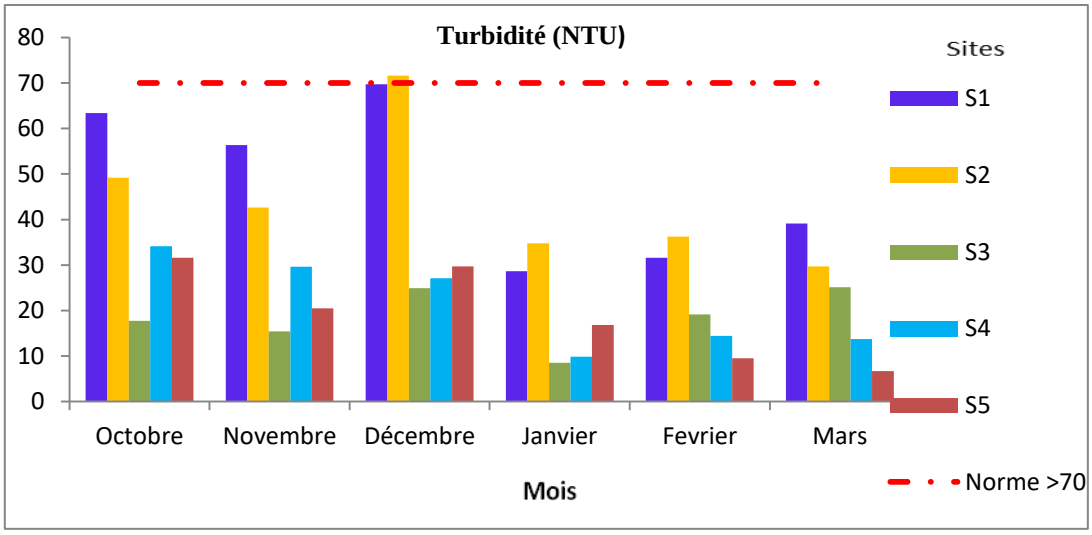
II.1. Caractérisation des eaux de surface étudiées

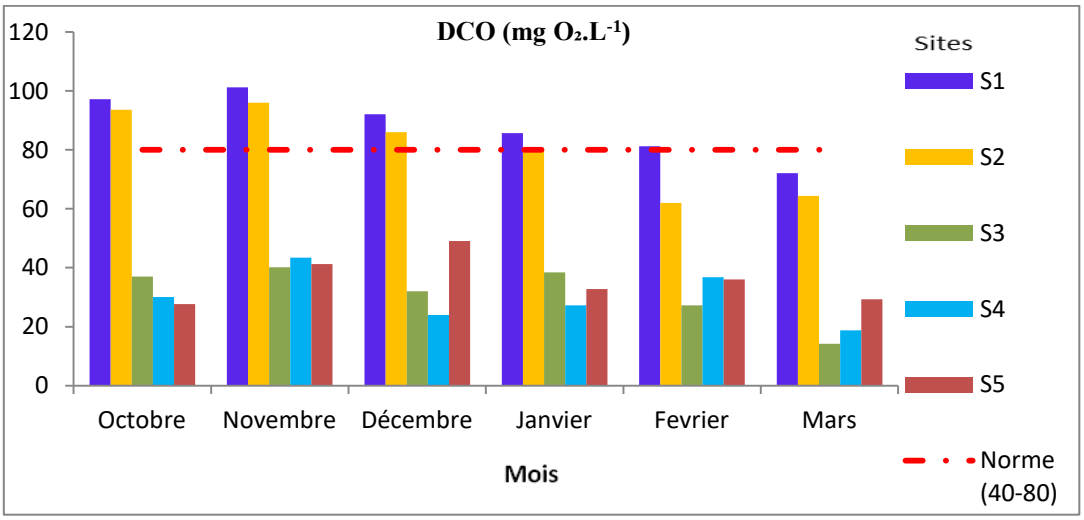
Les résultats du suivi des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métalliques des eaux étudiées en fonction du temps sont répertoriés dans la figure 11.

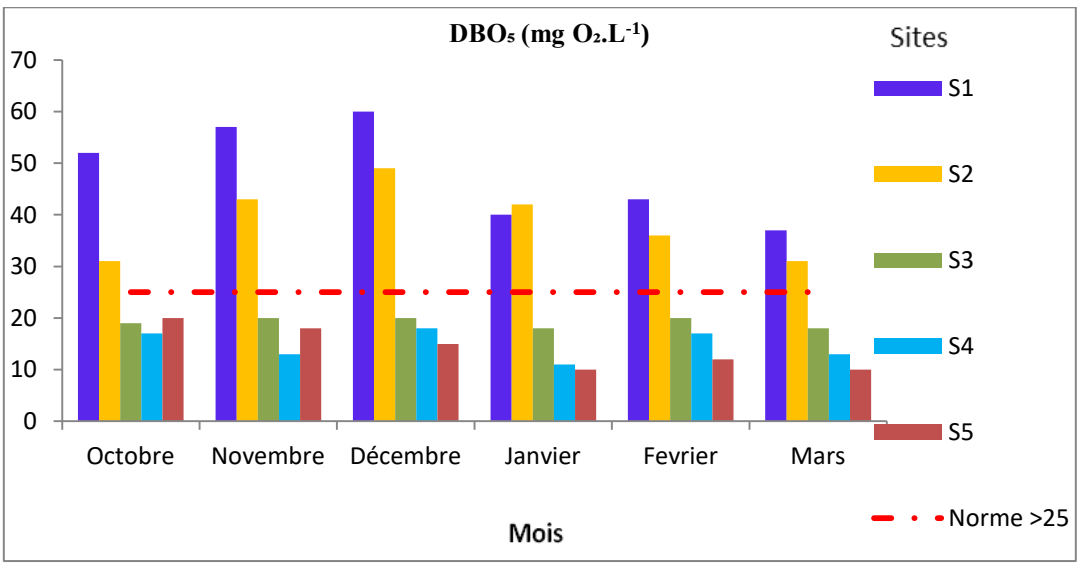

Température (°C)
35,00
30,00
25,00
20,00
15,00
10,00
5,00
0,00
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme
<30

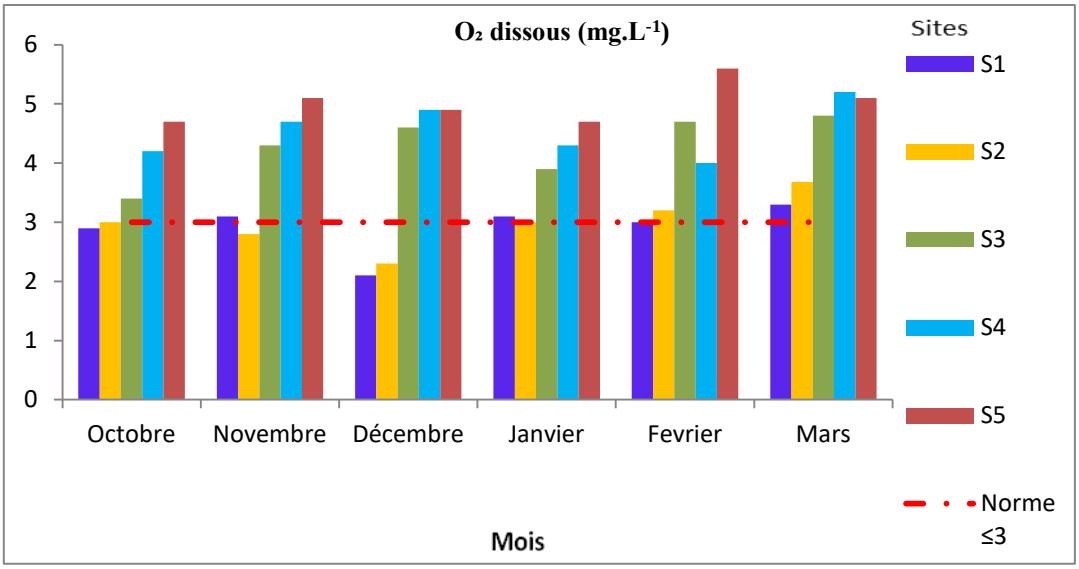

pH
12
10
8
6
4
2
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme
<6,5 , >9,2

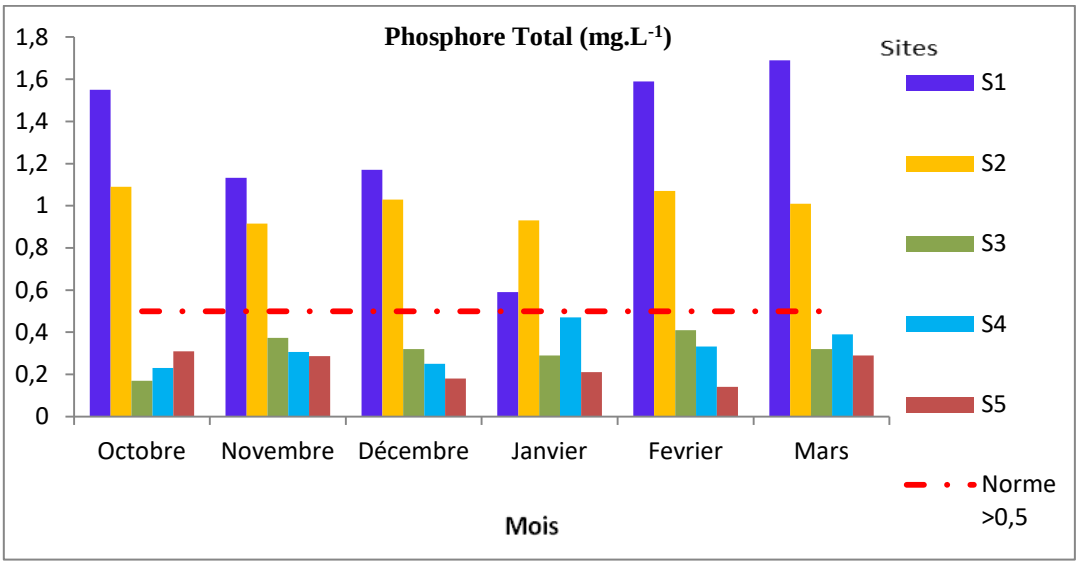

Conductivité (µs/Cm)
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme
>2700

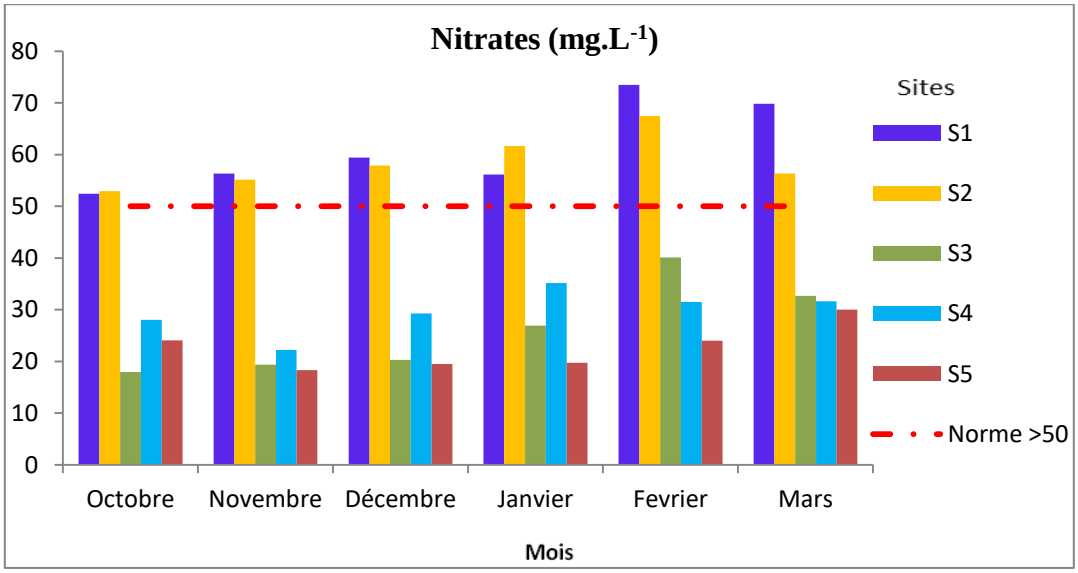

Turbidité (NTU)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >70

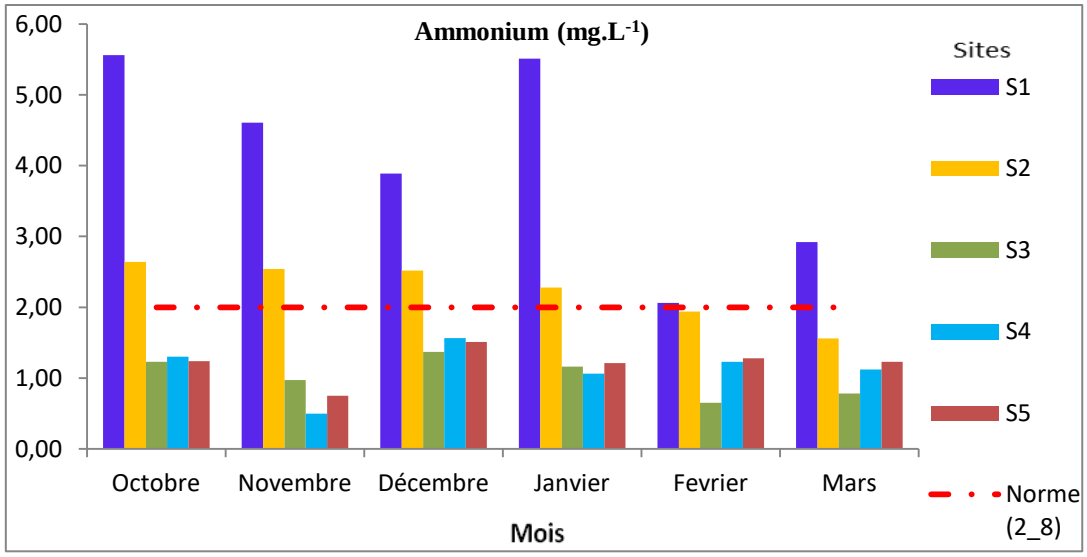

DCO (mg O₂.L⁻¹)
120
100
80
60
40
20
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme
(40-80)

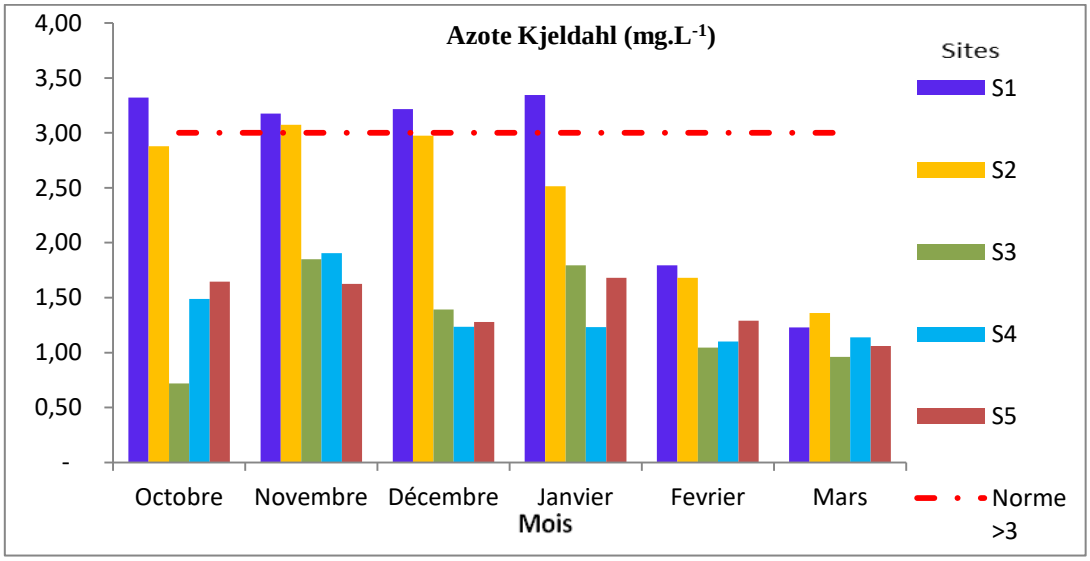

DBO₅ (mg O₂.L⁻¹)
70
60
50
40
30
20
10
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >25

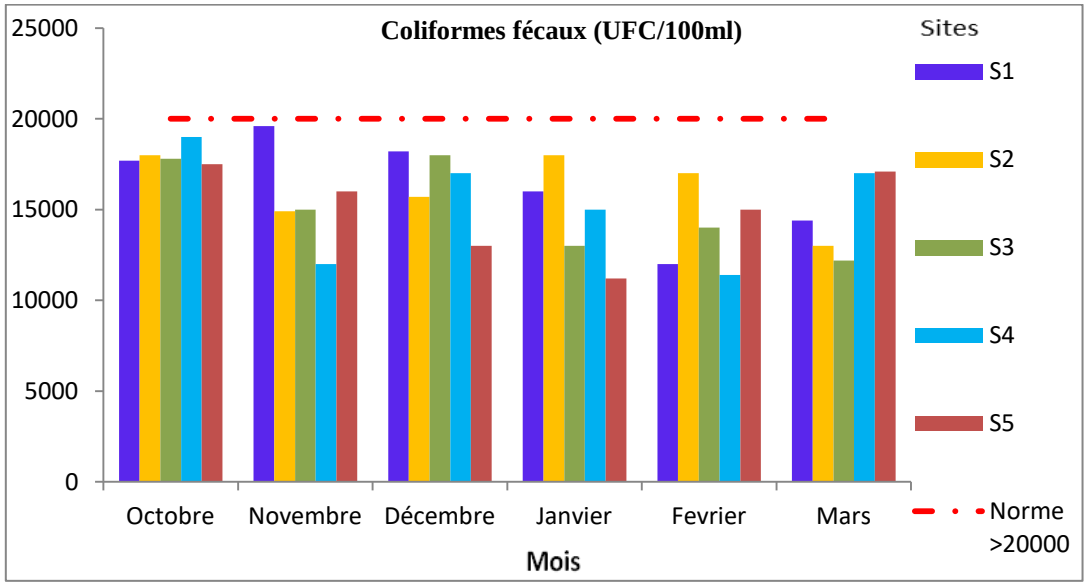

O₂ dissous (mg.L-1)
6
5
4
3
2
1
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme ≤3

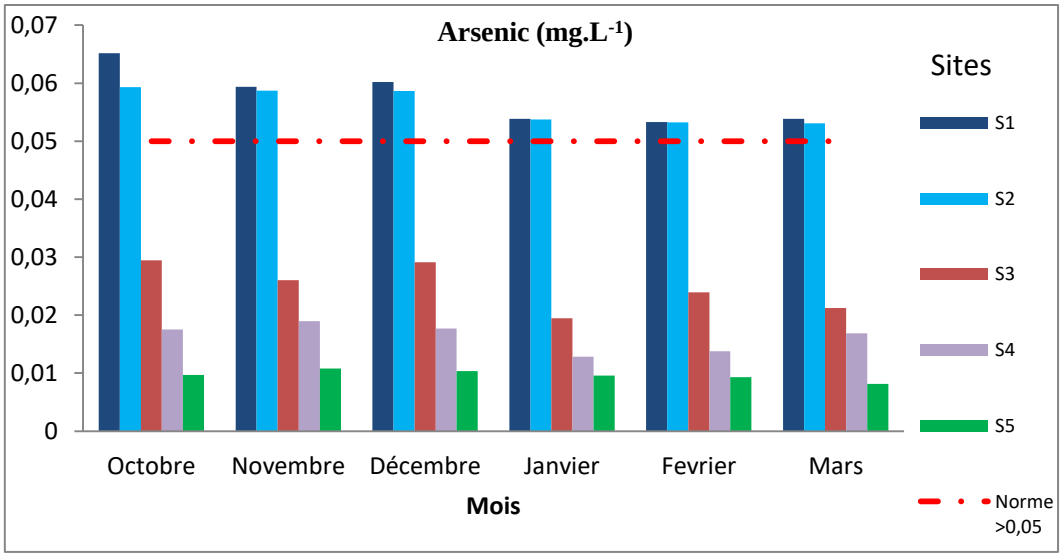

Phosphore Total (mg.L-1)
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >0,5

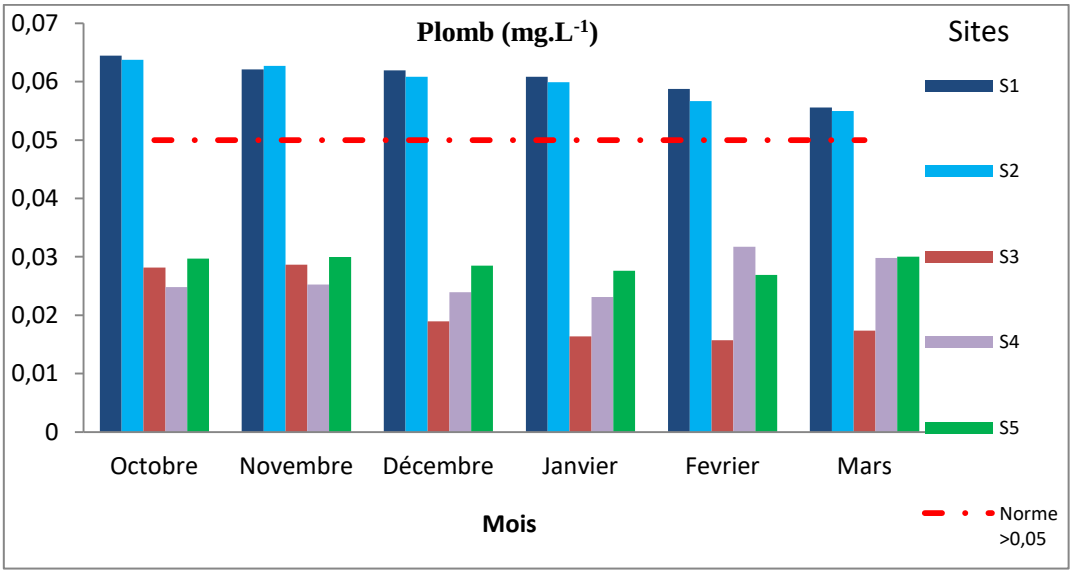

Nitrates (mg.L-1)
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >50

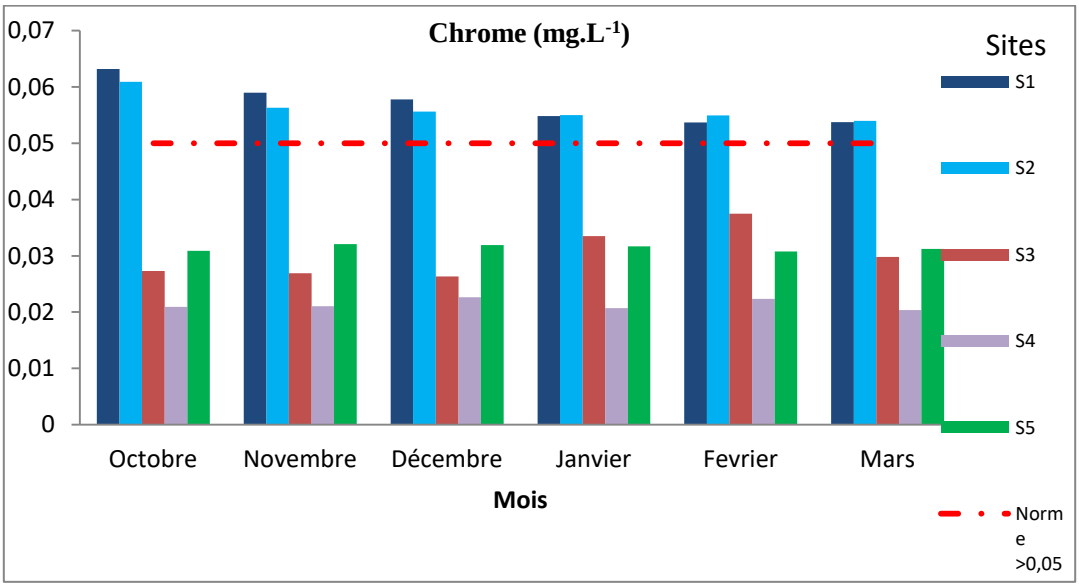

Ammonium (mg.L-1)
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme (2_8)

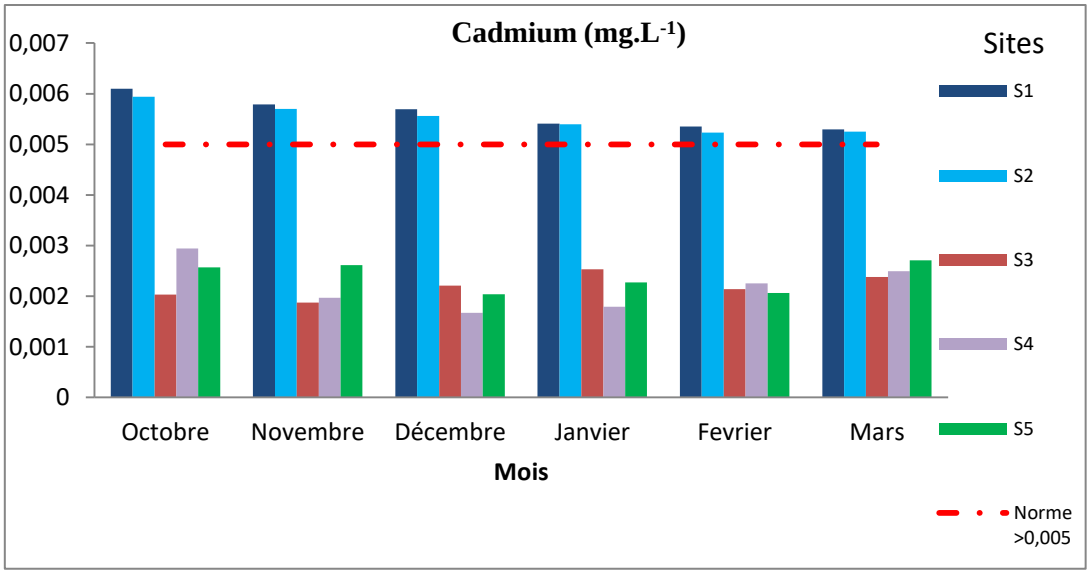

Azote Kjeldahl (mg.L-1)
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
-
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >3

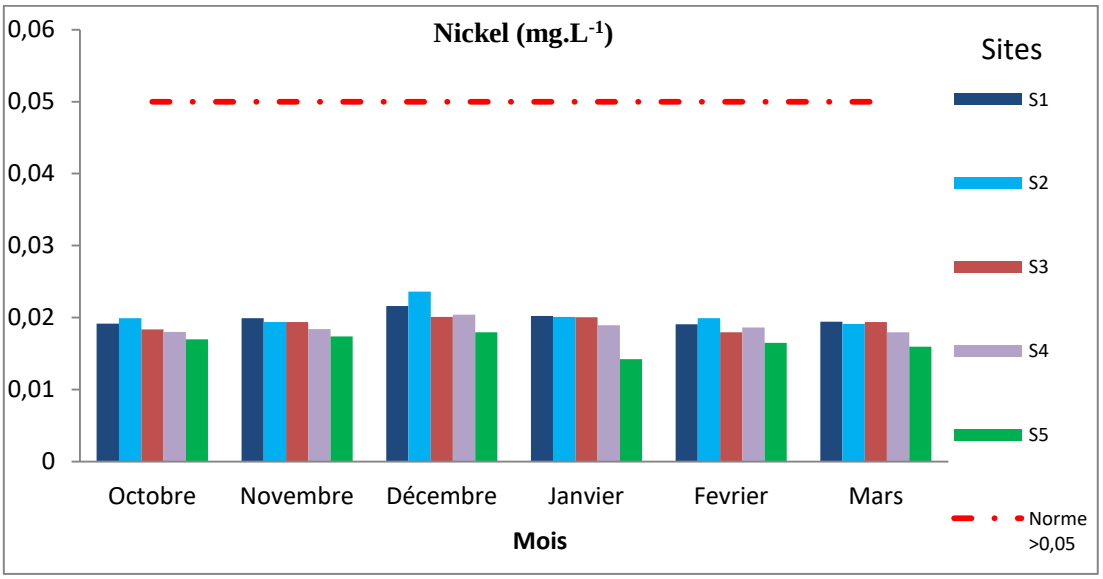

Coliformes fécaux (UFC/100ml)
25000
20000
15000
10000
5000
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >20000


Arsenic (mg.L-1)
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >0,05


Plomb (mg.L-1)
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >0,05


Chrome (mg.L-1)
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
Octobre
Novembre
Décembre
Janvier
Fevrier
Mars
Mois
Sites
S1
S2
S3
S4
S5
Norme >0,05





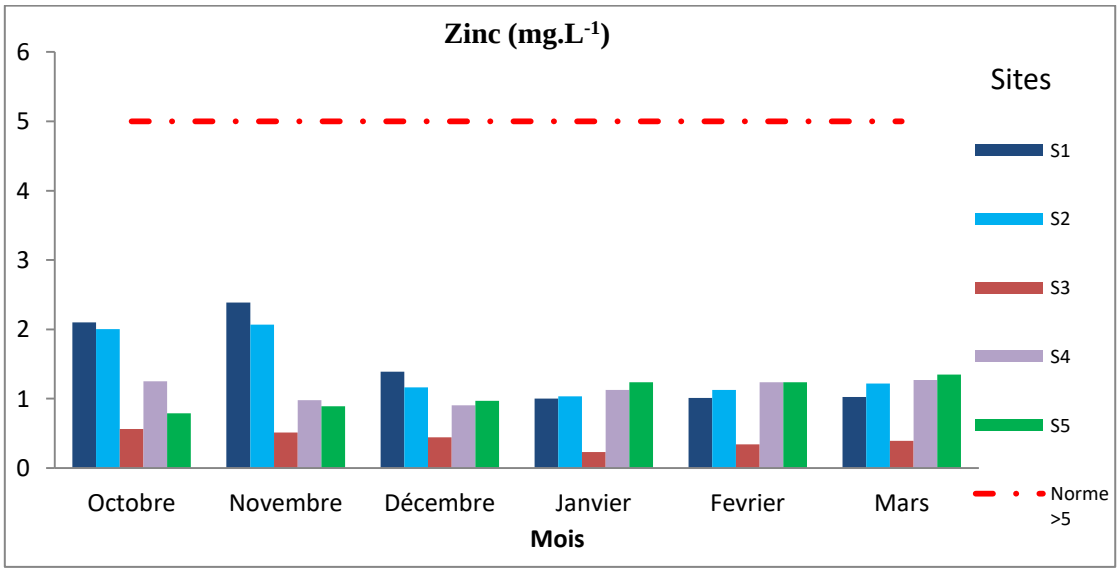


Figure 11: Caractérisation des eaux de surface dans les cinq sites de la ville de Fès

Le dépouillement des résultats montre que des eaux des sites S3, S4 et S5 sont presque neutres et celles des sites S1 (Ain Nokbi) et S2 (Sidi Boujida) sont légèrement basiques pendant la saison automnale où le pH atteint la valeur 9,62. Durant les deux saisons, ces valeurs dépassent modérément la norme recommandée (BO, 2016). Elles ont une température comprise entre 15,50 et 21°C et une charge minérale moyenne au niveau des 5 sites, ne dépasse pas la norme qui est 2700 µs.Cm^{-1} (BO, 2016). Les eaux des sites S1 et S2 portent une charge organique biodégradable importante dépassant les normes dans les deux saisons qui pourrait être dû aux rejets des activités industrielles et artisanales (tanneries, dinanderies, teintureries).

L'oxygène dissous et le phosphore total dépassent les normes presque pour les cinq sites durant toute la période d'étude. Les valeurs obtenues sont comprises entre 2 et 3,6 mg/L pour les sites S1 et S2 signifiant ainsi leur mauvaise qualité en termes d'oxygénation de l'eau et de vie aquatique. Ceci pourrait conduire au phénomène d'eutrophisation.

La présence du phosphore total reprend non seulement les Orthophosphates mais également les polyphosphates provenant essentiellement des détergents et des rejets industriels, et les phosphates organiques. Néanmoins, la présence du phosphore pourrait jouer le rôle d'adoucissement de l'eau en transformant la saleté en suspension, l'huile et la graisse solubles et contribuer à réduire la présence des germes.

Quant à la pollution azotée, elle respecte moyennement les normes dans l'ensemble des sites d'étude, exceptées les eaux des oueds Tghat et Zhoun (S1 et S2) qui sont légèrement chargées en nitrates. Cela semble être dû à des rejets intempestifs de la grande activité anthropique dans ces zones à cause de leur grande densité populaire. Cette charge pourrait favoriser la prolifération d'algues et des micro-organismes photosynthétiques qui réduisent la pénétration de la lumière dans les couches d'eaux profondes. En effet, si ces algues et micro-organismes photosynthétiques produisent le jour, ils en consomment la nuit et ces variations en concentration d'oxygène peuvent causer la mort des espèces aquatiques, notamment les poissons. Par ailleurs, la décomposition des algues mortes pourrait induire également une consommation d'oxygène ; qui est notre cas. De même, lorsque l'eau est un peu oxygénée, nous assistons à une accumulation de composés ammoniaqués susceptibles d'intoxiquer la faune et la flore à cause des conditions d'anaérobies traduites.

La charge indicatrice de la pollution en termes de coliformes fécaux est moyennement importante dans les 5 sites étudiés tout en restant légèrement inférieure à la norme de qualité des eaux de surface (BO, 2016). Cette charge bactérienne coïncide avec la période de

trituration des olives et Aid Al Adha. Elle est causée principalement, par le rejet des margines et du sang des moutons dans les cours d'eau sans traitement au préalable.

Concernant la charge métallique des eaux, au niveau des cinq sites, nous assistons à de fortes concentrations en Cr, As, Pb et Cd durant les deux saisons étudiées qui dépassent les normes recommandées (BO, 2016). Elles sont très prononcé dans oued Tghat et oued Zhoun et à moindre degré dans les autres sites.

Cette forte charge, pourrait être expliquée par les différentes activités industrielles et artisanales que connaissent ces zones : les industries métallurgiques, les tanneries, le textile, les poteries, les dinanderies, les industries du verre (comme pigment pour peinture) (Ben Aakame, 2015).

Nombreuses études, ont prouvé que le cadmium, le plomb, le chrome et l'arsenic dans le milieu aquatique sont des polluants à effet endocrinien (ASEF, 2010 ; HUSS, 2011 ; Nakib, 2010 ; Kyung-Min Lim et al., 2010 ; Garnier et al., 2013 ; OMS, 2018) :

Dans l'optique de pouvoir distribuer spatialement les résultats des paramètres analysés, nous avons calculé les indices de pondération pour connaitre la qualité globale des eaux étudiées.

II.2. Indices de pondération et d'altération des sites d'étude

Les indices de pondération et d'altération obtenus durant la saison d'automne de l'année 2016 et la saison d'hiver de l'année 2017, sont répertoriés dans le tableau 3.

Les paramètres mesurés et analysés sont: T°, pH, Oxygène Dissous, CE, Turbidité, DCO, NH_4^+, NO_3^-, NTK, DBO_5, P_t, CF, As, Cr, Ni, Zn, Pb, Cd.

Les couleurs utilisées pour obtenir la qualité de l'eau de surface sont:

Couleur	Bleue	Verte	Orange	Rouge	Violet
Classes de qualité de l'eau	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise

Tableau 3: Moyennes des indices d'altération et de pondération physicochimiques et bactériologiques des eaux des oueds étudiées

Altération	Sites	S1	S2	S3	S4	S5
	Indices	100 80	80 60	60 40	40 20	20 0
	Ip & Ia					
(1) Température	**I a_1**=Ip_T	82,0	80,3	90,1	88,7	94,3
(2) Acidification	**I a_2**=Ip_{pH}	40,1	48,2	69,1	71,2	67,6
(3) Matières organiques et oxydables	**Ip_{OD}**	21,0	20,0	54,0	52,3	79,0
	$IpDBO_5$	18,7	19,5	28,4	35,1	40,0
	Ip_{DCO}	19,0	23,8	82,4	81,7	79,8
	Ip_{NH4}^+	35,0	39,7	55,2	51,5	71,5
	Ia_3= (Ip_{OD+} Ip_{DBO5+} Ip_{DCO+} Ip_{NH4}^+) /4	23,4	25,7	55,0	55,2	67,6
(4) Matières azotées	**I a_4**=Ip_{NTK}	48,7	41,4	93,3	94,2	66,5
(5) Matières phosphorées	**I a_5**=Ip_{Pt}	27,8	36,3	44,0	55,0	68,7
(6) Nitrates	**I a_6**=Ip_{NO3}	33,4	35,3	53,4	53,8	60,6
(7) Minéralisation	**I a_7**=Ip_{CE}	49,4	48,7	57,3	70,3	61,0
(8) Particules en suspension	**I a_8**=Ip_{TU}	59,9	61,4	77,4	83,1	85,3
(9) µorganismes	**I a_9**=Ip_{CF}	48,7	45,2	48,8	43,3	45,5
(10) ETM	**Ia= Ip** Cd	34,3	36,1	66,0	70,3	50,0
	Ia= Ip Cr	29,1	30,7	42,6	56,3	52,9
	Ia= Ip Ni	48.3	41,4	62,8	63,8	61,2
	Ia= Ip Pb	31,6	34,4	55,0	49,5	58,3
	Ia= Ip Zn	52,8	49,5	71,6	57,2	57,1
	Ia= Ip As	21,4	30,4	54,3	58,7	73,5
Qualité physicochimique globale		23,4	25,7	44	53.8	61
Qualité bactériologique globale		48,7	45,2	48,8	43,3	45,5
Qualité métallique globale		21.4	30.4	58.7	59.3	58.3

Selon le couplage SIG-SEQ-Eau, nous avons calculé les dix altérations dont les résultats sont représentés sous forme de cartes thématiques. Les valeurs élevées représentent une meilleure qualité.

II. 3. Répartition spatiale de la qualité globale des eaux de surface au niveau de la ville de Fès

Les résultats des valeurs moyennes de l'évaluation de la qualité globale des cinq sites révèlent que les eaux d'oueds Fès et Ain Smen sont de moyenne qualité. Celle d'oued Lmahraz est de bonne qualité en termes physico-chimique et qualité moyenne en termes bactériologique et métallique.

La mauvaise qualité a été assignée pour les eaux d'oueds Zhoun et Tghat en matières physico-chimiques et métalliques avec des indices de qualité globale respectivement de 21,4 et 30,4. Ceci semble être dû aux grandes activités anthropiques avoisinantes et à la présence des margines ; des détergents qui apportent des matières organiques biodégradables (Figures 12, 13 et 14).

Les sites S1 et S2 engendrent une pollution physicochimique, bactériologique et métallique importante. A cet effet, nous avons réalisé un suivi spatio-temporel mensuel des eaux de ces deux sites pendant une année.

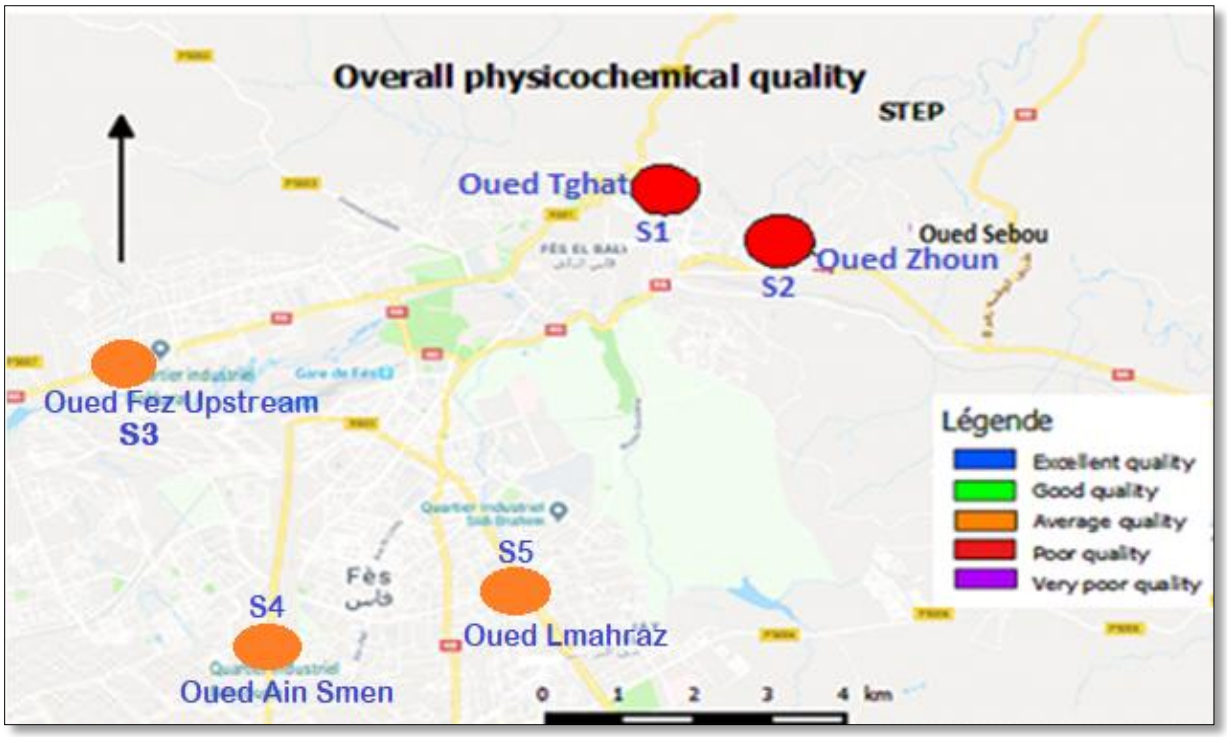


Figure 12: Répartition géographique de la caractérisation physicochimique globale au niveau des cinq sites étudiés

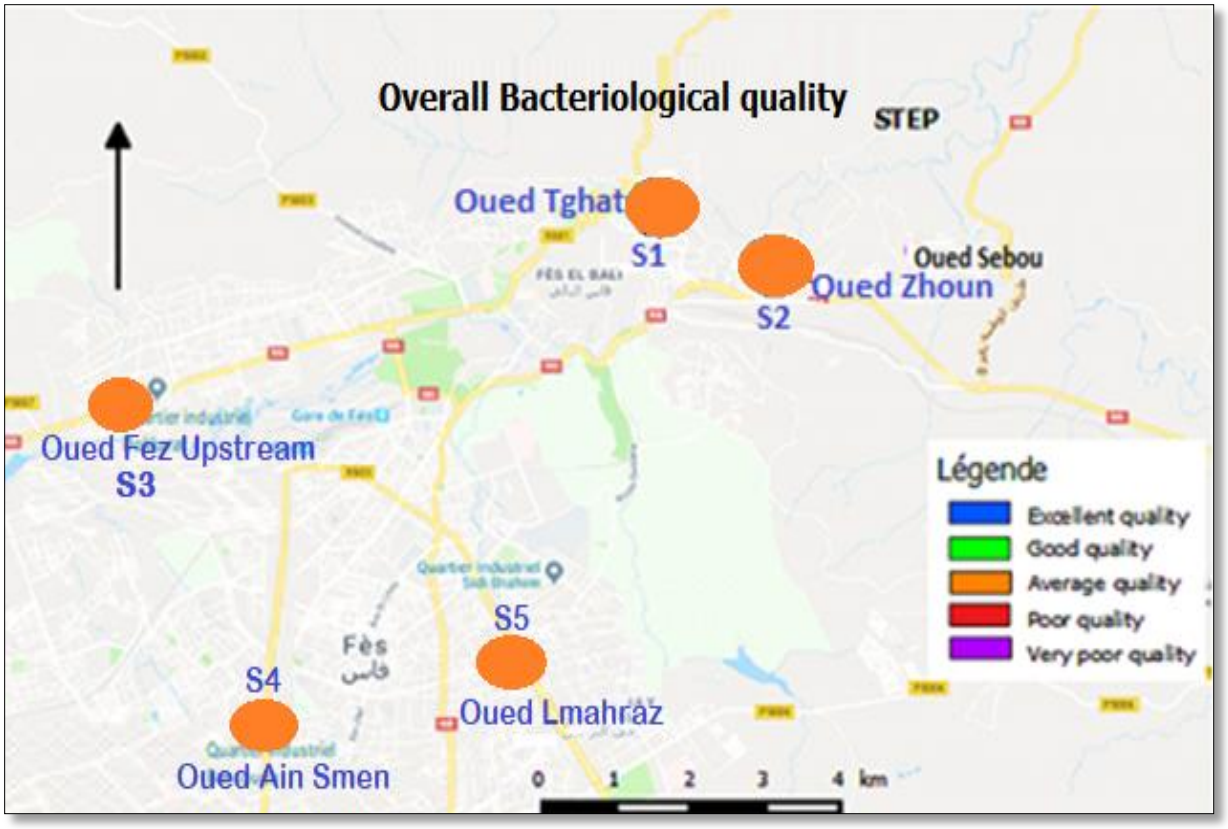


Figure 13:Répartition géographique de la caractérisation bactériologique globale au niveau des cinq sites étudiés

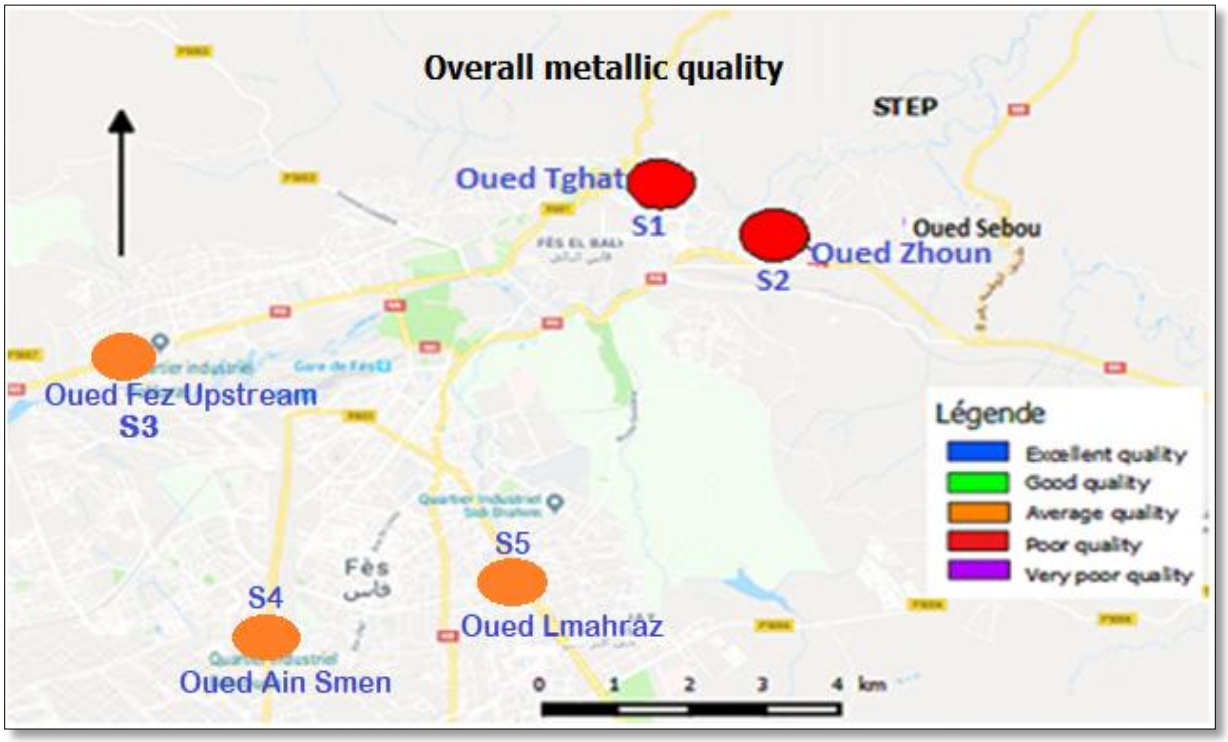
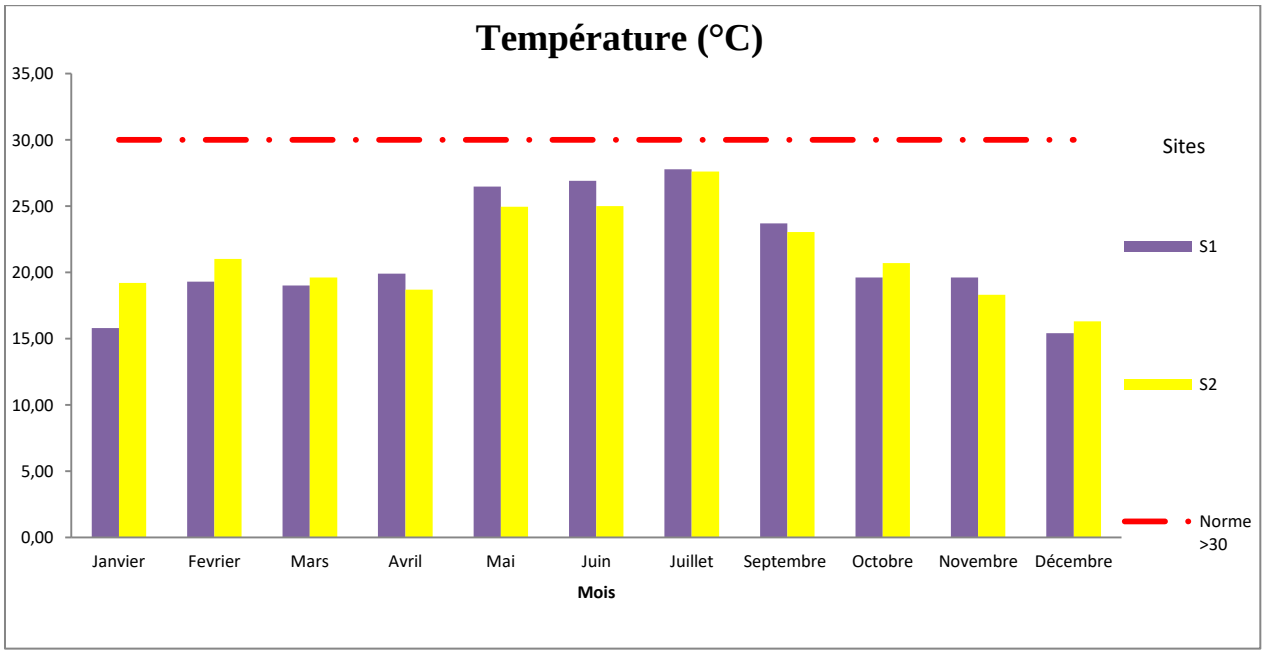


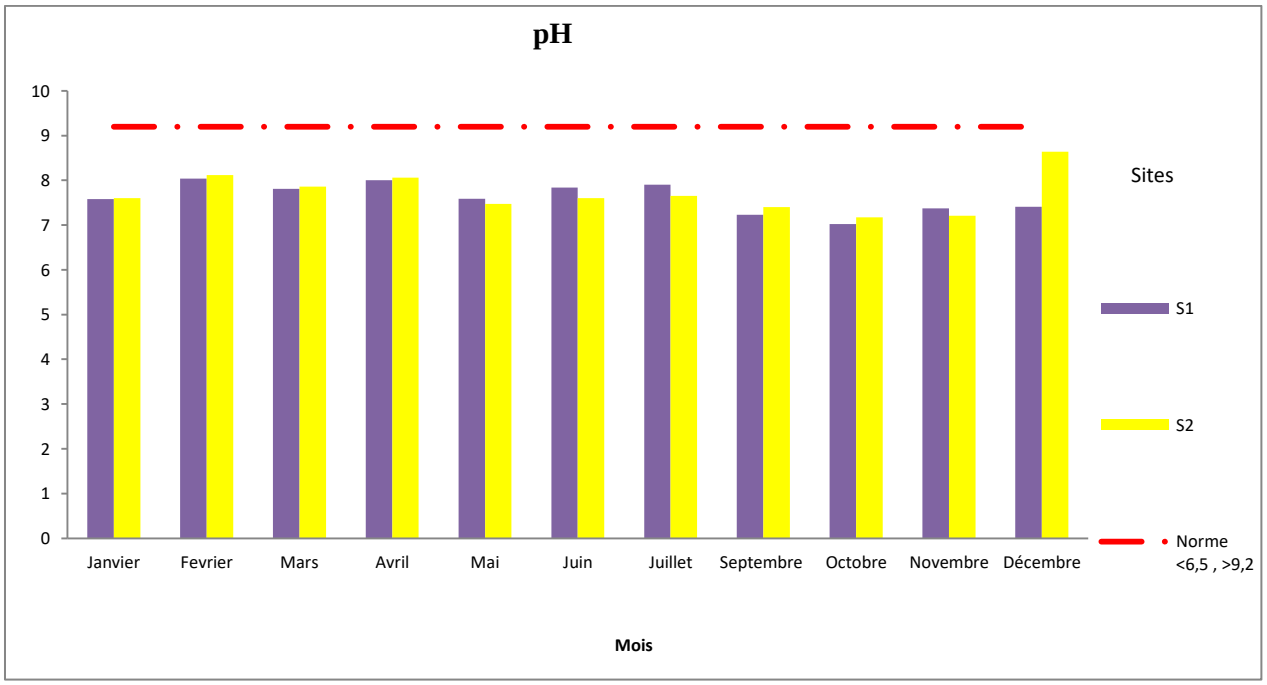
Figure 14: Répartition géographique de la caractérisation métallique globale au niveau des cinq sites étudiés

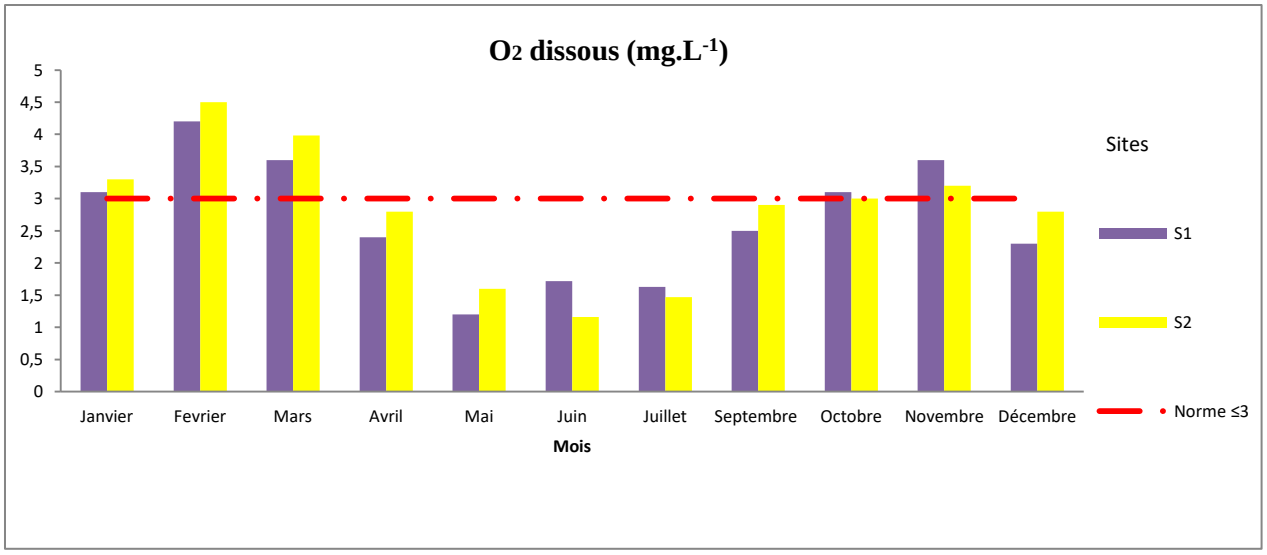
III. Évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux d'oued Tghat (S1) et oued Zhoun (S2)

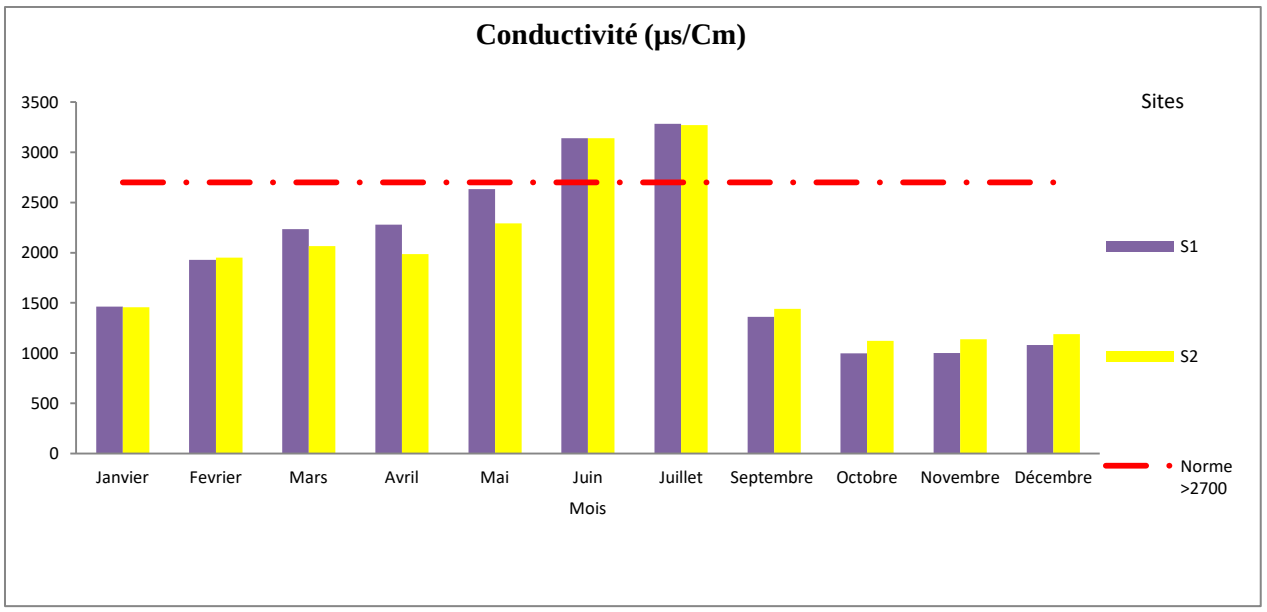
III.1. Evaluation spatiotemporelle mensuelle de la qualité des eaux des sites S1 et S2

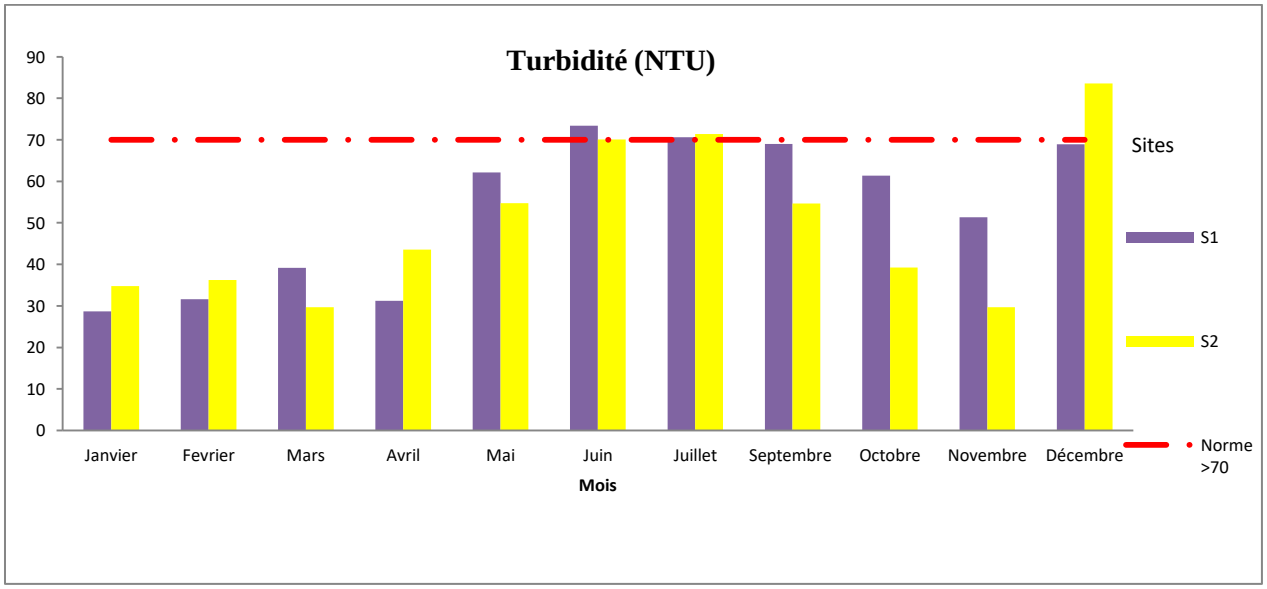
Les résultats du suivi spatio-temporel des paramètres évaluant la qualité des eaux de surface des deux sites S1 et S2, sont conformes à la norme marocaine des eaux de surface (BO, 2016). Ils sont représentés dans la figure 15.

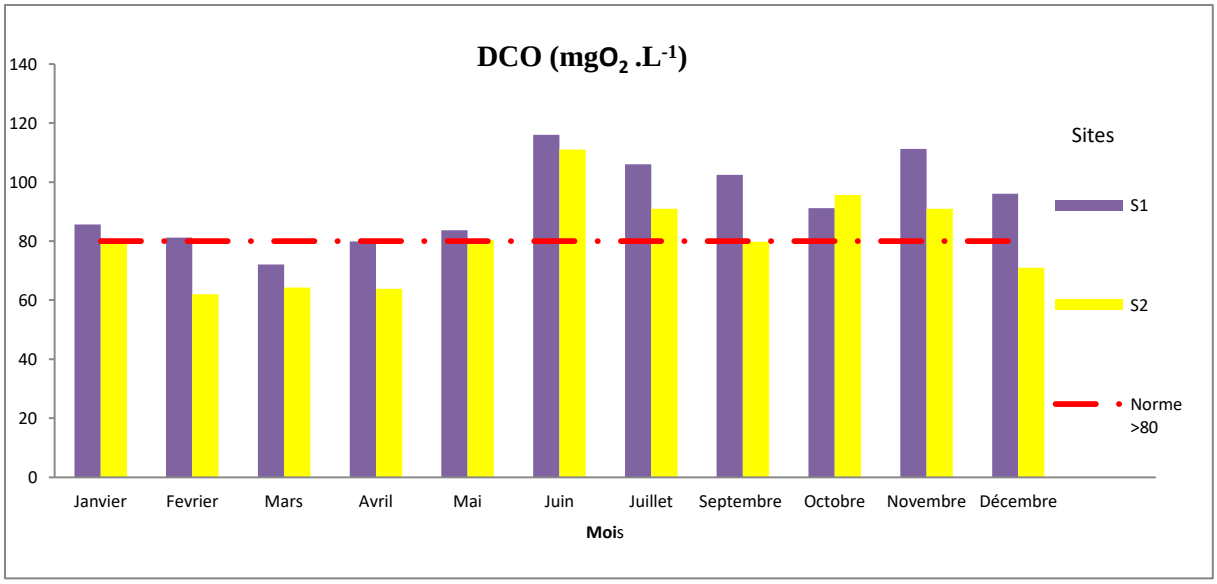


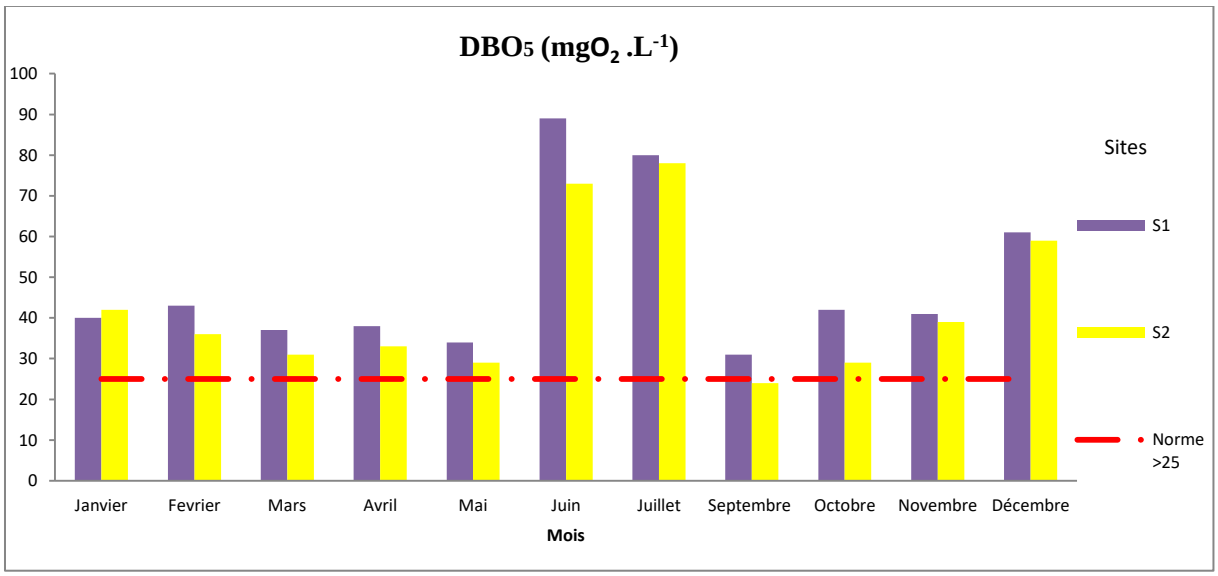


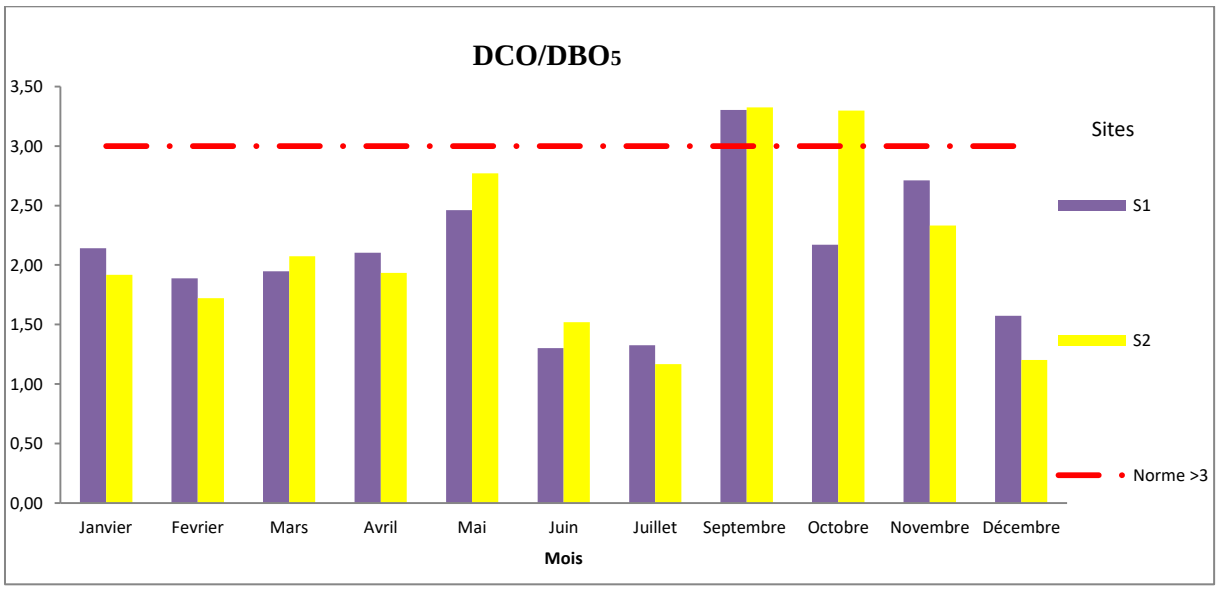

O2 dissous (mg.L-1)
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme ≤3

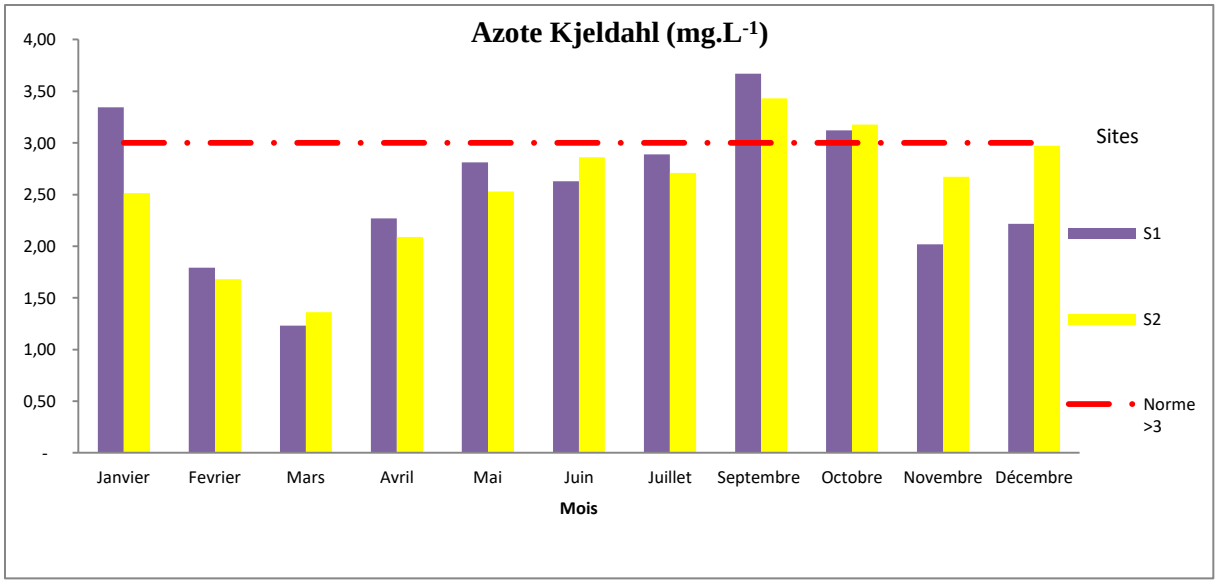

Conductivité (µs/Cm)
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >2700

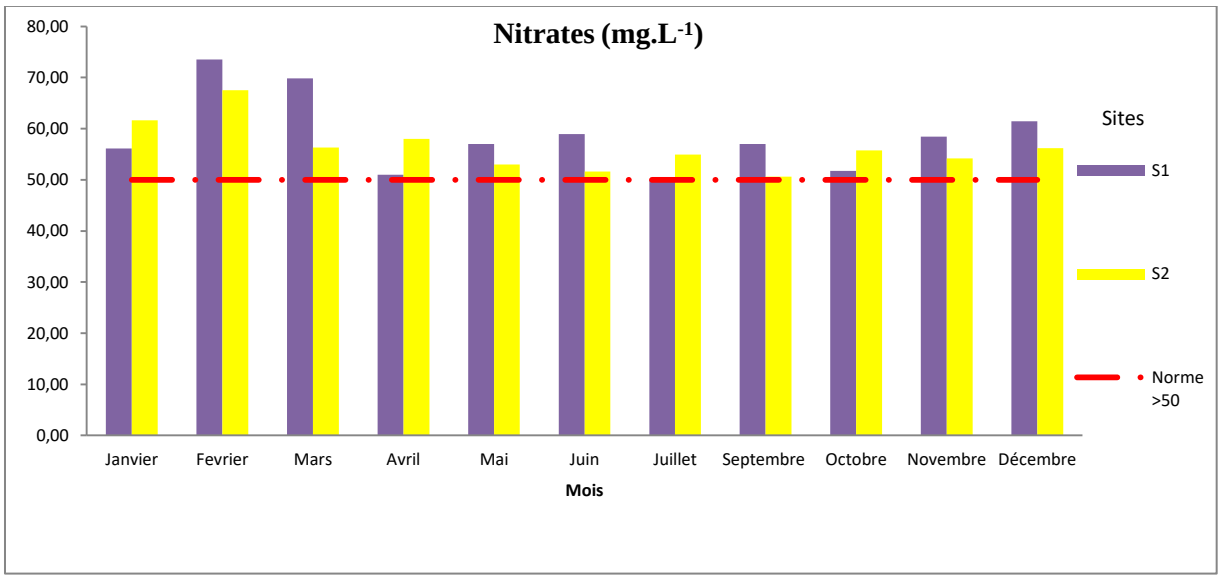

Turbidité (NTU)
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >70

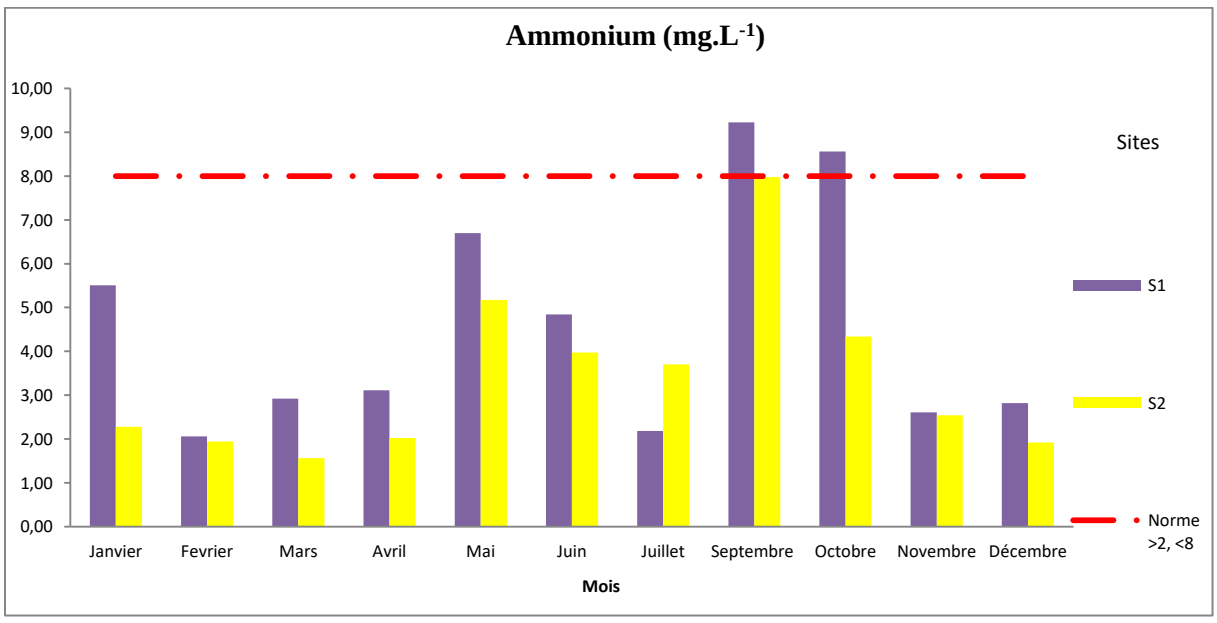

DCO ($mgO_2 .L^{-1}$)
140
120
100
80
60
40
20
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >80

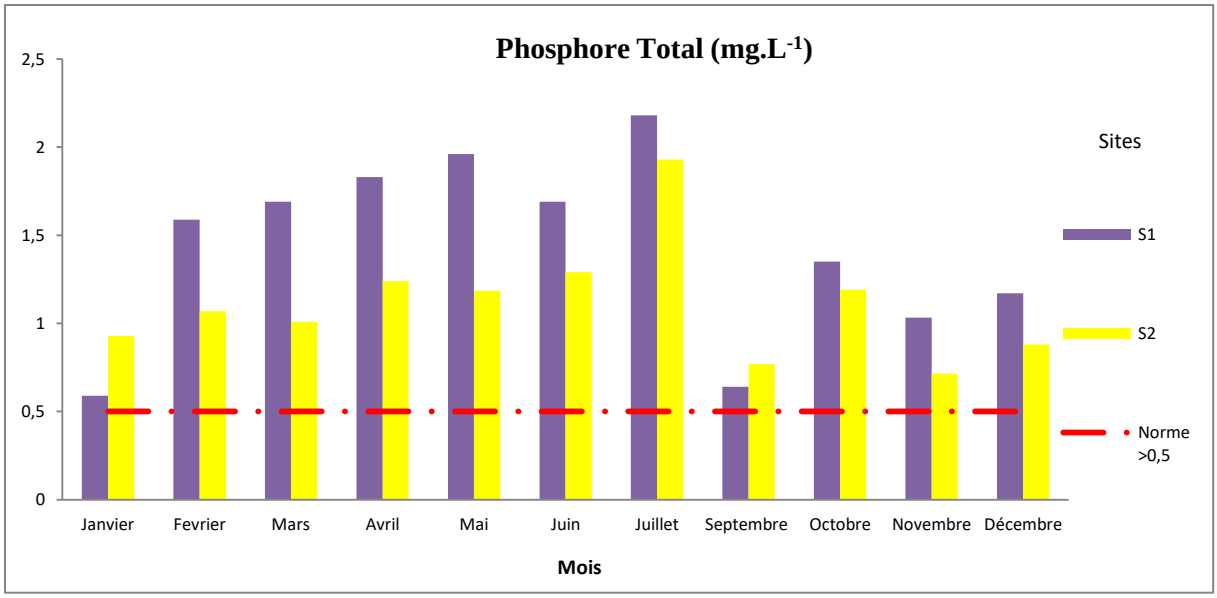

DBO5 ($mgO_2 .L^{-1}$)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >25

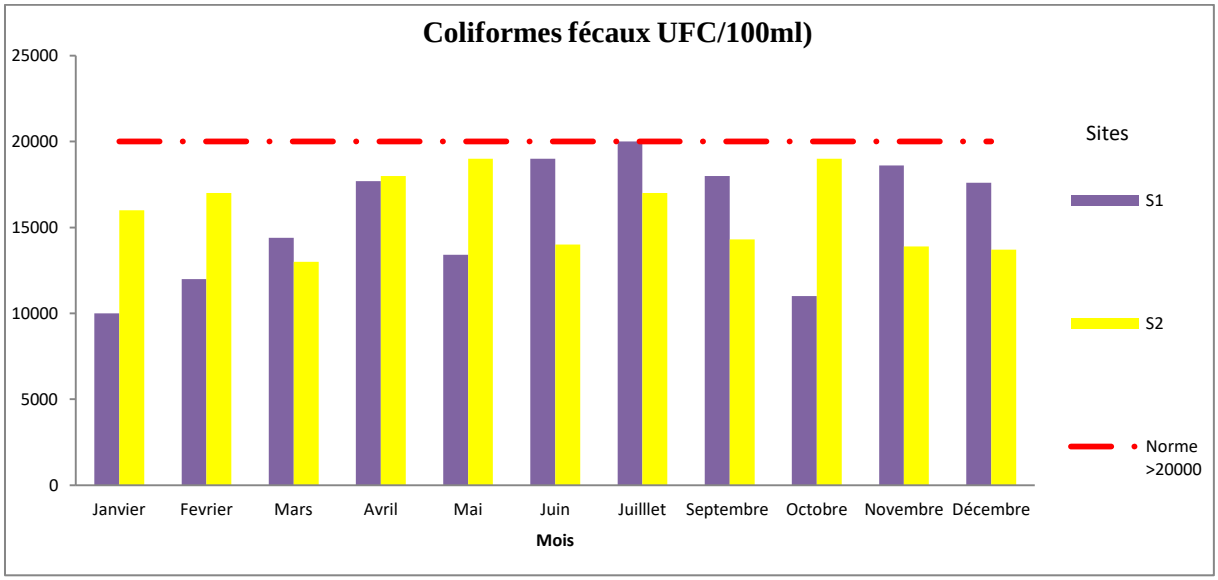

DCO/DBO5
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >3

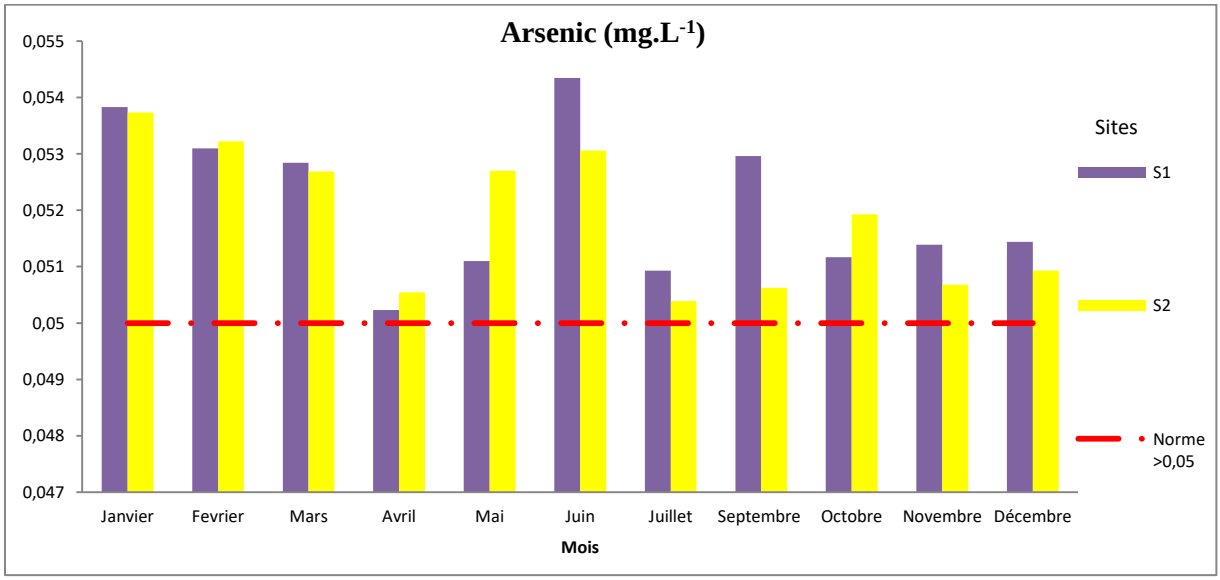

Azote Kjeldahl (mg.L-1)
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
-
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >3

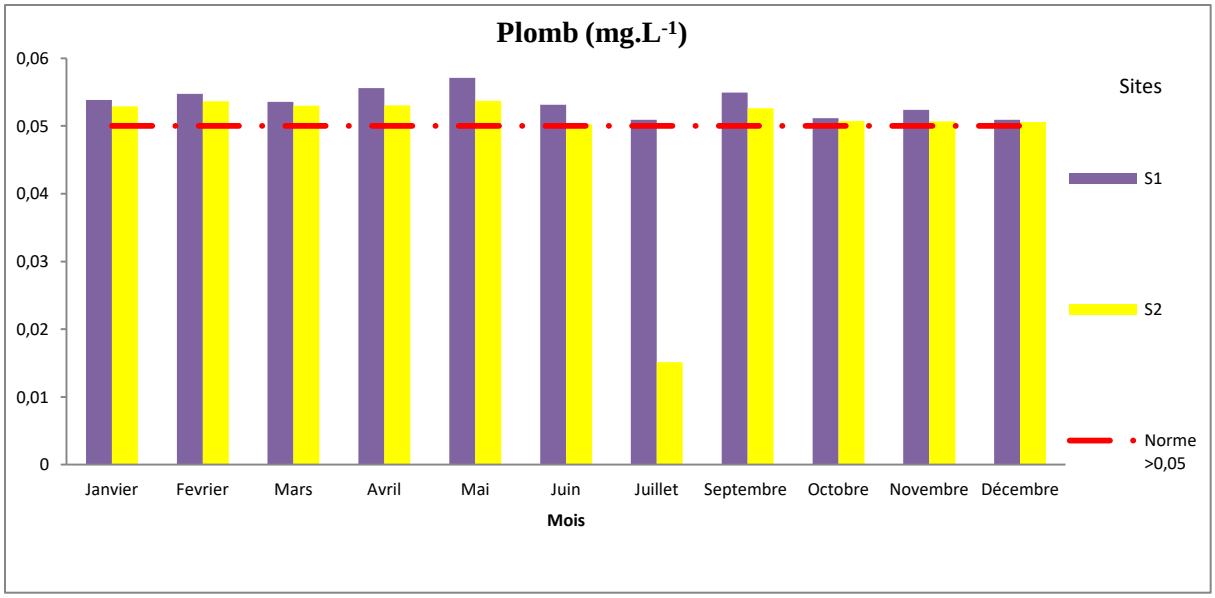

Nitrates (mg.L-1)
80,00
70,00
60,00
50,00
40,00
30,00
20,00
10,00
0,00
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >50

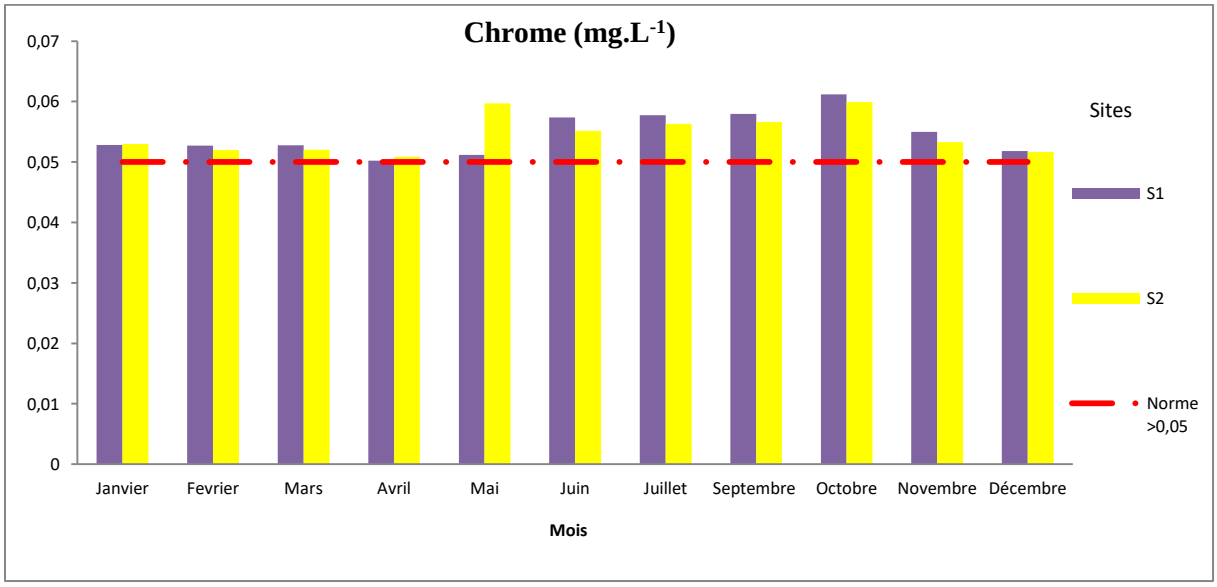

Ammonium (mg.L-1)
10,00
9,00
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >2, <8


Phosphore Total (mg.L-1)
2,5
2
1,5
1
0,5
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >0,5


Coliformes fécaux UFC/100ml)
25000
20000
15000
10000
5000
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juilllet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >20000


Arsenic (mg.L-1)
0,055
0,054
0,053
0,052
0,051
0,05
0,049
0,048
0,047
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >0,05


Plomb (mg.L-1)
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >0,05


Chrome (mg.L-1)
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
Janvier
Fevrier
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
Septembre
Octobre
Novembre
Décembre
Mois
Sites
S1
S2
Norme >0,05

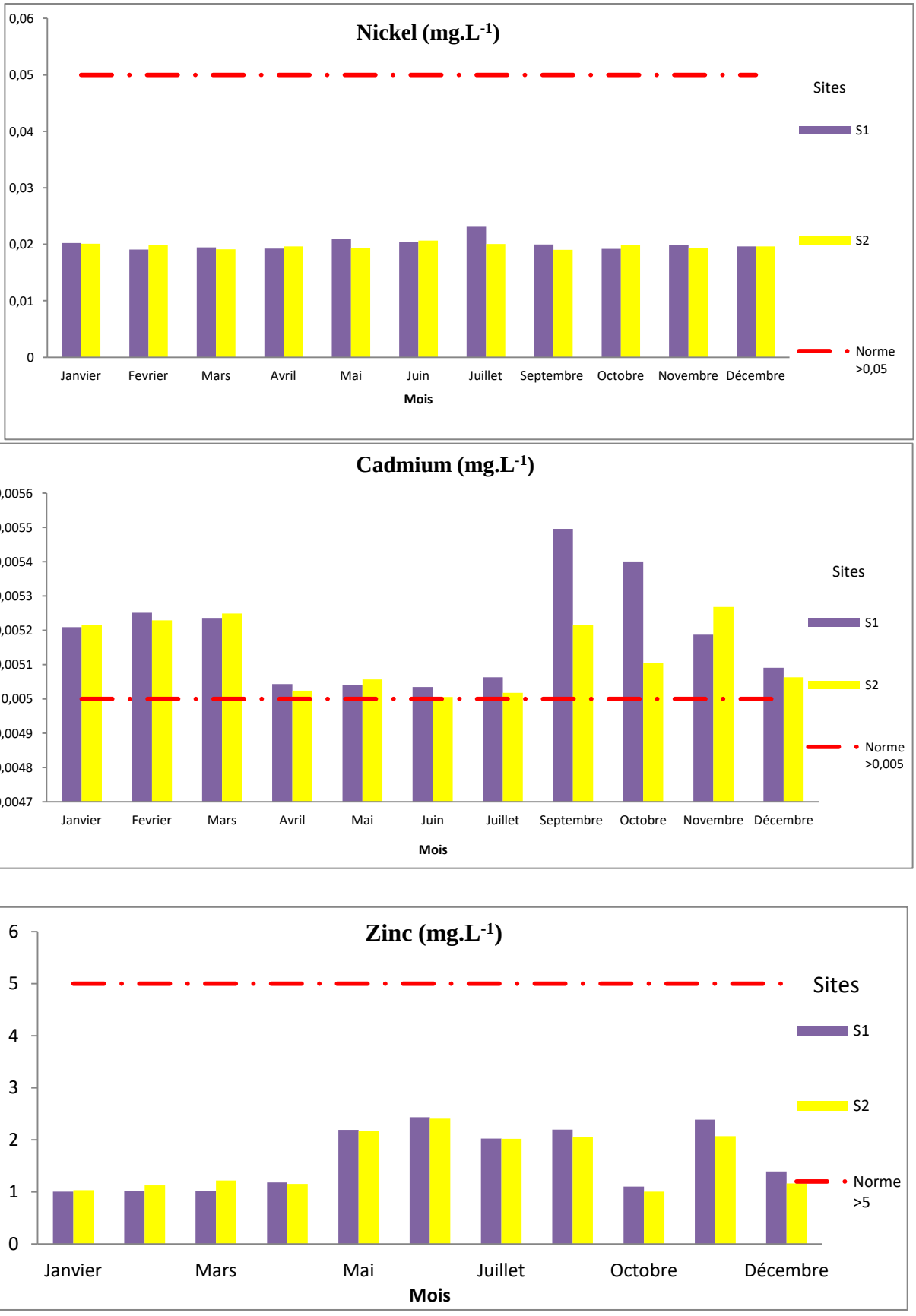


Figure 15: Suivi spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métalliques de l'évaluation mensuelle de la qualité des eaux, pour l'année 2017, au niveau du site S1 et S2

L'analyse des résultats obtenus dénote que :

- Les températures des eaux des sites S1 et S2 sont comprises entre un minimum et un maximum, la valeur minimale est atteinte aux saisons automnales, hivernale et début printanière. La valeur maximale a eu lieu à la fin de la saison printanière et à la saison estivale. Toutes les valeurs pendant la période d'étude sont conformes à la norme de qualité des eaux de surface (< 30°C).
- Le pH est voisin de la neutralité durant presque toute la période, excepté celui des eaux du site 2 qui est légèrement basique en mois de Décembre.
- L'oxygène dissous a des valeurs comprises entre 1.2 mg $O_2.L^{-1}$, enregistrée en mois de Mai, et 4.5 mg $O_2.L^{-1}$ en mois de Février. Les faibles valeurs ont été assignées pendant la saison estivale. Ceci pourrait être probablement dû à la dégradation de la matière organique présente dans l'eau par les microorganismes.
- La conductivité électrique est très élevée pendant les mois de Juin et Juillet pour les sites S1 et S2. Elle est respectivement de 2736 µs cm^{-1} et 2765 µs cm^{-1}. Cette forte charge minérale pourrait être probablement due à la minéralisation excessive des eaux attribuées aux sels utilisés dans la majorité des activités industrielles, artisanales et agricoles.
- La turbidité est à la limite de la norme marocaine pendant toute la période d'étude et pour les deux sites S1 et S2 exceptée celle des eaux du site S2 qui a connu un léger dépassement au mois de Décembre de l'année 2017 à cause de la charge de ce eaux en margines.
- La demande chimique en oxygène (DCO) fluctue entre 80.5 mg $O_2.L^{-1}$et 116 mg $O_2.L^{-1}$ dépassant alors la norme pendant les saisons estivales et automnales. Nous notons que les eaux d'oued Tghat portent une charge organique non biodégradable à moindre degré que celle des eaux d'oued Zhoun. Ceci semble être dû aux rejets des fortes activités industrielles et artisanales dans les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- La demande biochimique en oxygène (DBO_5) dépasse largement la norme pour tous les mois de l'année. Elle a presque triplé la valeur caractérisant les eaux de surface de bonne qualité pendant les mois de Juin, Juillet et Décembre, et l'a dépassé environ de 10% pendant les autres mois. Cependant, cette charge organique est dans la plupart du temps biodégradable (DCO/DBO_5 <3) hormis les mois de Septembre et Octobre.
- Les fortes charges en DCO et DBO_5 pourraient être expliquées par la coïncidence de notre période d'étude à la période d'Aid Al Adha dont la forte activité de traitement des peaux a eu lieu pendant ces mois d'une part ; et d'autre part, de trituration des olives.

- L’ammonium indique une valeur maximale de 9.23 mg $NH_4.L^{-1}$ en mois de Septembre arrivant à pour les eaux de S1 et 7,98 mg $NH_4^+.L^{-1}$ pour celles des eaux de S2, montrant ainsi une contribution importante des activités agricoles et domestiques dans les zones d’étude. Quant aux résultats de l’azote Kjeldahl, ils énoncent des concentrations assez importantes durant toute la période d’étude sauf pour les mois de Septembre et Octobre où ils subissent une forte charge azotée et atteignent des valeurs dépassant la norme de qualité des eaux de surface (Bulletin officiel, 2016).
- Les nitrates sont justes à la limite de la norme durant presque la moitié de la période d’étude en dehors des saisons automnale et hivernale. Ceci pourrait être dû aux différents détergents d’origines industrielles ou domestiques et aussi à la coïncidence de la période de l’Aid al Adha entre le mois de septembre et d’octobre (El Allaoui et al., 2017; Idrissi Nisrin, 2018). En plus de la proximité des oueds dans les zones industrielles et agricoles d’Ain Nokbi et Sidi Boujida, l’abreuvage des animaux qui constitue également une source de la contamination des eaux par les nitrates.
- Le phosphore total est hors norme pendant toute la période d’étude pour les eaux des sites S1 et S2. Cette pollution phosphorée provient, probablement, des détergents d’origines industrielles ou domestiques, des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphates dans les urines par l'Homme (Seghairi, 2014).
- La contamination par les coliformes fécaux (CF) est peu susceptible à la limite de la norme marocaine relative aux eaux de surface d’une rivière.
- La majorité des éléments traces métalliques (ETM), considérés des perturbateurs endocriniens, Chrome, Arsenic, Plomb et Cadmium (Figure 15, dépassent loin la norme marocaine de qualité des eaux de surface pour les eaux d'oueds Tghat et Zhoun. Quant à la charge de ces eaux en Zinc et en Nickel, elle respecte les normes édictées.
- L’ensemble des variations importantes lors du suivi de la qualité des eaux des sites S1 et S2sont dues probablement à la nature et la fréquence journalière des activités industrielles, artisanales de ces zones. Précisément, les concentrations intenses en chrome dans les eaux approuvent les résultats menés par Hayzoun et al., 2014. L’origine de cette forte charge est issu des rejets des tanneries à cause de l’utilisation excessive de sulfate de chrome et d’autres éléments chimiques toxiques. Rajoutons à cela l’utilisation des fertilisants synthétiques et de fumiers associés aux cultures, l’élevage intensif, les installations septiques déficientes et la décomposition de la matière végétale et animale.

III.2. Indices de pondération et d'altération des eaux des sites S1 et S2

Les indices de pondération et d'altération obtenus au cours du suivi de la qualité des eaux d'oued Tghat (S1) et oued Zhoun (S2) pendant une année, sont figurés dans le tableau 4 selon l'approche SEQ-eau.

Les paramètres mesurés et analysés sont: T ; pH; Oxygène Dissous; CE ; TU; DCO; DBO_5; NH_4^+; NTK, NO_3^- , P_t, les CF, ainsi que les ETM qui sont : Cd, Cr, Ni, Ni, Pb et Zn.

Afin de mentionner la norme relative à chaque paramètre, durant le suivi mensuel, chaque classe est déterminée par une couleur distinctive, selon les directives marocaine de la norme des eaux de surface d'une rivière (BO, 2016).

Le calcul des moyennes des indices d'altération et de pondération physico-chimique et bactériologique révèle que oued Tghat et oued Zhoun sont de mauvaise qualité. Presque toutes les altérations de pollution calculées sont hors normes, à l'exception des altérations de pH, de minéralisation, de particules en suspension et des coliformes fécaux qui appartiennent à une moyenne qualité.

L'analyse des résultats de la charge des eaux étudiées en éléments métalliques dénote des teneurs élevées dépassent les normes de qualité des eaux de surface (B.O, 2016). Ce qui traduit une qualité globale mauvaise dominée par la présence des éléments (Cr, As, Pb et Cd) et moyenne culminée par la présence du Zinc et du Nickel. Cela est prouvé par les résultats du diagnostic concernant les activités des zones Ain Nokbi et Sidi Boujida traversées respectivement par oued Tghat et oued Zhoun et qui ont exhibé un impact anthropique important issu particulièrement des rejets industriels et artisanaux dans ces oueds sans traitement au préalable. Les ETM étudiés sont caractérisés par une qualité globale mauvaise dominée en Cr, As, Pb et Cd, et une moyenne qualité en Zinc et Nickel dans les deux sites.

Tableau 4: Indices d'altération et de pondération physico-chimique, bactériologique et métallique des eaux des sites S1 et S2 durant l'année 2017

Altération	Sites	S1	S2
	Indices	100 80	80 60
	Ip & Ia		
(1) Température	**I a_1**=Ip_T	80,8	82,8
(2) Acidification	**I a_2**=Ip_{pH}	58,6	57,8
(3) Matières organiques et oxydables	**Ip_{OD}**	23,3	22,1
	Ip_{DBO_5}	17,4	18,2
	Ip_{DCO}	20,1	21,0
	$Ip_{NH_4^+}$	31,4	35,9
	Ia_3= (Ip_{3+} Ip_{4+} Ip_{5+} $Ip_{6)}$ /4	23,0	24,3
(4) Matières azotées	**I a_4**=Ip_{NTK}	45,9	40,6
(5) Matières phosphorées	**I a_5**=Ip_{PT}	33,2	37,9
(6) Nitrates	**I a_6**=Ip_{NO3}	33,1	42,9
(7) Minéralisation	**I a_7**=Ip_{CE}	50,1	50,3
(8) Particules en suspension	**I a_8**=Ip_{TU}	49,5	51,6
(9) Microorganismes	**I a_9**=Ip_{CF}	44,9	44,6
(10) ETM	**Ia** = Ip Cd	37,8	33,9
	Ia = Ip Cr	24,9	29,1
	Ia = Ip Ni	44,9	47,1
	Ia = Ip Pb	26,9	29,6
	Ia = Ip Zn	51,8	43,2
	Ia = Ip As	29,7	29,1
Qualité physicochimique globale		23	24,3
Qualité bactériologique globale		44,9	44,6
Qualité métallique globale		24.9	30,3

La forte charge métallique globale des deux sites étudiés est classée mauvaise à cause de la forte présence de l'As, du Cr, du Pb et du Cd. Selon le diagnostic réalisé, nous enregistrons un fort impact anthropique issu des rejets urbains, industriels et artisanaux non traités préalablement des zones étudiées et qui sont véhiculées vers les oueds. Le chrome est

majoritairement issu des tanneries, des teintureries, des dinanderies et des industries de textile,… Le Plomb est issu des poteries et des usages traditionnels dans les produits cosmétiques à base de Pb ou également à l'usage des ustensiles de cuisine à céruse. Le Cd et l'As pourraient provenir des industries de chimie et para-chimie. Ces résultats concordent bien plusieurs études similaires (Muchuwetiet al., 2006 ; Derwich et al., 2008 ; Bouchouata et al., 2011), dont la plus récente était en 2015.

Cette étude a souligné la menace que représentent les métaux lourds sur l'environnement et sur l'être humain et a confirmé l'irrigation des cultures maraîchères, jusqu'à présent par les eaux des oueds Fès chargées par les rejets industriels et artisanaux du quartier. La plupart de ces légumes sont cultivés dans les champs de Jnanates situés dans la zone Ain Nokbi, où les terres cultivées sont encore contaminées par les déchets historiques de l'ancien site industriel de la poterie (source potentielle du Pb) (Bouftini , 2015).

III.3. Répartition spatiale de la qualité globale des eaux d'oueds Tghat et Zhoun en 2017

III.3.1. Qualité physico-chimique globale

A l'issu des résultats précédents et des paramètres représentés dans la figure 17, nous déduisons que la qualité physico-chimique globale des 2 oueds étudiés est mauvaise, notamment en aval des agglomérations urbaines et des zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.

La charge est organique à la limite de la biodégradabilité et minérale. La charge organique est de caractère azoté et phosphorée. L'altération de la température appartient à la classe de bonne qualité (Figure.16) les valeurs notées respectent les normes confirmées (<30°C) (Bulletin officiel, 2016).

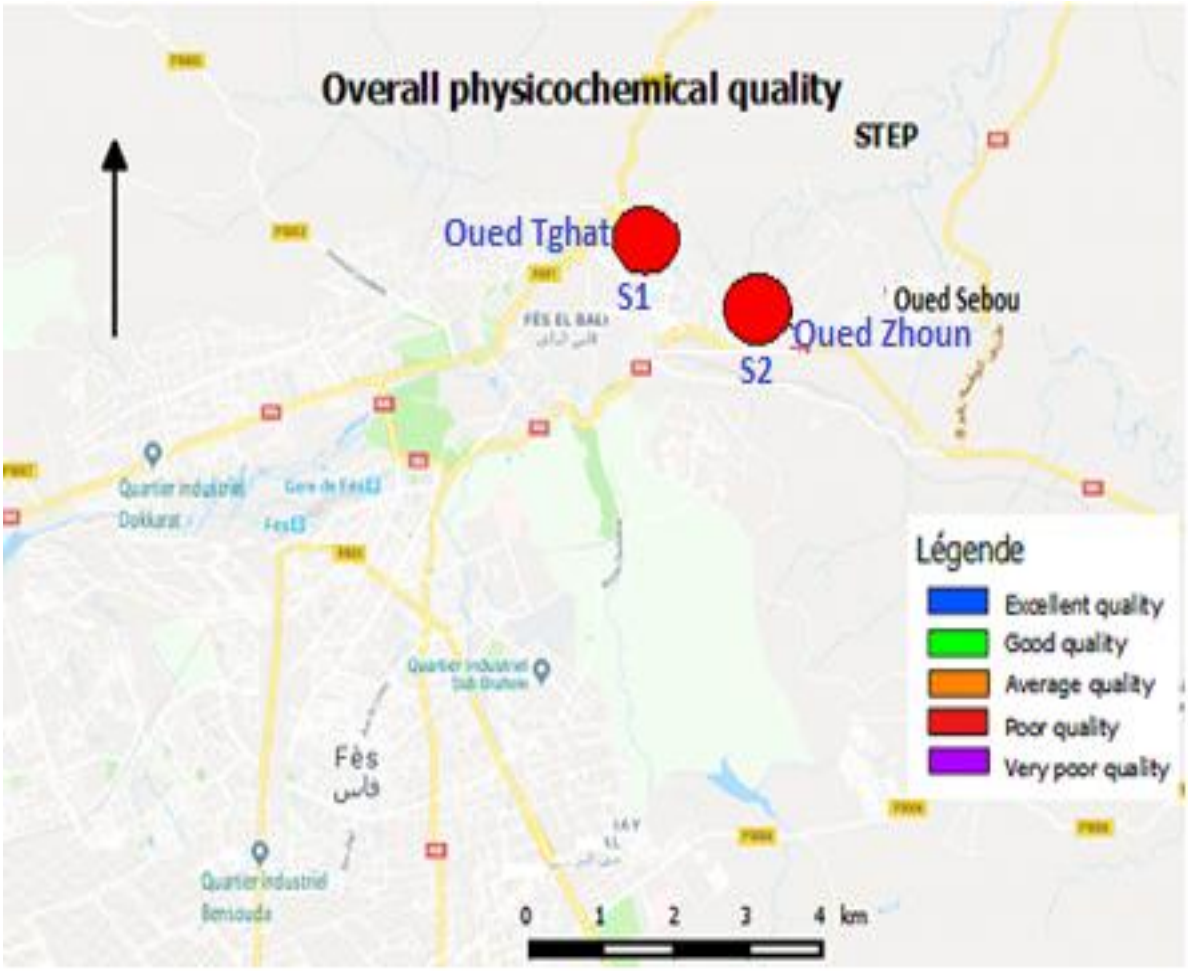


Figure 16: Répartition spatiale de la qualité physico-chimique globale des eaux d'oued Tghat et Zhoun en 2017

III.3.2. Qualité bactériologique globale

En terme de qualité globale bactériologique des oueds Tghat et Zhoun, elle est moyenne et de type fécale (Figure 17).

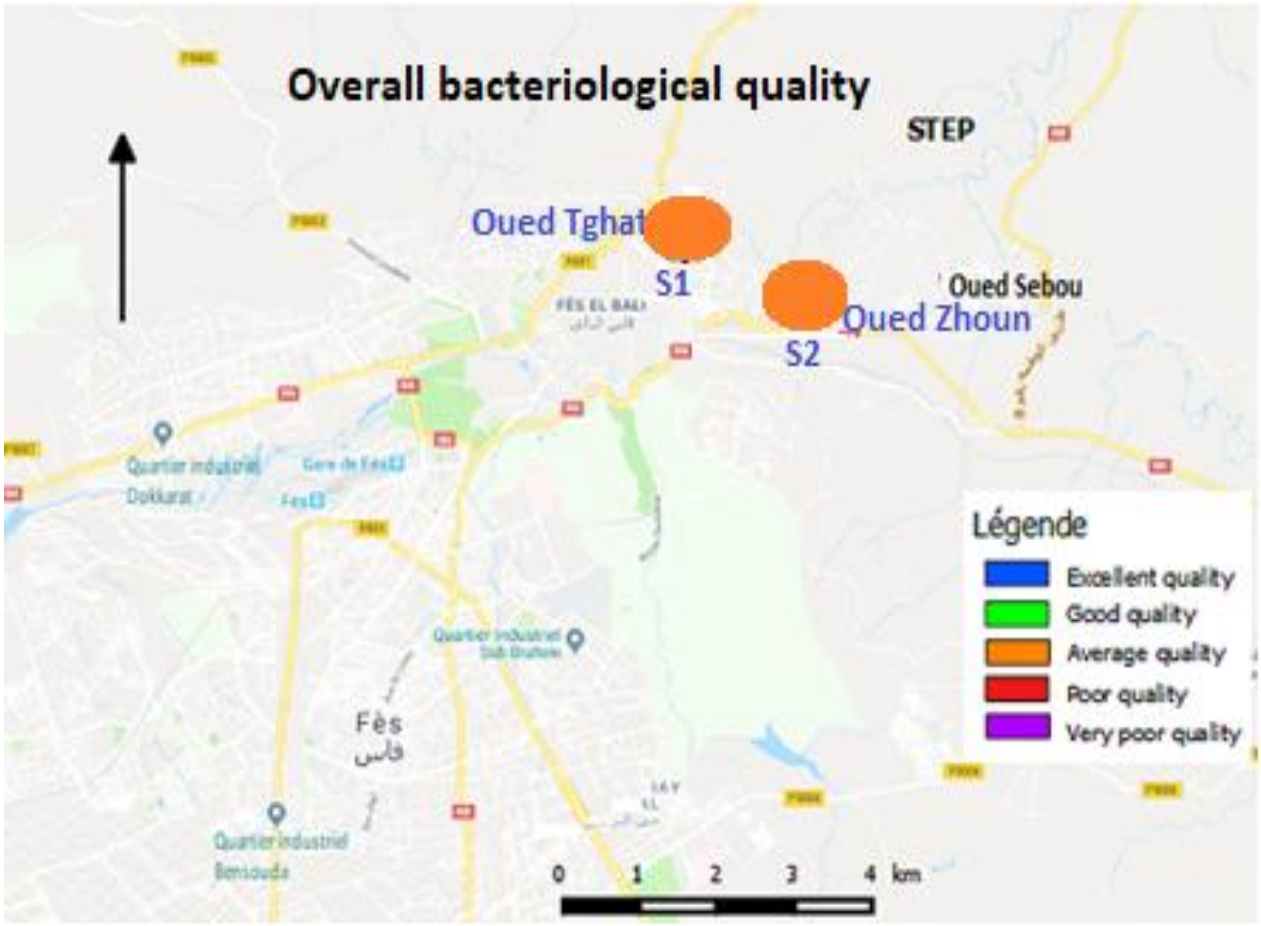


Figure 17: Répartition spatiale de la qualité bactériologique globale des eaux d'oued Tghat et Zhoun en 2017

III. 3.3. Qualité métallique globale

Les eaux des oueds Tghat et Zhoun sont d'une qualité globale métallique mauvaise. Les éléments toxiques ayant marqué une présence le long de l'année 2017 sont le Cr, l'As, le Pb et le Cd.

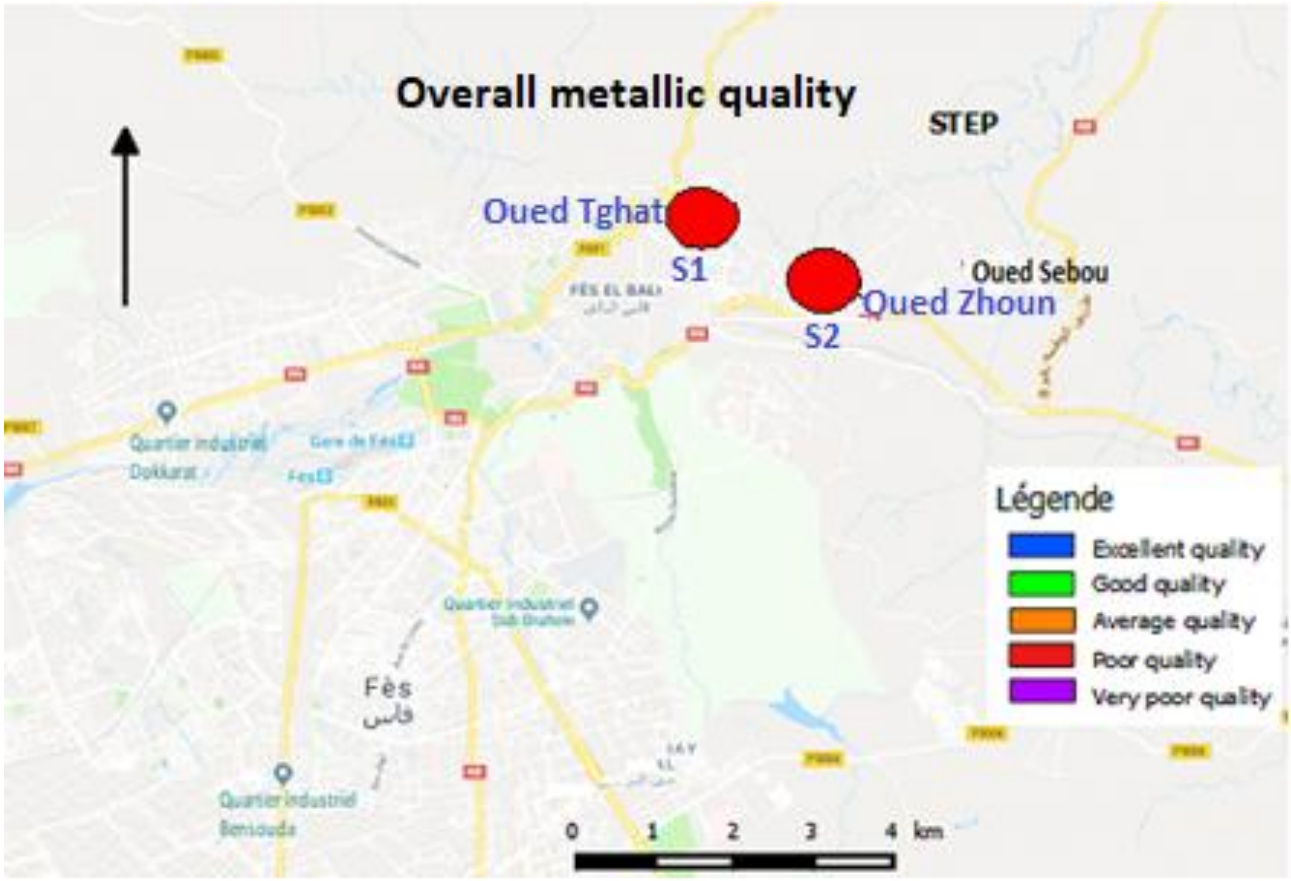


Figure 18: Répartition spatiale de la qualité métallique globale des eaux d'oued Tghat et Zhoun en 2017

IV. Qualité globale des eaux d'oueds Tghat et Zhoun

Les valeurs moyennes de la qualité globale au niveau d'oueds Tghat et Zhoun enregistrent que les eaux des deux oueds sont de mauvaise qualité (Figure 19). Notamment pour celles d'oued Zhoun. La mauvaise qualité s'est manifestée par une charge organique, à la limite de la biodégradabilité, riche en matières azotées et phosphorées, moyennement fécale, et fortement minérale à caractère métallique, principalement en Cr, As, Pb et Cd. Cela pourrait avoir un impact négatif sur la qualité des eaux d'oued Fès et par conséquent de Sebou d'une part ; et d'autre part, sur la santé de la population y exploitant.

En effet, la présence de ces métaux dans l'eau contribue au développement de certaines pathologies telles que le diabète, les cancers, l'hypertension,…Ils peuvent interférer avec toutes les grandes fonctions des organismes vivants : croissance, reproduction, comportement, nutrition, système nerveux,… Ils peuvent aussi altérer le processus de communication entre cellules ou tissus et la régulation du développement d'un organisme.

Les résultats ainsi obtenus témoignent que dans la zone Sidi Boujida, il ya une prédominance des activités artisanales en plus de sa densité populaire.

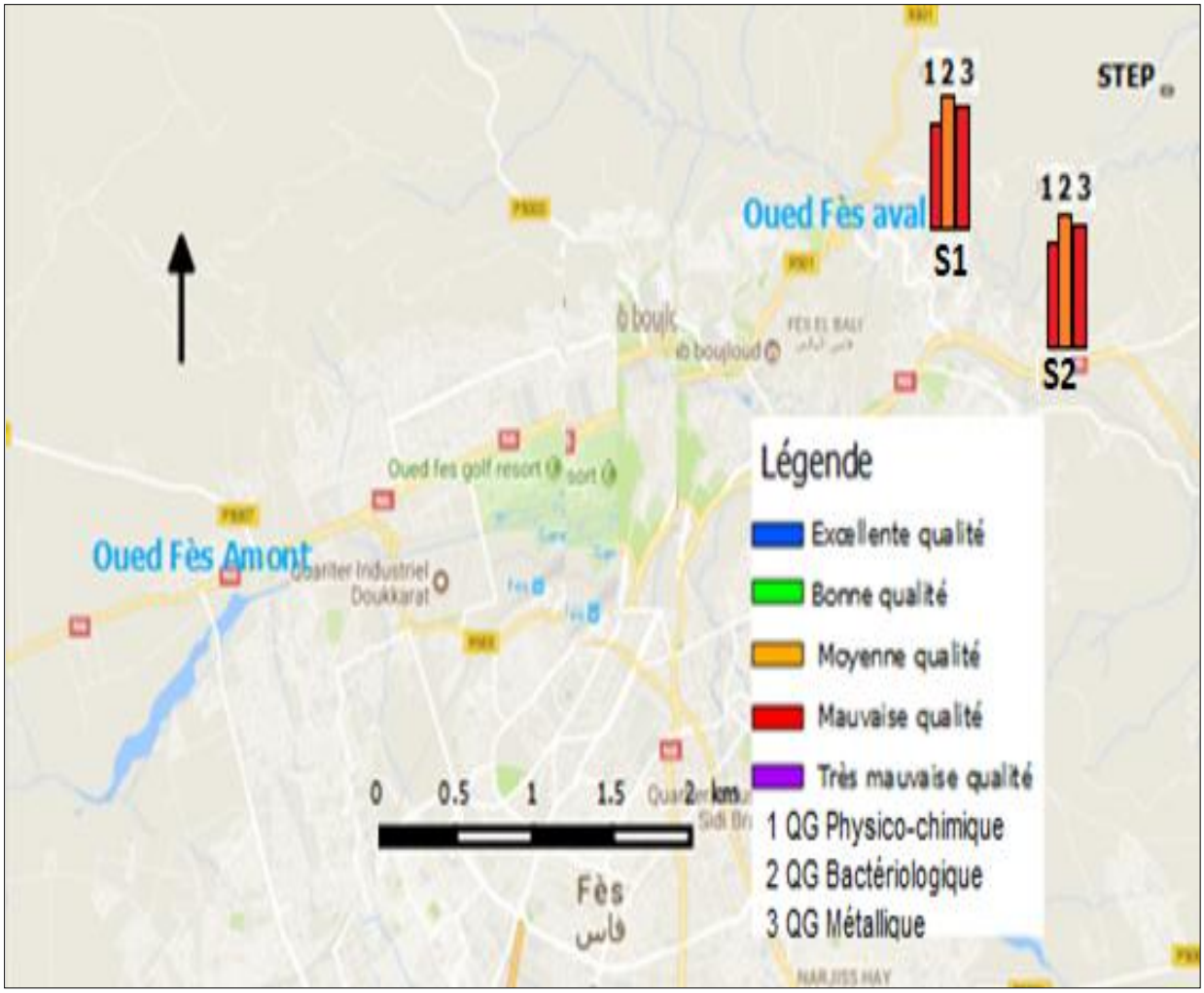


Figure 19: Qualité globale des eaux d'oueds Zhoun et Tghat de la ville de Fès en 2017

V. Analyse statistique des eaux de surface identifiées les plus polluées par ANOVA

L'analyse de la variance ANOVA consiste à comparer entre les sites de prélèvement et l'égalité des moyennes de chaque paramètre mesuré pendant la durée de l'étude. En fait, ce test permettra d'identifier les différences entre les sites étudiés et les campagnes de prélèvements et valider les résultats du suivi spatiotemporel de la qualité physico-chimique, bactériologique et métallique des eaux d'oueds Tghat et Zhoun.

L'étude consistait à :

- Connaitre l'évolution de chaque paramètre en fonction du temps ;
- Traiter la variation de ces paramètres en fonction des sites.

Le tableau 5 rassemble les résultats du test analytique uni varié, modèle fixe appliqué à chacune des 16 variables mesurées pendant la période d'étude du 09/01/2017 au 09/12/2017.

Tableau 5: Analyse de la variance ANOVA des paramètres identifiant la qualité des eaux, des sites S1 et S2 en fonction du temps

Paramètres	Sites				Mois			
	M.S	F	P value	Significant	M.S	F	P value	Significant
Température	0,082	0,006	0,941 ns	Non	58,602	73,433	P<0.0001***	Oui
pH	0,002	0,003	0,958 ns	Non	2,404	27,396	P<0.0001***	Oui
O_2 Dissous	0,168	0,181	0,672 ns	Non	3,758	81,490	P<0.0001***	Oui
CE	2128,091	0,003	0,955 ns	Non	2750009,455	354,528	P<0.0001***	Oui
DCO	1654,610	7,957	0,007***	Oui	785,103	10,211	P<0.0001***	Oui
DBO_5	511,364	1,311	0,259 ns	Non	1586,564	50,684	P<0.0001***	Oui
NTK	0,029	0,058	0,811 ns	Non	1.930	47,379	P<0.0001***	Oui
Nitrate	421,762	6,443	0,015**	Oui	133,072	2,386	0,029*	Oui
Ammonium	20,783	4,205	0,047*	Oui	16,840	9,269	P<0.0001***	Oui
Phosphore Total	2,472	9,993	0,003**	Oui	0,877	7,077	P<0.0001***	Oui
PES (Turbidité)	144,221	0,463	0,500 ns	Non	1147,542	21,653	P<0.0001***	Oui
Arsenic	0,174	0,219	0,642 ns	Non	1,649	3,0195	0,006***	Oui
Chrome	5,596	0,132	0 ,718 ns	Non	176,521	368,638	P<0.0001***	Oui
Plomb	100,929	2,721	0,107 ns	Non	139,697	17,592	P<0.0001***	Oui
Cadmium	0,009	1,221	0.275 ns	Non	0.015	2,874	0,011***	Oui
Coliformes fécaux	930909,091	0,111	0,740 ns	Non	10818909,091	1,467	0.196 ns	Non

p > a = 0,05 : (ns) différences non significatives

p < a = 0,05 : (*) différences juste significatives

p < a = 0,01 : (**) différences hautement significatives

p < a = 0,001 : (***) différences très hautement significatives

F: valeur F de Fisher ;

M.S: moyenne quadratique

Il est à signaler que la valeur de P signifie la probabilité du test Fisher; c'est un rapport de deux variances inter et intragroupe, l'hypothèse nulle est vraie quand P< 0,05% (Xiao et al.,2012). Les valeurs figurées dans le tableau présentent les moyennes quadratiques correspondant à l'étude des variations mensuelles des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métalliques. Le dépouillement des résultats assignent que la totalité des paramètres (T°, pH, Oxygène Dissous, Conductivité électrique , DCO, DBO_5, NH_4^+, NTK, Turbidité, Phosphore total, As, Cr, Pb et Cd) varient approximativement d'une façon très hautement significative avec la succession du temps (P < 0.0001). Le cadmium est hautement significative (P = 0,011) avec les mois.

Les nitrates sont juste significatives (P = 0,029) avec le temps. Tandis que pour les coliformes fécaux, nous pouvons accepter l'hypothèse nulle (valeur P > 0,05), car ce paramètre varie d'une façon non significative avec le temps.
Suite aux résultats atteints, nous constatons que :

- Le facteur temps a une influence importante sur la plupart des paramètres étudiés. excepté le paramètre des coliformes fécaux qui ne varie pas significativement avec le temps.
- Le facteur site a moins d'influence sur chacun des paramètres analysés que le facteur temps; la moyenne quadratique de tous les paramètres de chaque site est inférieure à celle du temps.

Les eaux d'oueds Tghat et Zhoun ont les mêmes sources de pollution, et presque les mêmes activités anthropiques (industrielles, agricoles…).

Les différences significatives distinguées sont liées à la densité populaire et le nombre de la diversité des activités artisanales surtout dans la zone Ain Nokbi.

VI. Traitement des eaux en amont des oueds Tghat et Zhoun par coagulation-floculation

Le traitement par coagulation-floculation consiste à réduire la charge de pollution des eaux usées entrant à l'amont des oueds identifiées les plus polluées de la zone Ain Nokbi (S1) et Sidi Boujida (S2). Ces zones sont reconnues par de nombreuses activités industrielles, artisanales et agricoles dans la région de Fès.

Le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_2,18H_2O$ et le Praestol ont été utilisés respectivement comme coagulant et floculant. L'optimisation de cette méthode a été effectuée dans différentes conditions expérimentales obtenues en variant les paramètres clés à savoir: le pH, les doses, la vitesse et le temps de coagulation-floculation.

Les eaux traitées ont été prélevées de la conduite de sortie de chaque zone d'étude : amont des oueds Zhoun et Tghat qui font l'aval d'oued Fès.

Les paramètres suivis sont ceux ayant un caractère de perturbateurs endocriniens : Cr, As, Pb et Cd. Vu que le coagulant exploité est le sulfate d'aluminium, les réactions qui pourraient avoir lieu seront la précipitation, la complexation ou la coagulation. Toutes ces réactions de transformation dépendent fortement du pH des milieux. De plus, les sels d'aluminium sont

rapidement hydrolysés dans l'eau pour donner une gamme de produits, tels que les espèces cationiques qui peuvent être absorbées par les charges négatives des colloïdes et donc neutraliser leurs charges et ce entrainer leurs agrégations.

IV.1. Ajustement du pH de coagulation-floculation

D'après le diagramme de pourbaix (Figure 20), les valeurs de pH fluctuent entre 5 -8,9 dans la zone de dominance de l'hydroxyde d'aluminium. C'est la gamme dans laquelle la forme dissoute de Al^{3+} est presque absente (Sakarinen, 2016) et donne la formation de la courbe résultante des réactions du complexe mises en jeu (Eq.2 et 3). A un pH basique, nous assistons à la formation d'hydroxyde d'aluminium ($Al(OH)_4^-$ (Éq.4). Tandis qu'à un pH acide, la formation de Al^{3+} est favorisée (Eq.1) réduisant ainsi l'efficacité du traitement (Bellebia et al., 2009).

Les réactions ayant lieu à différentes gammes de pH sont représentées ci-dessous :

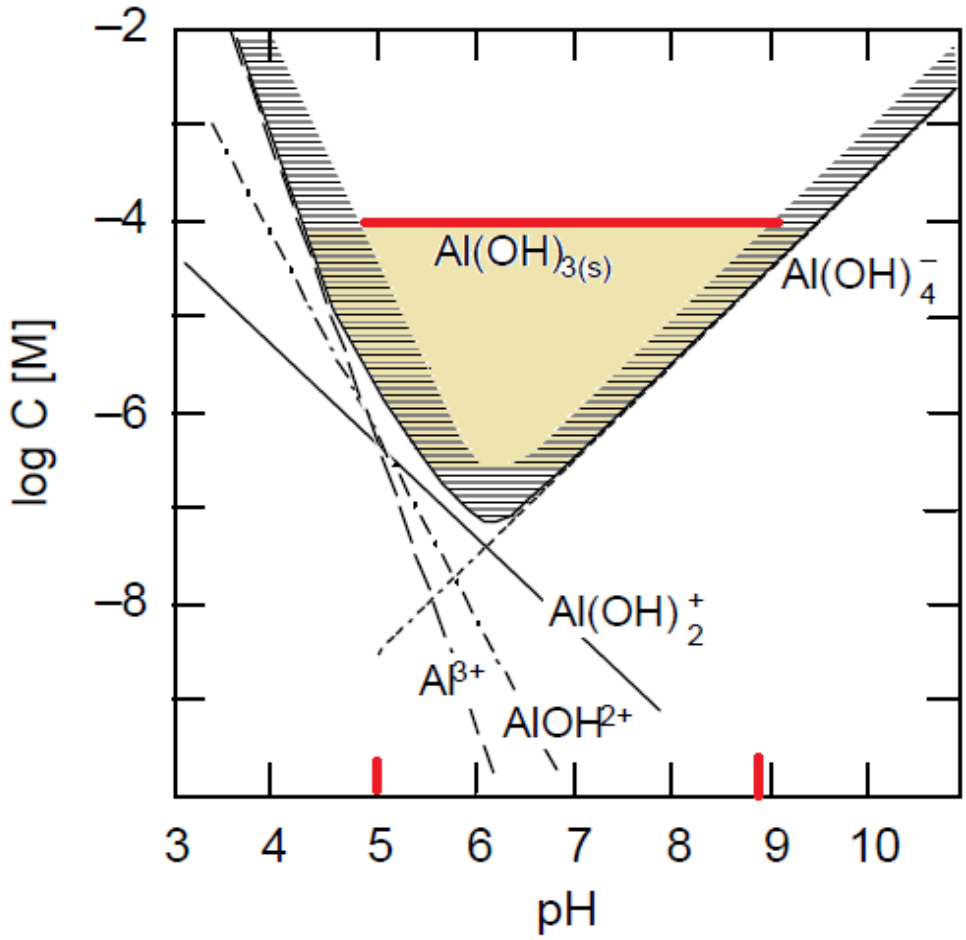


Figure 20:Diagramme de Pourbaix de l'aluminium (Boudhane, 2016)

A un pH entre 1 et 4 :

$$Al(OH)_{3s} + 3H^{+} \rightarrow Al^{3+} + 3H_2O \qquad \text{Équation 1}$$

A un pH entre 4 et 9 :

$$Al_2(SO_4) \rightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-} \qquad \text{Équation 2}$$

$$Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_{3s} + 3H^{+} \qquad \text{Équation 3}$$

A un pH compris entre 9 et 14 :

$$Al(OH)_{3s} + OH^{-} \rightarrow Al(OH)_4^{-} \qquad \text{Équation 1}$$

Pour notre cas, nous avons fluctué le pH dans une gamme de 6 – 7,5 (Figure 21) tout en fixant les autres paramètres puisque la zone de transformation de Al^{3+} en $Al(OH)_3$ aux faibles concentrations se situe pour des valeurs de pH comprises entre 5,5 et 8.

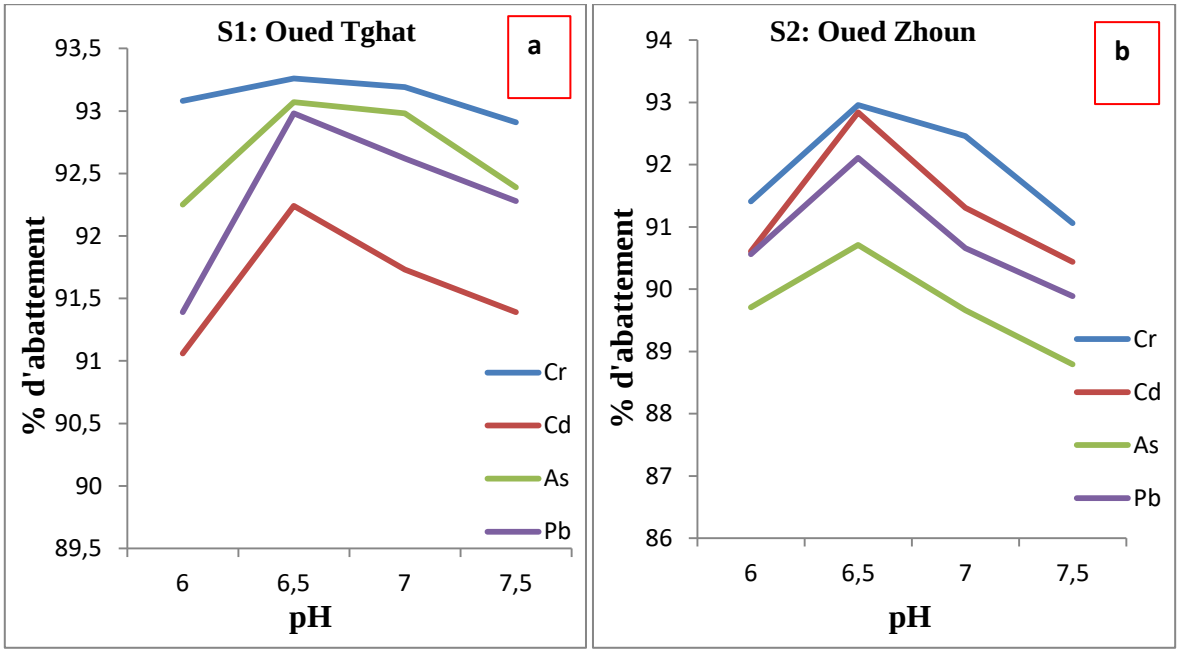


Figure 21: Ajustement du pH des eaux à traiter: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : $[Al_2OH_3]$ = 0,15 g.L^{-1}, [Praestol] = 1mg.L^{-1}, Temps de coagulation =3 min, Temps de floculation =20 min, vitesse de coagulation =150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min

Les courbes de la figure 21 nous ont permis de déceler un pH de 6.5 pour tous les paramètres dans les deux types d'eaux. En effet, l'Arsenic a été réduit de 93,1% (S1) et 90,2 % (S2) ; le chrome de 93,5% (S1) et 92,9% (S2) ; le Cadmium de 92,2% (S1) et 92,8% (S2) et le Plomb

de 93% (S1) et 92,1% (S2). Au-delà de cette valeur maximale du pH, les pourcentages d'élimination décroissent.

VI.2. Optimisation de la dose du coagulant

Dans l'optique d'optimiser la dose du coagulant, le pH a été fixé à sa valeur optimale auparavant identifiée (6.5). Les doses du coagulant ont été modifiées dans une gamme variant de 0,1 à 0,25 g. L^{-1}. Les résultats obtenus pour chaque site sont présentés dans la Figure 22 qui montre que l'augmentation de la dose du coagulant au-delà de 0,15g.L^{-1}diminue la concentration en As, Cr, Pb et Cd. Une élimination maximale de tous les métaux étudiées à une concentration de 0,15g.L^{-1} de coagulant variant entre 92.5% et 93.8%pour les eaux d'oueds Tghat (S1) et entre 90.8% et 93.5% pour les eaux d'oued Zhoun (S2).

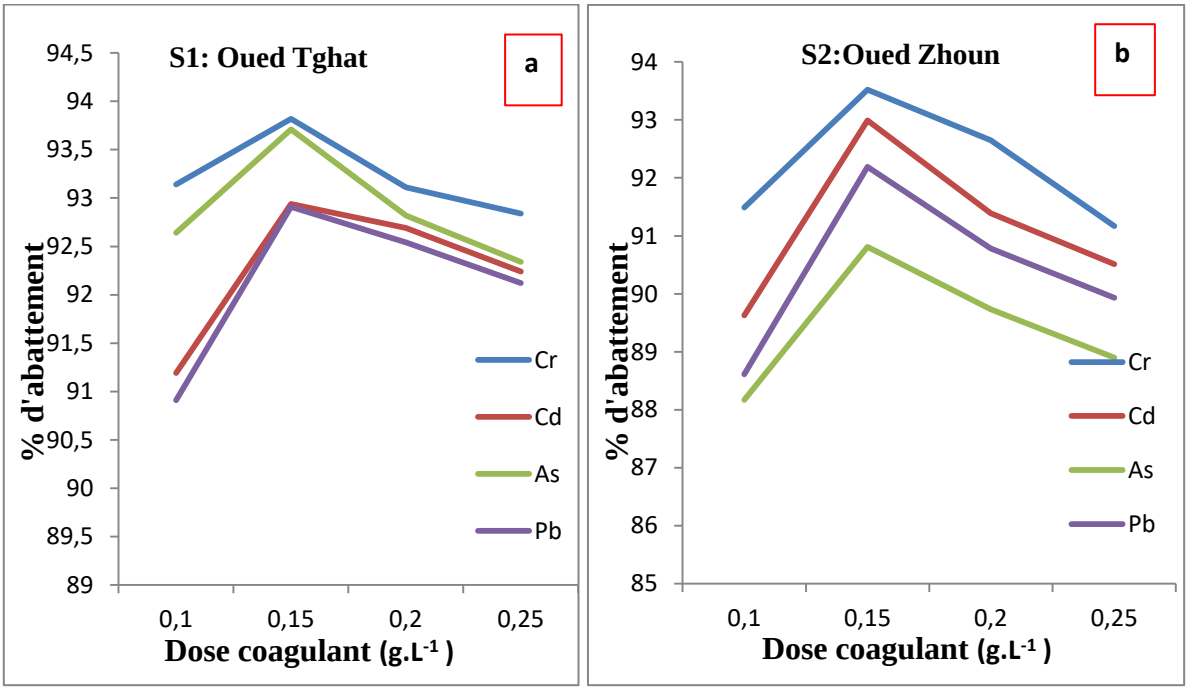


Figure 22: Effet de la dose du coagulant sur l'abattement du Cr, de l'As, du Pb, et du Cd : (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : pH =6,5, [Praestol] = 1 mg.L^{-1}, Temps de coagulation = 3min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min

VI. 3. Optimisation de la dose du floculant

Afin d'optimiser la dose du floculant, nous avons stabilisé le pH de 6,5 et la dose du coagulant à sa valeur optimale et 0,15 g.L^{-1}. Tandis que la dose du floculant a été variée entre 0.5 et 2 mg.L^{-1} (Figure 23).

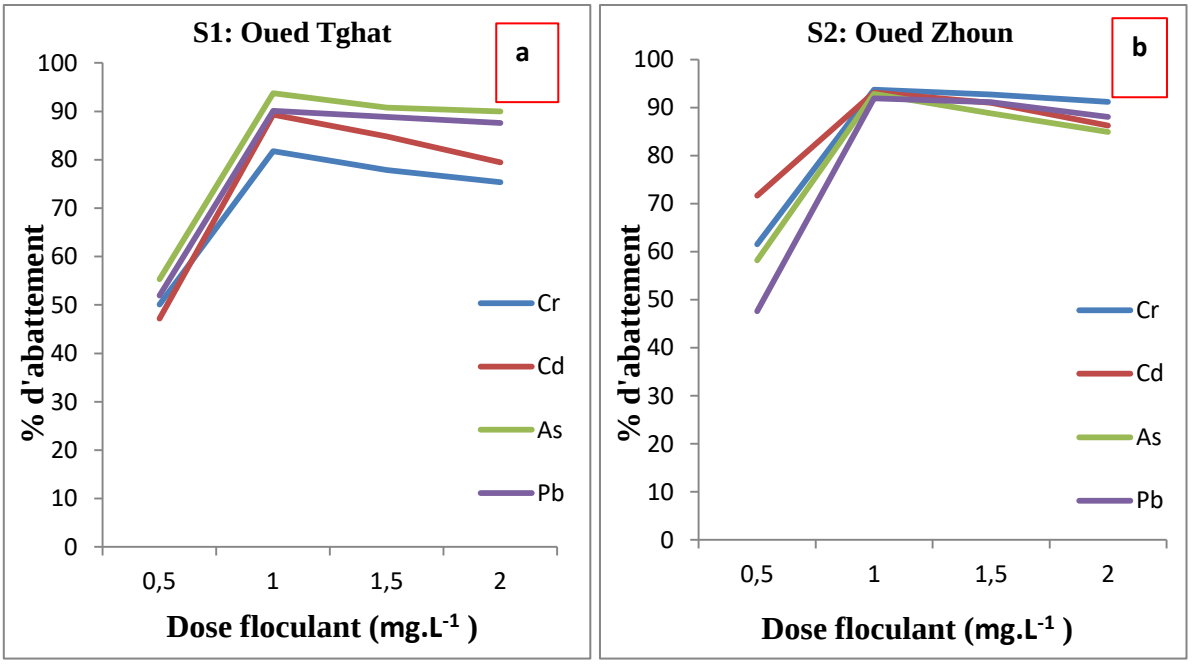


Figure 23: Effet de la dose du floculant sur l'abattement du Cr, As, Pb et du Cd: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al_2SO_4] = 0,15 g.L^{-1}, pH = 6,5, Temps de coagulation = 3min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min

Les courbes de la figure 23 relatent qu'une élévation de la concentration du floculant (Praestol 2540 ($C_{12}H_{24}ClN_3O_2$)) de 0.5 à 1 mg.L^{-1} augmente le pourcentage d'abattement des métaux des eaux de S1 de 47,2% à 93,7% et celles de site S2 de 58,2% à 93,7%. L'efficacité du traitement est légèrement meilleure notamment, en Cr pour les eaux d'oued Tghat pour une dose de 1 mg.L^{-1}. Le Pb a été efficacement éliminé par ce floculant dans les eaux d'oued Zhoun. Nous pouvons également signaler qu'une concentration supérieure à 1 mg.L^{-1}, ne progresse sensiblement pas le pourcentage de réduction. L'utilisation du Praestol 2540 comme floculant favorise l'agglomération des particules déstabilisées à faible concentration et minimise le temps de leur décantation.

VI.4. Optimisation du temps de la coagulation floculation

Les figures 24 et 25 illustrent l'effet du temps de la coagulation et de la floculation sur l'abattement de la charge métallique des eaux des sites S1 et S2. Le temps de coagulation a été varié de 1 à 7 min et le temps de floculation de 15 à 30 min, tout en gardant le pH fixe de 6.5, une dose de coagulant de 0,15 g.L^{-1} et une dose de floculant de 1 mg.L^{-1}.

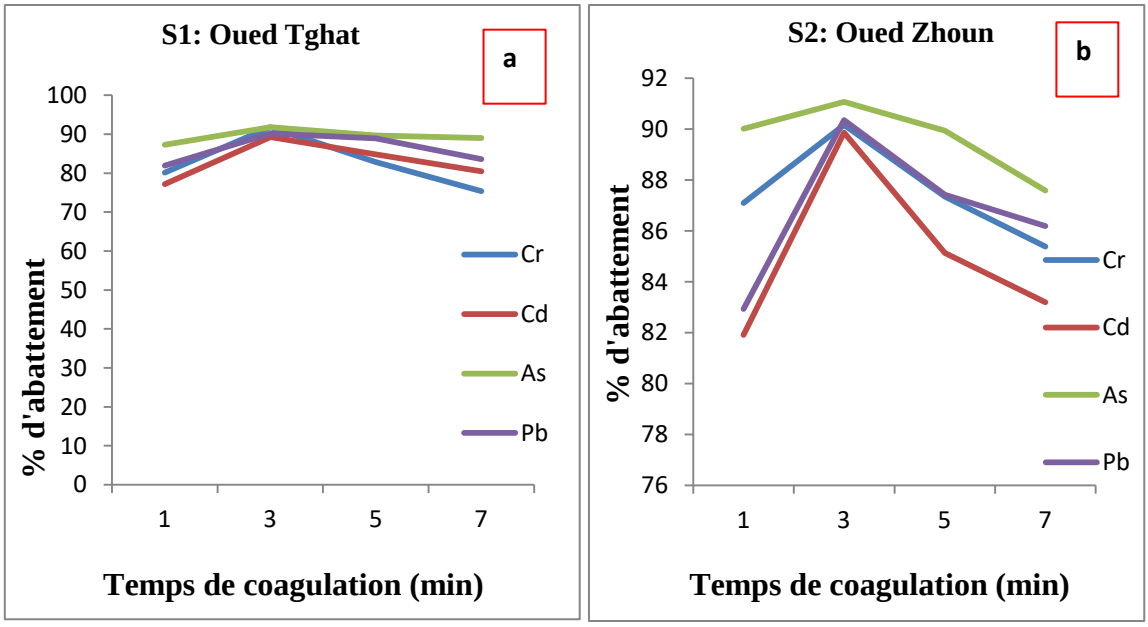


Figure 24: Effet du temps de coagulation sur l'abattement du Cr, de l'As, du Pb et du Cd: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2SO4]=0,15 g.L^{-1}, pH=6,5, Temps de coagulation=3min, Temps de floculation=20 min, vitesse de coagulation=150 tr/min, vitesse de floculation= 20 tr/min

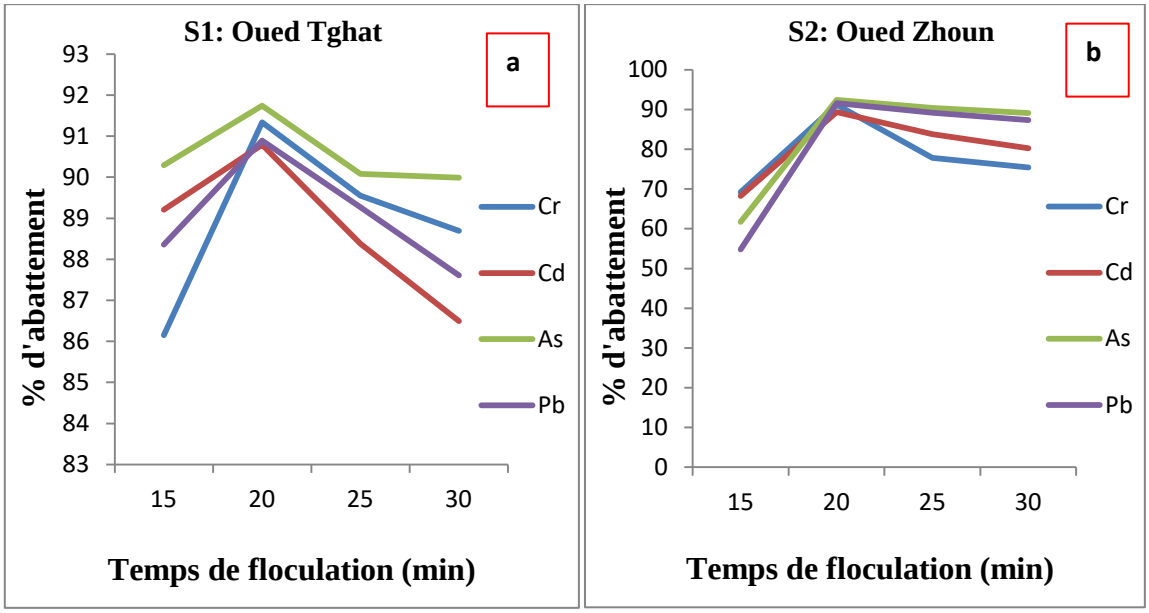


Figure 25: Effet du temps de floculation sur l'abattement du Cr, de l'As, du Pb et du Cd: (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2SO4] = 0,15g.L-^{1}, pH = 6,5, Temps de coagulation = 3min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min

Selon la figure 24, le maximum d'abattement a été obtenu pour un temps de coagulation de 3min pour les eaux des sites S1 et S2. L'élimination au maximum de ce temps a été d'environ 90 % à 91 % pour tous les métaux. Quant au maximum du temps de floculation des particules coagulées et flottées, il a été de 20 min correspondant à une réduction de près de 92 % pour presque tous les métaux et les eaux des deux oueds (figure 25).

Il est à signaler qu'un temps, qui dépasse les 7 min de coagulation et 30 min de floculation, agit sur les performances de la coagulation-floculation. Un excédent du temps optimal tout en respectant les autres conditions opératoires agit défavorablement sur l'agglomération des particules en les dissociant. Ce qui diminue le pourcentage de réduction à cause fort probablement de la complexation des métaux. Donc un temps de 3min d'agitation rapide (150 tr.min^{-1}) suffit pour déstabiliser les particules colloïdales dans les eaux de surface analysées et un temps de 20 minutes d'agitation lente (20 tr.min^{-1}) est assez pour l'agglomération et la décantation des flocs colloïdales.

VI.5. Optimisation de la vitesse de coagulation floculation

Les figures 26 et 27 confirment que le taux d'abattement les plus élevés des métaux ont été atteints à une vitesse de coagulation maximale de 150 tr.min^{-1} et une vitesse de floculation de 30 tr.min^{-1}, un pH de 6,5, une concentration de coagulant de 0,15g.L^{-1}, et de floculant de 1 mg.L^{-1}, avec un temps de coagulation de 3 min, et de floculation de 20 min.

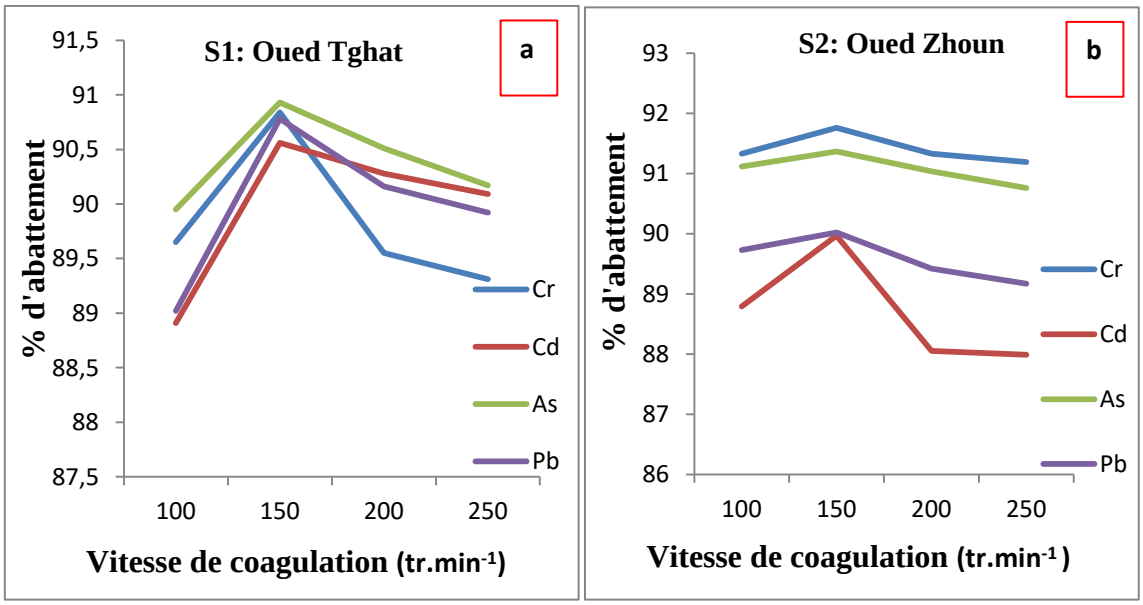


Figure 26: Effet de la vitesse de coagulation sur l''abattement de Cr, de l'As, du Pb et du Cd : (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al2SO4] = 0,15 g.L^{-1}, pH = 6,5, Temps de coagulation =3 min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation =150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min

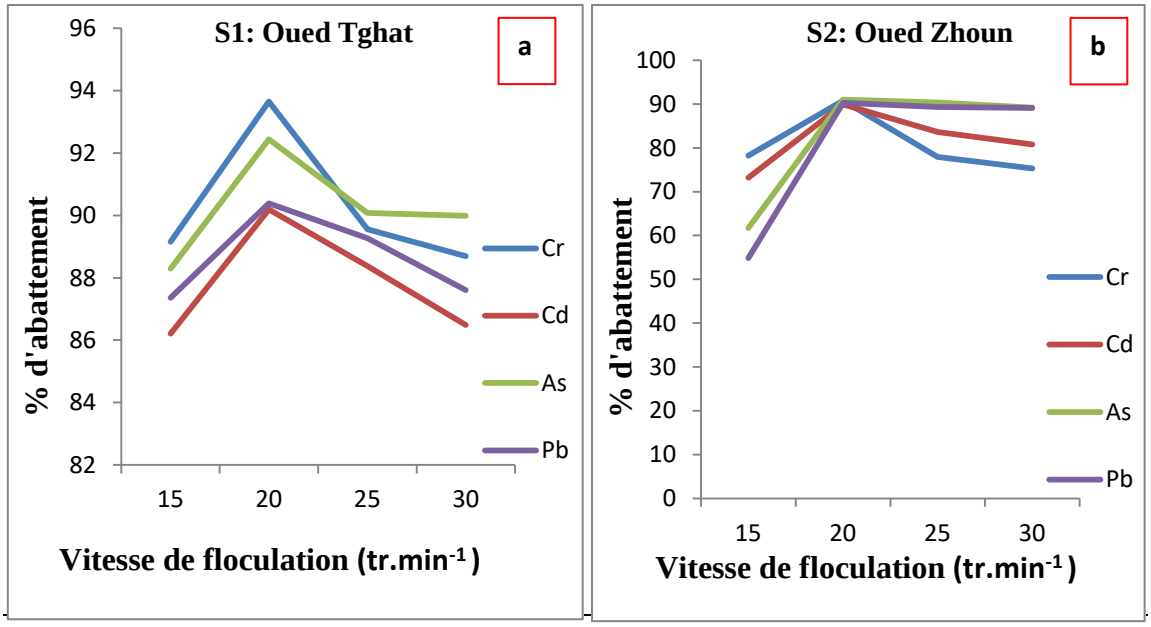


Figure 27: Effet de la vitesse de floculation sur l'abattement de Cr, de l'As, du Pb et du Cd : (a) S1 ; (b) S2 ; Conditions opératoires : [Al_2SO_4] = 0,15 g.L^{-1}, pH = 6,5, Temps de coagulation = 3 min, Temps de floculation = 20 min, vitesse de coagulation = 150 tr/min, vitesse de floculation = 20 tr/min

Au cours du procédé de coagulation, la vitesse rapide est utilisée pour étaler le coagulant dans toute l'eau et disperser les particules en les déstabilisants. Tandis que dans le processus de floculation, le mélange lent est un élément important pour rassembler les particules déstabilisées en flocs en augmentant leurs masses pour faciliter leurs décantations et obtenir les performances les plus favorables. D'après la figure 27, nous pouvons noter que la vitesse a le même comportement que le temps, lorsqu'elle dépasse la vitesse optimale une diminution au niveau des performances a été constatée à cause du phénomène de dissociation des particules à des temps où à des vitesses élevées. L'optimum de la vitesse de floculation a été atteint à 20 tr.min^{-1}.

V. Conclusion

Le suivi spatiotemporel des paramètres caractérisant les eaux d'oueds Tghat, Zhoun, Fès en amont, Ain Smen et Lmahraz, traversant respectivement les quartiers Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim, enregistre que ces eaux portent de fortes charges organiques, azotées, phosphorées et sont riches en Chrome, Arsenic, Plomb et Cadmium et à moindre degré en charge bactérienne (coliformes fécaux). Les eaux les plus polluées sont celles d'oued Tghat et oued Zhoun.

L'étude de la qualité globale des eaux de surface des sites S1 et S2 par l'approche SEQ-SIG a relaté dix altérations regroupant les paramètres physicochimiques et les coliformes fécaux et une altération propre. La charge métallique a montré qu'elles sont de mauvaise qualité notamment, en éléments traces métalliques à effet endocrinien. Cette charge provient essentiellement des industries avoisinant ces oueds : tanneries et dinanderies.

L'analyse de la variance ANOVA des résultats de l'évaluation spatiotemporelle de la qualité des eaux des oueds Tghat et Zhoun affirme les résultats obtenus par la technique SEQ-SIG. Elle dénote que le facteur site a moins d'influence sur chacun des paramètres analysés que le facteur temps, ainsi que le paramètre des coliformes fécaux ne varie pas significativement avec le temps.

Le traitement par coagulation floculation par le sulfate d'aluminium des eaux usées en amont des oueds Tghat (S1) et Zhoun (S2) a permis la réduction de presque de 90 à 94% de tous les métaux.

Les conditions optimales de traitement sont : le pH de 6,5 ; une dose de coagulant de 0,15 $g.L^{-1}$, une dose de floculant de 1 $mg.L^{-1}$ pendant 3 min à 150 $tr.min^{-1}$ de coagulation et 20 min de floculation.

Les conclusions de cette étude confirment que la pollution des eaux étudiées de la ville de Fès est dominée par la démographie intense des zones Ain Nokbi et Sidi Boujida et les activités anthropiques importantes particulièrement industrielles et agricoles. A cet égard, il nous est apparu nécessaire d'examiner la situation épidémique du diabète au niveau des cinq zones industrielles de la ville de Fès.

Partie II :

Impact de la pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès sur les maladies endocriniennes : Cas du diabète

En dépit de nombreux efforts octroyés par le gouvernement à grande échelle et d'autres services et organismes intéressés par l'eau et sa problématique, les maladies d'origines endocriniennes notamment le diabète demeure une préoccupation majeure en matière de santé publique et d'environnement.

En effet, la santé environnementale occupe une place croissante au sein des problématiques de santé publique. Elle constitue un cadre théorique pour l'analyse des relations entre l'environnement et la santé rassemblant un certain nombre de principes et de disciplines, ceux-ci interagissent et se complètent pour assurer une meilleure compréhension des phénomènes de santé.

Cette partie étudie la situation épidémiologique du diabète dans les cinq dernières années, puis les résultats de l'enquête épidémiologique transversale dans les cinq zones de la ville de Fès : Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim et la détermination de la relation entre la maladie du diabète et la charge métallique, des eaux de surface traversant la ville de Fès : Oued Tghat, Oued Zhoun, Amont Oued Fès, Oued Ain Smen et Oued Lmahraz.

Chapitre 1 : Synthèse bibliographique

I. Introduction

Ces dernières décennies, l'évolution des risques environnementaux et leurs répercussions sur la santé sont devenues des enjeux sanitaires, environnementaux et scientifiques majeurs de manière inquiétante; pouvant générer ainsi des maladies chroniques, en particulier d'origine endocrinienne. Bien que le Maroc soit en pleine transition épidémiologique, il souffre du diabète comme étant une maladie endocrinienne majeure et plus fréquente, provenant aussi de la dégradation de l'environnement.

Ce chapitre porte sur une étude bibliographique relative aux risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface, aux différentes notions de la science de l'épidémiologie qui évalue les risques causant cette maladie, dont l'état actuel du diabète. En outre, il expose les efforts déployés par l'état pour surmonter les problèmes sanitaires. Enfin, il rappelle aussi les travaux récents sur les méthodes d'évaluation des risques sanitaires, de corrélation entre la qualité des eaux et la prévalence du diabète, et leur représentation spatiale.

II. Généralités sur l'épidémiologie

L'épidémiologie est une science qui étudie la distribution, la fréquence et les déterminants des maladies, ou de tout autre événement de santé, auprès d'une population et qui applique les données révélées par l'étude au contrôle de ces problèmes de santé (ANSES, 2012). Initialement, l'épidémiologie était la science des épidémies des maladies contagieuses, mais elle s'est développée et englobe désormais tous les domaines influençant les maladies et la mortalité. Elle tente de décrire les différents facteurs (biologiques, environnementaux, mode de vie, soins de santé) qui influencent la santé en recherchant les causes et/ou les interventions efficaces (Kohler N'Djamena, 2010 ; ANSES, 2012). C'est en fait, une discipline qui regroupe les maladies infectieuses ou non, les hospitalières, les génétiques, les environnementales,...(Egilman, et Howe, 2007),…

II.1. Branches de l'épidémiologie

On distingue trois types d'études épidémiologiques : descriptive, explicative et évaluative.

- L'épidémiologie descriptive : étudie la fréquence et la répartition des problèmes de santé dans la population en fonction des caractéristiques des personnes (âge, sexe, profession), de la répartition géographique et de leur évolution dans le temps (Vergnenegre, 2011 ; Mrabet, 2017). Elle a pour but d'étudier la répartition des

phénomènes morbides dans les populations et leur variation dans le temps, grâce à une quantification qui utilise les statistiques (dénombrement des cas présentés sous forme de tableaux, d'histogrammes et de courbes) (Carrère, 2013; Saliou & Dupuis , 2018). Elle comporte deux principaux types : écologique et transversale :

- Enquête écologique : repose sur une étude de l'écologie des corrélations géographiques et temporelles des maladies en étudiant le lien entre les variations d'indicateurs collectifs d'exposition moyenne et état de santé (Vergnenegre, 2011). Elle n'est donc pas étudiée au niveau des individus mais des populations et elle s'appuie sur des données disponibles pour juger d'hypothèses sur le rôle étiologique d'une exposition sur une maladie (Arnaud, 2013).
- Enquête transversale : étudie à un moment donné le groupe de population qui nous donne une image instantanée d'une situation épidémiologique et de la prévalence de problèmes de santé et/ou de leurs facteurs de risque en un moment donné (t) (Ibanez & Martinez, 2009). Elle comporte un recueil d'informations uniques de tous les individus permettant de mesurer à un moment donné la fréquence des cas présents, c'est à dire la prévalence de la maladie (Arnaud, 2013).

➢ L'épidémiologie explicative ou analytique : recherche les causes des problèmes de santé. Elle étudie le rôle de l'exposition à des facteurs pouvant favoriser l'apparition de pathologies (Vergnenegre, 2011 ; Arnaud, 2013 ; Mrabet, 2017).

➢ L'épidémiologie évaluative : consiste à apprécier les résultats d'une action de santé dans la collectivité. Elle :

- regroupe l'évaluation des stratégies, des pratiques, des programmes de santé et des thérapeutiques.

- fait appel, si nécessaire, à l'évaluation médico-économique qui associe la mesure des coûts et des conséquences des actions de santé.

-fait l'objet d'un polycopié spécifique (Arnaud, 2013 ; Mrabet, 2017).

Dans notre travail, nous avons mené une étude épidémiologique transversale à visée descriptive en se basant sur une enquête appropriée.

II.2. Types d'enquêtes en épidémiologie

Les enquêtes épidémiologiques peuvent concerner l'ensemble de la population : elles sont dites exhaustives (ex : enregistrement des maladies à déclaration obligatoire). Elles peuvent concerner un échantillon d'effectif réduit, extrait par sondage et représentatif de la population étudiée : il s'agit alors d'enquêtes par échantillonnage.

A cet effet, les enquêtes épidémiologiques se divisent en deux grandes catégories: les enquêtes **expérimentales** et les enquêtes d'**observation** (Figure 28) :

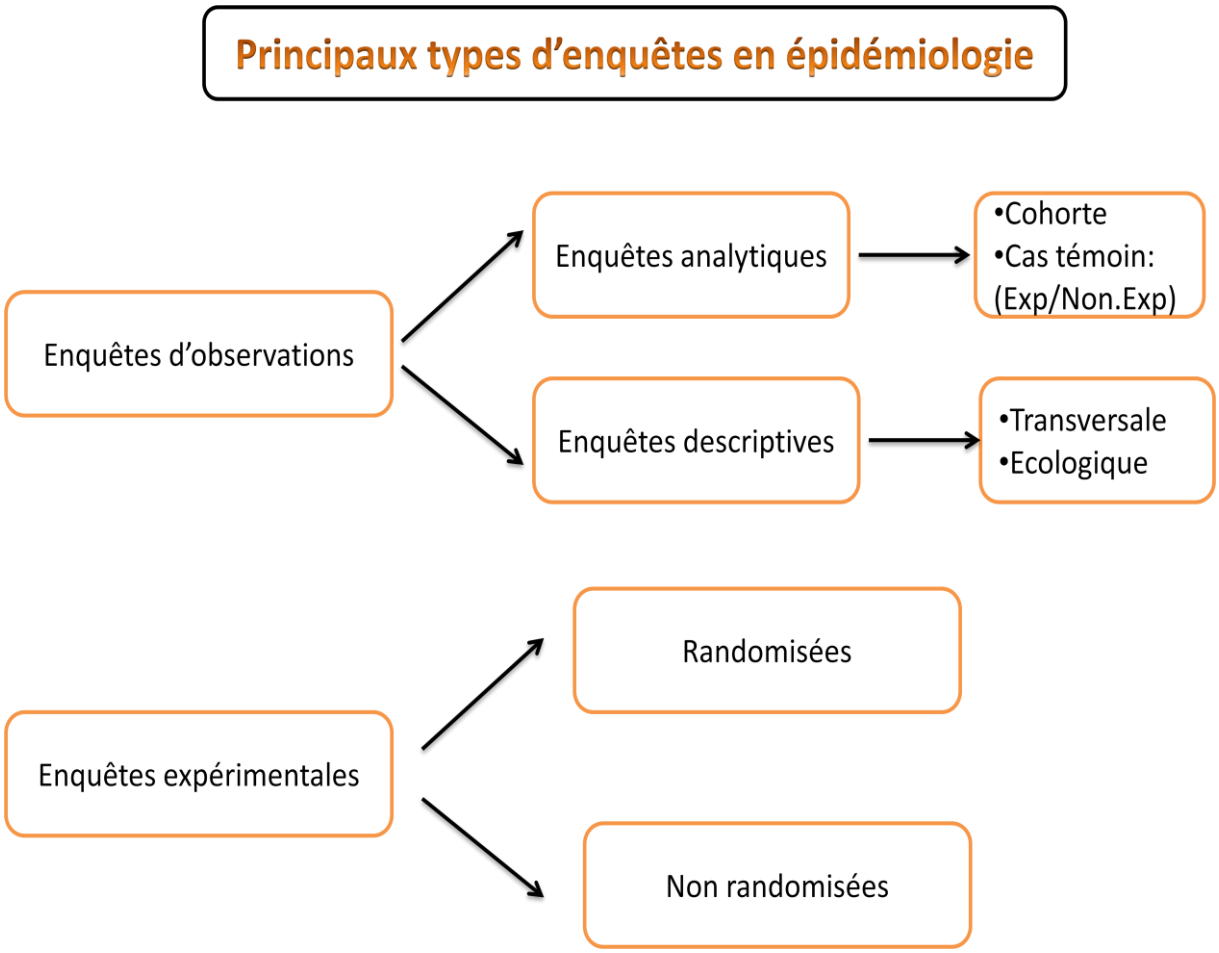


Figure 28: Principaux types d'enquêtes en épidémiologie

Dans les enquêtes expérimentales, l'enquêteur contrôle l'attribution aux sujets de l'enquête des facteurs qu'il étudie dans le but de pouvoir donner une interprétation causale aux associations observées entre exposition et maladie. Le schéma idéal est celui de l'expérimentation randomisée comme dans l'essai thérapeutique de phase III. Les expérimentations non randomisées sont essentiellement utilisées dans les domaines de l'évaluation des actions de santé (campagne de prévention ou de dépistage, comparaisons de politiques de soins). Les enquêtes d'observation sont les plus fréquentes et les plus utilisées en épidémiologie. Elles sont souvent les seules possibles car l'exposition des sujets à tel ou tel facteur ne peut pas dépendre de l'enquêteur (par exemple, il n'est pas possible d'assigner par randomisation l'usage du tabac à deux groupes de sujets). L'interprétation des résultats, en termes de causalité, se trouve plus difficile (Arnaud, 2013).

Dans notre étude épidémiologique à visée descriptive, nous nous sommes basés sur l'enquête transversale, afin d'évaluer les maladies causées par la pollution des eaux de surface de la ville de Fès.

III. Risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface

Ces dernières années, la santé environnementale occupe une place progressive au sein des problématiques de santé publique. En effet, la santé environnementale désigne un cadre hypothétique pour l'analyse des liens causals entre l'environnement et la santé rassemblant un certain nombre de principes et de disciplines pour assurer une meilleure compréhension des phénomènes de santé. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a montré que plus de 80 % des maladies, 24 % de la charge mondiale de morbidité et 23 % de tous les décès peuvent être liés à des facteurs physiques, biologiques, sociaux… de l'environnement (OMS, 2010).

En 2015, Burisch et Munkholm ont considéré que l'évaluation du risque de la santé environnementale chez les populations se base considérablement sur la science de l'épidémiologie. Cette dernière couvre l'étude de la prévalence et de la transmission des maladies dans les populations, d'en faire la distribution selon les caractéristiques de personnes, de lieu et de temps afin d'émettre des hypothèses sur les déterminants de cette fréquence (Burisch, J., & Munkholm, 2015). En 2016, Grant a affirmé que la prévention des problèmes de santé joue un rôle primordiale dans la compréhension de la façon dont la dégradation des eaux de surface des oueds influence sur la répartition géographique de la prévalence des maladies tels que le diabète, l'hypertension, l'autisme, le parkinson,… (Grant, 2016). Il a aussi montré que les études épidémiologiques sont importantes pour investiguer et élucider le rôle de l'eau dans l'apparition des flambées de plusieurs maladies. En 2016, Wang et al ont évalué l'association entre la pollution de l'eau et les effets sur la santé par une étude longitudinale. Ils ont déduits qu'il est nécessaire de prendre en considération le lien causal entre la santé et l'environnement, du fait que la propagation des maladies contagieuses est influencée par des facteurs qui dépendent de l'agent pathogène (morbidité), de l'individu (sexe, âge,...), de l'environnement (éléments chimiques, température, sécheresse…), et du niveau économique et social de la population (analphabétisme, tourisme,…).

Depuis quelques années, il est constaté un regain d'attention et des préoccupations majeures de santé publique pour les substances chimiques qualifiées des perturbateurs endocriniens. Ces derniers conduisent ou contribuent à la survenue de pathologies qui représentent des enjeux de santé de premier plan (RES, 2012), (Santé-environnement, 2015).

III.1. Perturbateurs endocriniens (PE)

Un perturbateur endocrinien est défini par l'OMS et l'Union Européenne comme étant : une substance chimique exogène ou un mélange d'origine naturel ou artificiel étranger qui altère les fonctions du système endocrinien et, par voie de conséquence, cause un effet nocif sur la santé chez un organisme intact, sa descendance ou des (sous)-populations, les (sous) populations faisant référence à un impact de ces molécules sur une partie ou sur l'ensemble d'une population d'organismes vivants (Bergman et al., 2013). Ce système fonctionne à partir de trois principaux éléments: les glandes endocrines, les hormones secrétées par ces glandes et les récepteurs qui fixent les hormones pour en extraire un message (Prescrire Rédaction, 2011).

III.1.1. Mode d'action des PE

Les perturbateurs endocriniens ont des structures similaires a de nombreuses hormones leur conférant ainsi des propriétés hormono-mimétiques. Ces molécules sont capables d'agir de différentes façons sur le système endocrinien :

- En mimant l'hormone : le perturbateur endocrinien se fixe sur les récepteurs cellulaires de l'hormone et entraine une réponse équivalente, on parle de propriétés agonistes.
- En bloquant l'action de l'hormone : le perturbateur endocrinien se fixe aux récepteurs hormonaux et empêche l'émission de leurs signaux, on parle de propriétés antagonistes.
- En modifiant la production naturelle des hormones naturelles (oestrogènes, testostérones) en interférant avec leurs mécanismes de synthèse, de transport ou de d'excrétion (ANSES, 2012) ; (Planchon, 2014).

III.1.2. Sources d'expositions aux PE

L'exposition aux PE de la population générale concerne de faibles doses de façon continue.

Les sources potentielles aux perturbateurs endocriniens sont les aliments, les eaux contaminées, les effluents de stations d'épuration, les eaux usées industrielles, les dispersions de pesticides agricoles, la migration de substances depuis l'emballage, la contamination des sols de cultures, les émissions des gaz de sources industrielles, l'incinération des déchets et les contaminants présents dans les produits de consommations (INSERM, 2008 ; INSERM, 2011).

Les principaux PE sont répartis en 4 groupes selon la famille de produits et la ou les source(s) de contamination : produits chimiques industriels, pesticides/produits phytosanitaires, hormones stéroïdiennes et produits pharmaceutiques (OMS, 2012).

III.1.3. Mécanisme d'action de la perturbation endocrinienne

Les PE agissent par des mécanismes diversifiés que leur identification en devient problématique nécessitant le recours à de nombreux tests (OMS, 2012).

Le système endocrinien est constitué de cellules, regroupées en glandes, capables de sécréter des hormones. Ces dernières sont des messagers qui agissent localement ou à distance de leur site de sécrétion et qui présentent une structure chimique dérivée, souvent, d'acides aminés, de stéroïdes ou de peptides. Les hormones régulent de nombreux processus physiologiques dont la croissance, le développement, la reproduction, la grossesse, le métabolisme énergétique, la soif, la satiété, la pression artérielle, le rythme cardiaque, le sommeil, etc. Après leur synthèse, les hormones sont libérées dans le flux sanguin et propagées par des protéines de transport jusqu'à leurs cibles tissulaires. Dans ces tissus, elles vont se fixer et s'installer à des récepteurs membranaires ou nucléaires spécifiques pour produire un effet avant d'être métabolisées et éliminées. Ces récepteurs présentent des spécificités tissulaires, de réponse et temporelle ce qui signifie que :

- l'hormone n'agit pas sur toutes les cellules de l'organisme car le récepteur cible n'est pas ubiquitaire ou alors il est présent sous autres isoformes dont l'activation engendre des réponses spécifiques ;
- deux cellules présentant un même récepteur hormonal ne répondent pas obligatoirement de la même façon car différents corégulateurs transcriptionnels pourraient intervenir et moduler la réponse ;
- les effets résultant de l'interaction entre l'hormone et son récepteur varient en fonction du stade de développement de l'individu (Vandenberg et al., 2012; Dewalque, 2016). Diamanti-Kandarakis et al. en , 2009, ont considéré que les PE sont les produits chimiques capables d'interférer à n'importe quelle étape du fonctionnement d'un système endocrinien.

III.1.4. Molécules suspectées d'être des PE

Il existe de nombreuses molécules aux actions avérées sur le système endocrinien, celles-ci pouvant ainsi être qualifiées de perturbateurs endocriniens. Ces molécules ont des actions variées et des natures différentes et peuvent être :

- des substances produites intentionnellement pour leur effet hormonal (hormones de synthèse) : Cas des contraceptifs ou des molécules utilisées dans le traitement de la stérilité;
- des substances chimiques de synthèse fabriquées avec des objectifs variés tels que certains plastifiants à savoir le bisphénol A, les phtalates, les métaux lourds (Cr, As, Hg, Pb, Cd, Zn, Ni,…), les pesticides, les dioxines, les poly chhlorobyphényles, (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les retardateurs de flamme, les agents pharmaceutiques comme le disthylstilbesterol (DES) ;
- des composés naturels comme les phytoestrogènes présents dans une grande variété de plantes (génistéine de soja, germes de luzerne, raisin et vin, mycotoxine présente dans les silos à céréales (la zéaralénone), etc) (Berenbaum & Beltz., 2011 ; Schug et al., 2011).

Autres substances suspectées être des PE ont été signalées par plusieurs auteurs (Kolossa-Gehring et al., 2007; ANSES, 2014; Frederiksen et al., 2014; NHANES, 2015) :

Bisphénol A, bisphénol S, bisphénol F, styrène, des plastifiants (phtalates), des substances utilisées dans les cosmétiques et les produits d'hygiène corporelle comme agents antimicrobiens ou adjuvants (parabènes, TCS, résorcinol, phtalates) ou comme filtres bloquant les rayonnements ultraviolets (benzophénones, 3-benzylidene-camphor). Sont également considérés comme PE divers pesticides (DDT, chlordane, vinclozoline,…), des retardateurs de flamme (tétrabromobisphénol A, polybromodiphényléthers), des substances employées par l'industrie chimique comme refroidissants, surfactants, lubrifiants ou composants de peinture (PCB, nonylphénols, octylphénols, composés perfluorés) et des produits générés lors de divers processus industriels, pendant le recyclage de papiers ou lors de l'incinération de déchets (dioxines, hydrocarbures aromatiques polycycliques). Certains **métaux lourds** (Plomb, Chrome, Arsenic, Cadmium,…) ainsi que certains médicaments (diéthylstilbestrol, dérivés oestroprogestatifs des pilules contraceptives) ont également été décrits comme des PE

A cet égard, notre travail s'intéresse aux éléments trace métalliques (ETM) à effet endocrinien et examinera plus particulièrement 6 métaux : Cd, Pb, As, Ni, Cr et Zn.

III.2. ETM et l'apparition des pathologies chroniques

La littérature fait état d'un possible lien entre les ETM et certaines pathologies. Ces substances sont associées à toutes les maladies chroniques modernes en pleine expansion : diabète, obésité, cancers hormono-dépendants, troubles neuro-comportementaux, atteintes à la fertilité et l'appareil de reproduction. Ils pourraient constituer l'une des clefs d'explication de

ce que l'OMS désigne comme une « épidémie mondiale de maladies non transmissibles » (Multigner, 2008 ; RES, 2012 ; ANSES, 2014).

A l'échelle mondiale, le problème de la pollution des eaux par les éléments traces métalliques est l'une des principales occupations actuelles, du fait qu'ils sont connus pour leur impact toxicologique sur l'être humain. L'industrialisation incontrôlée et diverses autres activités humaines éclatent une pollution par ces éléments (Ya Wen Chen et al., 2009).

Nombreuses études ont prouvé que les métaux lourds font partie des cofacteurs de certaines pathologies chroniques, à savoir le diabète (Chen R, et al., 2009 ; Ettinger AS et al., 2009 ; Navas-Acien et al., 2010 ; Kyung-Min Lim et al., 2010 ; Cicolella, 2012 ; Garnier et al., 2013 ; Klaassen, 2013 ; Jacquet et al ., 2015 ;Yoshinaga et al., 2018), les maladies neurologiques, cardiovasculaires et auto-immunes… (Kippler M et al., 2012 ; Bouftini, 2015).

Au Maroc, le problème de l'intoxication par les métaux lourds sur la santé publique est encore sous-évalué et méconnu. Plusieurs chercheurs de disciplines diverses, ont réclamé que peu d'études s'intéressent à ce problème auprès de la population habitant à proximité des zones industrielles polluées (Hruba et al., 2012 ; Laamech et al., 2014).

Pa ailleurs, des études épidémiologiques ont démontré que l'exposition dans l'environnement général à de faibles niveaux de métaux toxiques peut apporter une contribution importante à la charge mondiale de morbidité. En outre, les apports déficitaires de métaux essentiels par les aliments donnent lieu à une charge considérable de la maladie dans une perspective globale (Bouftini, 2015).

III.3. ETM et maladies endocriniennes

A l'échelle internationale, plusieurs travaux ont signalé l'action néfaste de certaines substances, présentes dans l'environnement, l'apparition des maladies d'origine endocriniennes ; ce qui a mis en avant l'exposition environnementale aux substances chimiques et le déséquilibre nutritionnel comme facteurs responsables de beaucoup de grandes maladies et des atteintes fonctionnelles (Santé en Chiffre, 2009), y compris les ETM, en raison de leurs très grandes quantités et leurs très larges utilisations dans les activités industrielles (Cicolella, 2012).

A la fin du XXe siècle, le Maroc est entré dans une double phase de transition démographique et épidémiologique avec l'émergence des facteurs de risque et les causes de décès entre les années 1980 et 2010, ce qui a fait ressortir la réduction notable des maladies infectieuses et l'augmentation des maladies non transmissibles, telles que les tumeurs, les maladies **endocriniennes**, les maladies nutritionnelles et métaboliques, les maladies de l'appareil

circulatoire et les maladies cardio-vasculaires (Ferlay J et al., 2010 ; Berraho et al., 2012). De plus, plusieurs travaux d'estimation de mortalité, attribuable aux maladies endocriniennes, nutritionnelles et métaboliques, ont prouvé que la répartition totale des décès a augmenté à cause des maladies endocriniennes de 5,4% à 7,6% entre l'année 2011 et 2012 (Grandjean, 2015 ; ministère de santé, 2011 ; Santé en Chiffre, 2015).

Les ETM les plus toxiques, plomb (Pb), arsenic (As), mercure (Hg), cadmium (Cd), chrome (Cr), Zinc (Zn) furent les éléments toxiques, les plus reconnus comme préjudiciables à la santé humaine (Jarup L, 2003 ; Lavicolo 2009). Le rejet en continu des métaux lourds dans le milieu aquatique change les caractéristiques de l'eau et entraine la survenue des maladies endocriniennes et confère également à ces molécules un caractère à effet endocrinien (ASEF, 2010 ;HUSS, 2011). Ces dernières, regroupent différentes pathologies notamment : le diabète, la thyroïde, l'hyperthyroïdie, l'hypothyroïdie, l'obésité, les gonades,...) (Cicolella, 2012). Dans notre travail, nous nous limitons au diabète comme étant une maladie endocrinienne la plus fréquente et la plus alarmante à l'échelle internationale, nationale et régionale.

III.4. Diabète

III.4.1. Définition et types de diabète

Le diabète désigne une maladie qui apparait lorsque l'organisme ne parvient plus à utiliser ou à stocker convenablement le glucose. Il peut provenir d'une incapacité, partielle ou totale du pancréas à fabriquer l'insuline (type-1) et/ou d'une inaptitude des cellules des tissus périphériques à utiliser l'insuline pour absorber le glucose (type-2). Ce glucose s'accumule dans le sang et provoque une hyperglycémie (Allan L, 2008 ; ADC ., 2010).

- **Diabète de type 1**

Le diabète de type 1 ou insulinodépendant (IDD) ou diabète juvénile : apparaît le plus souvent pendant l'enfance, à l'adolescence ou au début de l'âge adulte, rarement chez les personnes plus âgées. Il se caractérise par la destruction auto-immunitaire des cellules productrices de l'insuline suite de l'infiltration des macrophages dans les ilots de Langerhans. Les gens atteints sont donc dépendants de l'insuline qui doit être administrée par injection ou d'une pompe à insuline pour assurer sa survie (ADC ., 2010; Grimaldi A., 2009).

- **Diabète de type 2**

Le diabète de type-2 ou non insulinodépendant (NIDD) représente 90% de l'ensemble des formes de diabète. Il concerne surtout des individus âgés de plus de 40 ans et chez les obèses.

Il survient lorsque l'organisme développe une résistance à l'insuline au niveau des tissus périphériques associée à un déficit relatif de la sécrétion d'insuline et perd ainsi sa capacité à absorber et à métaboliser le glucose (Alberti et al., 2010; Romain C., 2010).

III.4.2. Mécanisme d'action

L'insuline libérée permet d'augmenter le captage de glucose par les adipocytes et les cellules musculaires. Ce phénomène est régulé par des mécanismes d'exocytose et d'endocytose des récepteurs GLUT4 insulino-dépendant en présence de l'hormone. Dans le foie et le muscle, le glucose est stocké sous forme de glycogène par le processus de glycogénogenèse et il est utilisé dans le cycle de la glycolyse dans les myocytes pour produire de l'énergie. De plus, au niveau du tissu adipeux, elle induit un stockage des acides gras en favorisant la lipogenèse. La fixation de l'insuline sur ses récepteurs membranaires spécifiques entraine l'autophosphorylation des sous unités β transmembranaires faisant apparaitre dans le domaine intra cellulaire une activité tyrosine kinase aboutissant à l'adhésion des molécules intracellulaires. Ces molécules activent une série de processus en cascade au niveau intracellulaire de réaction de phosphorylation et de déphosphorylation entraînant l'effet biologique (stimulation du transport de glucose, etc.) (Figure 29).

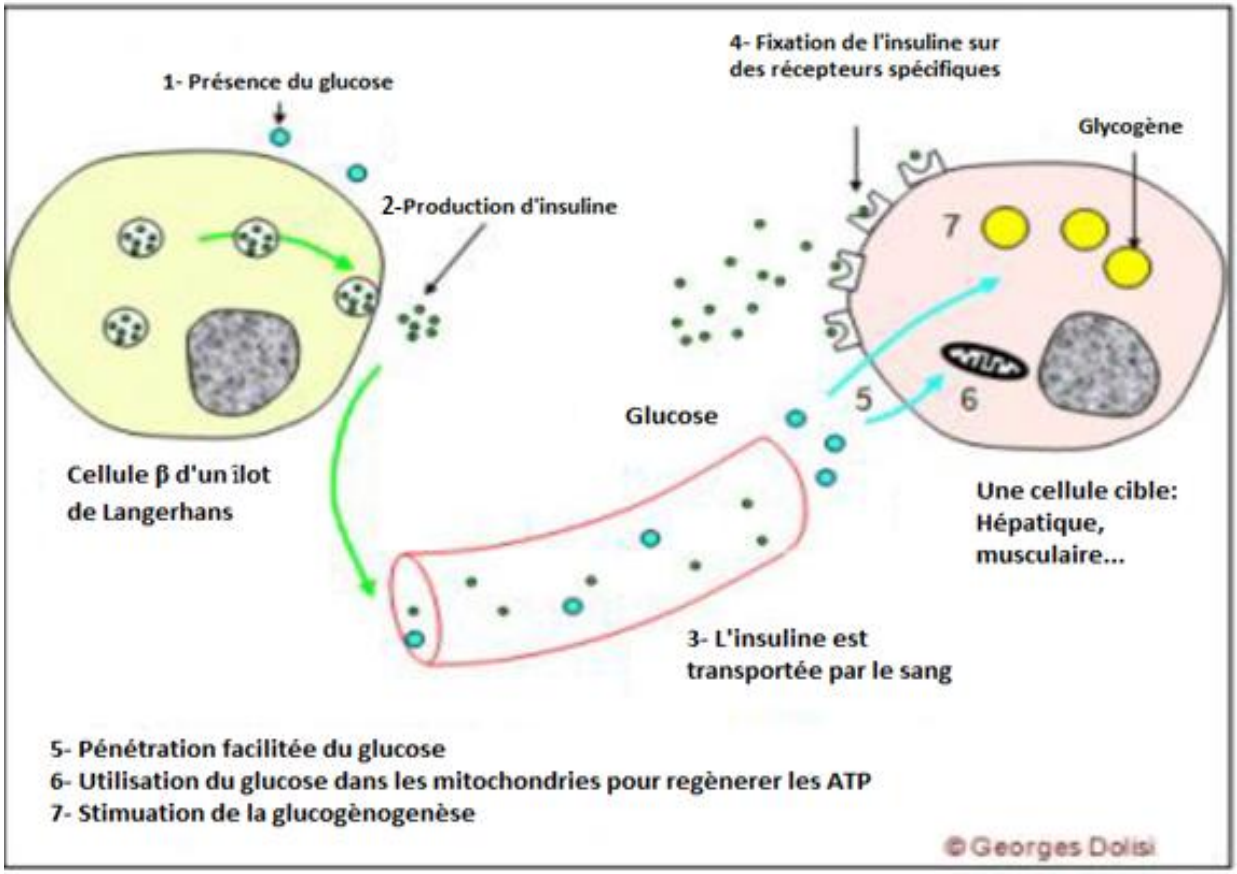


Figure 29: Action hypoglycémiante de l'insuline (Dolisi G., 2014)

III.4.3. Epidémiologie

Janesick et Casals & Desvergne en 2011 ont affirmé que le diabète est une maladie endocrinienne complexe où interagit de nombreuses hormones impliquées dans le métabolisme des lipides et des sucres, dans la satiété et la régulation des apports alimentaires ainsi que dans le développement des tissus gras (Janesick , 2011; Casals-Casas & Desvergne, 2011). Dans certains pays d'Europe, On a constaté également l'augmentation de la prévalence des troubles du métabolisme comme le diabète (Danaei et al., 2011 ; Ziegler et al., 2011). De même, en Afrique, en 2012, on estimait à 14 millions le nombre d'adultes atteints du diabète en Afrique (Amelus, 2016). Au Maroc, selon une enquête nationale menée en 2000, la prévalence de diabète était de 6,6% dans la population âgée de 20 ans et plus (ministère de santé, 2011). En outre, selon la Fédération Internationale du Diabète (FID), la prévalence du diabète au Maroc en 2007 était de 7,1% et atteindra 9,1% d'ici 2025 (FID, 2009), et selon une étude récente, le coût moyen mensuel par malade du diabète est estimé à 1662,60 DH avec un coût annuel moyen par malade de 19 951,24 DH (Hallab L et al., 2012).

Selon les estimations de la Fédération Internationale du Diabète (FID), en 2012, plus de 371 millions de personnes étaient atteintes de diabète dans le monde et une personne décédait toutes les sept secondes des suites du diabète. En Afrique, environ 280 000 décès en 2011 étaient imputables au diabète (FID, 2011). La même source estime que 187 millions de personnes âgées entre 20 et 79 ans ignoraient qu'elles souffraient du diabète (FID, 2011). En 2013, selon la même fédération, 382 millions de personnes, soit 8,3 % de la population adulte méprisait qu'elles ont le diabète, si cette tendance se poursuit , 550 millions de personnes environ, soit un adulte sur 10, seront atteintes de diabète d'ici 2030, ce qui représente près de 10 millions de nouveaux cas par an (FID, 2013).

A l'échelle mondiale, l'OMS en 2013 a estimé que chaque année plus de 36 millions de personnes décèdent à cause du diabète, dont 80% se produisent dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (OMS, 2013a). Elle prévoit qu'en 2030, le diabète sera la septième cause de décès dans le monde (OMS, 2016b). De plus, l'OMS a estimé que 422 millions d'adultes vivaient avec le diabète, où la prévalence mondiale a augmenté, passant de 4,7 % en 1980 à 5,7% en 2009 et à 8,5 % en 2014 (OMS, 2013b; OMS, 2013c) .

L'Europe également compte 55 millions d'adultes atteints de diabète, soit 8,5 % de la population adulte âgée entre 20 et 79 ans. En 2030, ce nombre augmentera à 64 millions (FID, 2013). Près de 21,2 millions de personnes ignorent qu'elles sont atteintes de diabète en France.

Quant à l'Afrique, Ojuka et Goyaram (2014) ont rapporté qu'au cours des dernières 50 années, la prévalence de diabète type 2 est passée, dans la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne de < 1 % en 1960 à 4,6 % en 2012. Selon les estimations de la FID (2013), 80% des diabétiques seront dans les pays à faible et à moyen revenu à l'horizon de 2030.

En 2016, la projection de l'OMS a estimé que la prévalence du diabète au Maroc en 2013 est de 9,9% et de 12,4% en 2016 chez les personnes de 25 ans et plus, soit une estimation de 2 millions de diabétiques dont 50% d'entre eux méconnaissent leur maladie (OMS, 2013a ; OMS, 2016a), 625 000 diabétiques sont pris en charge au niveau des structures du Ministère de la Santé dont 60% sont des bénéficiaires du RAMED.

Au Maroc, entre 2011 et 2015, le diabète provoque plus de 24.000 décès par an et le nombre de diabétiques est passé de 1,5 million d'individus à plus de 2 millions, âgés de 20 ans et plus, soit 25% de plus en 5 ans (OMS, 2016b). De plus, la 6ème enquête nationale sur la population et la santé familiale (ENPSF), réalisée en 2017-2018 par le ministère de la Santé en coordination avec le Haut-commissariat au plan, et avec l'appui de l'OMS, l'Unicef, le Fonds des Nations Unies pour la population (UNFPA), l'agence nationale de l'assurance maladie et la Ligue des Etats arabes et déclarent que l'enquête, a fait ressortir que 20% sont diabétiques ainsi que la proportion des individus atteints du diabète est de 4,8% en 2018 contre 3,3% en 2011 (Doukkali A, 2018).

A l'échelle régionale, le taux d'prévalence annuel dans la région Fès-Meknès a augmenté entre l'année 2010 et 2016 de 4,07% à 7,51%, et à la ville de Fès, il s'est élevé de 2,24% à 3,5% (DREVS, 2017), ainsi le nombre de cas annuel enregistrés à la direction régionale d'épidémiologie et de veille sanitaire a connu une augmentation remarquable arrivant à 141584 cas en 2017 dans la ville de Fès (DREVS, 2017).

III.4.4. ETM et diabète

De nombreuses preuves scientifiques et études épidémiologiques, entre 2008 et 2018, ont montré les liens entre l'exposition aux polluants à effet endocrinien et l'augmentation des taux du diabète (Savouret & Bard, 2008 ; Ettinger AS et al., 2009 ; Navas-Acien et al., 2010 ; INSERM, 2011 ; Miodovnick et al., 2011 ; Nalbone et al., 2011 ; Cicolella, 2012 ; Garnier et al., 2013 ; Barouki., 2013 ; Klaassen, 2013 ; Jacquet et al ., 2015; Yoshinaga *et al*., 2018).

La capacité des métaux à perturber la sécrétion de l'insuline a été rapportée dans les années soixante- dix. Où on a démontré les métaux en question sont le cadmium, le mercure et l'arsenic, démontrant clairement le lien pour le cadmium, le mercure, l'arsenic et le nickel (Chen, R et al., 2009). Le fait que ce lien subsiste après ajustement sur l'indice de masse corporelle (IMC) signifie que l'induction de diabète repose sur un mécanisme spécifique, qui apparaît dans la plupart des cas être le stress oxydant (Cicolella, 2012). Les données expérimentales ont montré que l'arsenic peut perturber le métabolisme du glucose. Quelques études montrent une perturbation de la sécrétion de l'insuline dans les cellules β
(Cicolella, 2012) et participent à l'apparition du diabète type 2 (Ettinger AS et al., 2009 ; Navas-Acien et al., 2010). En outre, dans les années 90 ont été rapportées les premières données épidémiologiques relatives en lien avec le diabète, auprès de populations vivant dans des zones à haute concentration en ETM, notamment en arsenic hydrique (André Cicolella, 2012).

Diverses études scientifiques prospectives, menées à Taïwan et au Bangladesh, sur les effets de l'arsenic présent dans l'eau, sept d'entre elles ont démontré une association entre la présence d'un niveau d'arsenic supérieur à 150 µg/L et le développement d'un diabète de type 2, pouvant être doublé par rapport à une exposition à moins de 150 µg/L. Une d'entre elles a montré une relation dose-effet entre l'exposition à une accumulation d'arsenic et l'augmentation de la prévalence du diabète, avec un risque multiplié par 6,6 pour des niveaux < 15ppm/an et même jusqu'à 10,05 pour des niveaux d'exposition > 15 ppm/an, en tenant compte des facteurs de confusion (âge, IMC…). Aux doses de 10 à 150 µg/L, il existe un risque majoré en cas de surpoids ou chez les femmes enceintes. On a également rapporté un désordre du métabolisme glucidique à cause de l'arsenic inorganique, et l'existence d' relation positive entre une exposition à l'arsenic et le développement d'un diabète gestationnel (André Cicolella, 2012).

Cicolella en 2012 a déclaré que les métaux comme le cadmium, le mercure ou l'arsenic perturbent le métabolisme glucido-lipidique via un mécanisme principalement de stress oxydant. Ils sont désormais des polluants diabétogènes (Cicolella, 2012). Autres études ont montré que l'intoxication au Cadmium est liée au disfonctionnement du système endocrinien et dénotent ainsi une corrélation entre l'exposition au Cadmium (Cd) et l'augmentation de la prévalence du diabète (Cicolella, 2012)

En 2013, Klaassen a réalisé une synthèse des effets pour la santé humaine d'une exposition orale chronique du diabète et divers autres pathologies à faible dose à certains métaux lourds (As, Cr, Cu, Cd, Pb, Zn, Hg, Co, Fe et Ni).

En outre, Garnier et al., en 2013, ont confirmé que le plomb est aussi considéré comme perturbateur endocrinien; contient une liaison plus forte pour les individus avec les antécédents du diabète.

Jacquet et al . en 2015 a montré la relation du Cadmium avec l'augmentation de la prévalence du diabète.

En 2018, Yoshinaga et al, ont affirmé que le Cr peut diminuer l'activité du système immunitaire et provoquer des complications cardiaques, diabète, vertige, éruptions cutanées, douleurs abdominales et parfois des diarrhées hémorragiques et par inhalation ou contact direct, il peut causer des allergies et des problèmes respiratoires et il peut même provoquer des tumeurs.

III.4.5. Mécanisme d'action des ETM à effet endocrinien sur le diabète

Depuis quelques années, le monde des sciences biologiques et médicales est envahi par un nouveau concept, celui du "stress oxydatif ", qui est la conséquence d'un déséquilibre entre la production des radicaux libres oxygénés et la destruction par des systèmes de défenses antioxydantes. Les radicaux libres peuvent engendrer des dommages importants sur la structure et le métabolisme cellulaire en dégradant de nombreuses cibles : protéines, lipides et acide nucléiques. Les radicaux libres sont d'une forme particulière d'espèces chimiques (atomes ou molécules) qui possèdent un électron célibataire (ou non apparié) (Wolin et al., 2005 **;** Kumara Robby, 2011)**.** Les mécanismes d'action du stress oxydant sur les ETM ont été mis en évidence pour expliquer l'action diabétogène de composés comme le cadmium, le mercure, le nickel et l'arsenic (Cicolella, 2012).

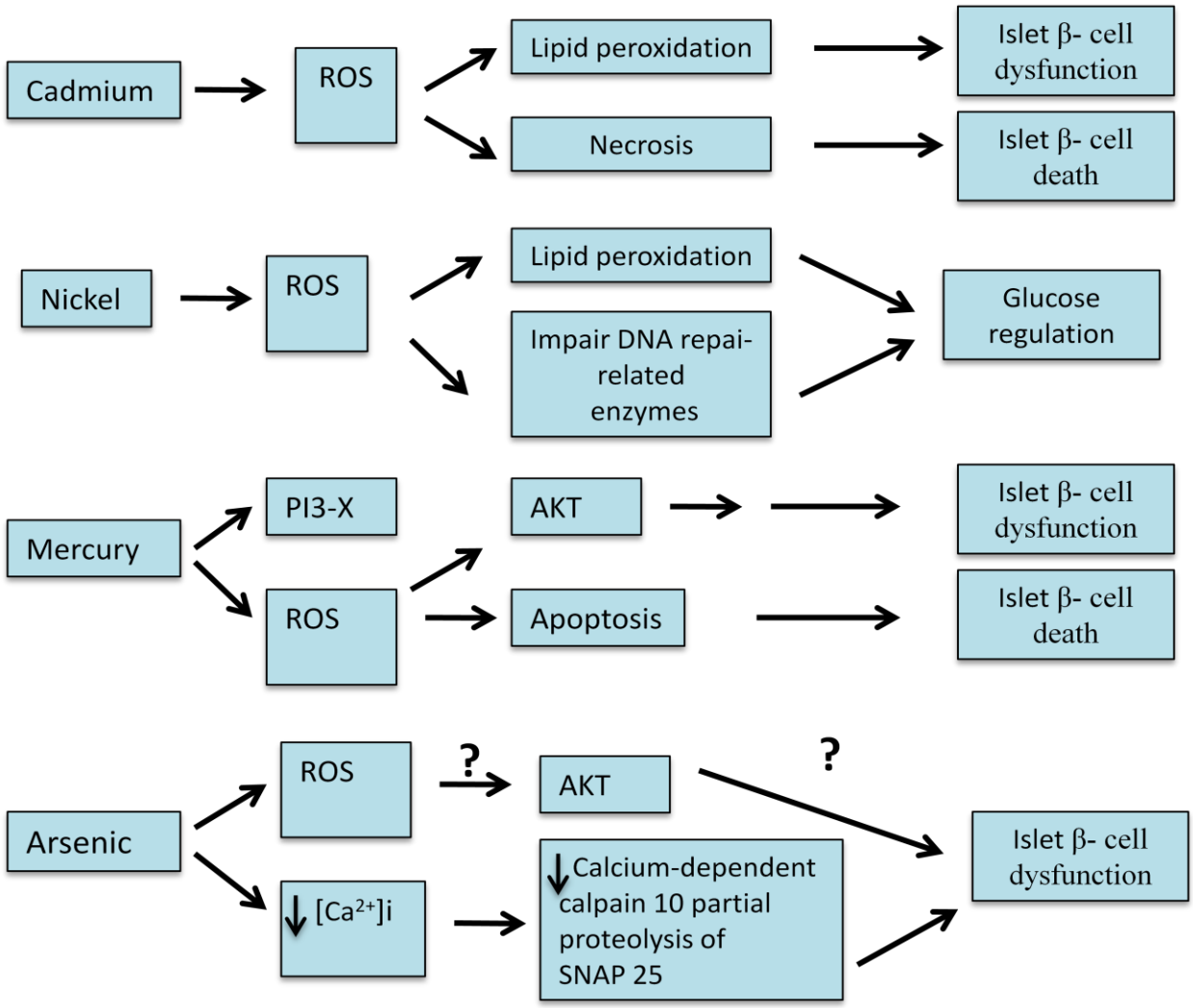


Figure 29: Mécanismes d'action du Cd, du Ni, du Hg et de l'As sur les cellules bêta du pancréas (Chen, R et al ., 2009)

Avec :

ROS : Espèces oxygénées réactives (Reactive oxygen species);

AKT : pourcentage du taux de phosphorylation du « Aktide » ;

PI3-X : Inositol triphosphate.

La plupart de ces ROS sont générés par des radicaux libres, espèces chimiques neutres ou chargées, instables recherchant à récupérer un électron dans leurs environnements afin de retrouver un état plus stable (Baraka-Vidot, 2014).

Le stress oxydant apparaît être prédominant (figure 30) sur les ETM examinés ; le mercure organique agit sur les cellules β des îlots pancréatiques en modifiant la sécrétion d'insuline, le transport et l'oxydation du glucose, la perméabilité de la membrane cellulaire et son ultrastructure. Le chlorure mercurique altère le potentiel de membrane et le niveau de calcium intracellulaire dans les cellules β. La toxicité du mercure sur les cellules β *in vivo* et *in vitro*

est liée au stress oxydatif. Le nickel induit une dérégulation de la glycémie *via* le mécanisme de stress oxydant. L'arsenic également peut perturber le métabolisme du glucose et la sécrétion de l'insuline dans les cellules β (Chen, R et al., 2009).

IV. Efforts mis en œuvre par l'état marocain

Ces dernières années, les scientifiques et les pouvoirs publics du Maroc ont déployé des efforts considérables et indéniables pour la problématique de la santé environnementale, en diminuant le taux de mortalité, de la morbidité et de l'émergence des facteurs de risque. Ils ont pu contrôler, voire réduire, plusieurs maladies qui constituaient anciennement une menace réelle pour la santé de la population telle que le choléra, la malaria, le diabète à travers l'établissement des plans de prévention (MDCEau, 2017).

A rebours des idées reçues précédemment au Maroc, les stratégies et les programmes mis en œuvre par le Ministère de la Santé se sont concentrées sur le diabète et d'autres maladies non transmissibles (Ministère de santé, 2012). Parmi ces efforts, nous citons : le plan national de lutte contre le diabète, l'obligation du dépistage systématique au cours de la consultation prénatale du diabète, la création d'un centre de référence par province pour la prise en charge intégrée du diabète, le renforcement de la formation, l'éducation et la communication en matière de diabète auprès de la population, l'information et la sensibilisation de la population sur le diabète et ses facteurs de risque, la révision du rapport semestriel de la surveillance épidémiologique du diabète, la standardisation des supports d'information (registre de surveillance du diabète…) etc. (Ministère de santé, 2012). En fait, le ministère a pris en charge près de 610.000 diabétiques, dont 260.000 d'insulinotraités (Santé en chiffre, 2014). Aussi, la maladie est considérée comme l'une des priorités inscrite dans la Stratégie Sectorielle de Santé 2012-2016. De plus, l'implication du Ministère de la Santé dans la lutte contre le diabète lui a permis de bénéficier de l'appui de l'OMS dans le cadre de la biennie 2014-2015 et de celui de l'Union Européenne et de la Banque Mondiale dans le cadre du Programme Santé II (ANAM, 2014; Mouzouni., 2015).

Depuis le 22 Juin 2015, le ministère en partenariat avec l'Agence Nationale d'Assurance Maladie (ANAM) et la Caisse Nationale des Organismes de Prévoyance Sociale (CNOPS) a mené une campagne d'envergure de communication et de sensibilisation sur le diabète et ses complications destinée à la population à risque et aux diabétiques (ANAM, 2014).

En outre, parmi ces efforts s'ajoute l'effort de la délégation du ministère de la Santé dans la préfecture de Fès qui a élaboré une nouvelle vision stratégique 2017-2025 à travers la réalisation de nouveaux centres de santé au niveau de la ville de Fès à Bensouda et à Ain Haroun précisément la construction d'un centre de diagnostic, de traitement du diabète et de prise en charge médicale des patients diabétiques ainsi qu'un centre d'hémodialyse. La délégation compte également ériger, entre 2017 et 2021, cinq autres centres de santé dans les zones les plus démunies de la région, et dont le taux de la population s'accroît plus rapidement. À l'horizon 2025, la délégation compte construire 3 autres centres dans les arrondissements de Saiss, des Mérinides et de Jnane El Ward, visant à favoriser l'accès des personnes desservies aux soins de santé de base, à accélérer les interventions en cas d'urgence médicale et à assurer un suivi médical périodique et régulier (Idrissi M, 2017).

V. Méthodes d'évaluation des risques sanitaires

Les méthodes d'évaluation des risques sanitaires sont nombreuses, nous citons :

En 2004, Rytkönen et al. ont analysé les représentations cartographiques spatiales étudiées par le SIG dans le domaine de l'épidémiologie. Ils ont confirmé que cet outil permet d'impliquer une analyse géographique de l'occurrence de la maladie et des facteurs environnementaux qui y contribuent. Cependant une modélisation quantitative des co-variables reste nécessaire (Rytkönen, 2004).

En 2013, Mansour a réalisé une étude transversale à visée analytique chez 328 patients diabétiques vus pendant l'année 2012 au niveau du Réseau de Soins de Santé de Base (RSSB) de la préfecture de Ben Msik à Casablanca, qui avait pour but de décrire les facteurs sociodémographiques, anthropométriques liés à la survenue de complications chez le diabétique. Les résultats ont montré que le diabète type 2 était le plus prépondérant (66,36%) et révèle des associations statistiquement significatives qui ont été retrouvées entre la survenue de diabète.

En 2014, Khatri a évalué l'état du système de surveillance du diabète et son application par les professionnels de santé au niveau de la région Rabat-Salé-Zemmour-Zaer version ancienne de la répartition régionale. Les résultats montraient que le système de surveillance du diabète est jugé comme relativement compliqué, peu acceptable, peu flexible, instable et non représentatif, tandis qu'il est utile. Les données produites sont de qualité relativement moyenne.

En 2016, Amelus a mené une étude exploratoire sur les déterminants qui favorisent ou non l'autogestion du diabète de type 2 chez les personnes souffrant de cette maladie en Haïti qui vise à mieux comprendre les stratégies d'autogestion utilisées par les personnes diabétiques vivant dans cette commune, basés sur le modèle de la triade *disease / illness / sickness*, et appréhender l'adaptation des personnes diabétiques dans leur environnement social et familial.

VI. Conclusion

Dans cette partie, nous avons évalué, la relation entre la répartition spatiale entre la prévalence du diabète et les facteurs y influençant notamment, la contamination des eaux par les éléments traces métalliques.

Cette étude nous a permis meilleure compréhension de l'analyse des relations entre l'environnement et la présence et ou la survenue de la maladie; la prédiction de la propagation de la maladie et l'évaluation des actions de contrôle et de protection. Ceci dans le but de garantir la sécurité de l'eau à des fins de développement durable et la santé de la population à haut risque d'infection par le diabète au niveau mondial et en particulier de la ville de Fès. En effet, les techniques appliquées constituent une étape primordiale dans la mise en œuvre des programmes et stratégies locaux significatifs à la prévention et au contrôle des maladies, en permettant une économie du temps et d'efforts aux autorités locales.

Chapitre II : Etude épidémiologique du diabète dans la ville de Fès

Introduction

Ce chapitre présente les méthodologies de recensement, analyse et traitement des données sur le diabète, les outils statistiques et géo spatiaux menés pour le traitement des résultats obtenus et les principaux résultats du questionnaire étudié.

I. Méthodologie de travail

I.1. Méthodes de recensement des données sanitaires

Le recensement des données nécessaires à cette étude a eu lieu par enquête transversale à visée descriptive. Il a été accompli ; d'une part, par des fichiers administratifs de 39 centres de santé répartis dans les sept arrondissements de la ville de Fès. Et d'autre part, un questionnaire dédié à la population adjacente aux industries avoisinantes les cinq zones traversées par les oueds préalablement analysés dans la partie I de ce travail.

Pour cela, un diagnostic approfondi, de presque de deux ans des sept arrondissements de la ville de Fès a été fait, en concertation avec les autorités locales et les acteurs concernés (Cellule préfectorale d'Épidémiologie de la ville de Fès (CPE), Direction régionale et épidémiologique de veille sanitaire de la région de Fès_Meknès (DREVS), Hôpitaux et des centres de santé (Omar Drissi, Ibn EL Khateb, EL Ghassani, Centre Hospitalier Universitaire Hassan II (CHU). Les données recueillies sont relatives aux maladies d'origines endocriniennes, particulièrement le diabète sur la base des bulletins épidémiologiques de la santé au Maroc, des registres des nombres de cas annuels du diabète et le taux de prévalence du diabète dans la ville de Fès, dans la région Fès-Meknès et des dossiers médicaux des différents centres de santé visités de la ville.

Les fichiers et les documents fournis comportent les fiches journalières de déclaration, les registres des nombres de cas du diabète autour des cas cliniques confirmés au niveau des 39 centres de santé urbains de la ville de Fès.

La réalisation de cette enquête demande obligatoirement : des relations officielles et juridiques (exp.une autorisation signée entre l'organisme concerné et la source de l'information administrative afin de garantir la confidentialité des données).

Les données du nombre de population et de densité populaire de la ville de Fès par zone pour les années 2012 à 2017 ont été fournies par l'Agence Urbaine de Sauvegarde (AUS) de Fès. Une distribution géographique de ces données a eu lieu ensuite par le biais du logiciel SIG.

➢ Densité populaire

La densité populaire indique le nombre d'habitants par kilomètre carré.

La densité d'une population donnée s'obtient en divisant le nombre d'habitants ou d'individus (population) par la superficie exprimée en km carré (ou en ha).

Elle est exprimée en nombre d'Habitants/ superficie (km^2).

➢ Test de Khi-deux

L'étude de la répartition des interrogés des caractéristiques générales et spécifiques du diabète est réalisée selon le test statistique de Chi-deux (Khi2) par l'exploitation du logiciel IBM-SPSS (Version 20, SPSS Inc). Le test de Chi-deux a été aussi utilisé pour la comparaison des variables qualitatives et quantitatives et pour tester l'hypothèse nulle : d'absence de relation entre deux variables catégorielles. Il nous a servi également pour vérifier vérifie l'hypothèse d'indépendance de ces variables.

Une valeur de $p < 0,05$ a été considérée statistiquement significative, sachant que plus la valeur est petite, plus les moyennes différentes et par conséquent les variables sont liées.

Si deux variables dépendent l'une de l'autre, la variation de l'une influence la variation de l'autre.

Cette répartition va nous a permis de développer les hypothèses concernant les caractéristiques générales et spécifiques de la maladie qui peuvent être un facteur de risque : L'âge, le sexe, le niveau d'étude, l'habitat approximatif aux industries, la consommation des cultures irriguées et l'exploitation des eaux des oueds avoisinants par la population sont pris en compte pour notre étude.

Concernant l'analyse de la répartition géographique, nous avons exploité les données sur la population relative aux zones enquêtées.

➢ Taux de prévalence en épidémiologie

Le taux de prévalence est la proportion du nombre de cas d'une maladie observée à un instant donné sur la population dont sont issus les cas à cet instant (CEP, 2012 ; Mrabet, 2017).

(X) varie de 1 à 100 000.

Taux prévalence (%) = (Nombre de cas observés dans un instant t / Population à risque à cet instant t) * 10^x

Dans notre cas, les taux de prévalence calculés s'accordent et correspondent à **100 000 habitants.**

Afin d'appuyer les résultats des données recensées sur le diabète à partir des fichiers administratifs, nous avons mené une enquête épidémiologique transversale auprès de la population des cinq zones cibles de la ville de Fès.

➢ Analyse spatiale

Les mêmes outils informatiques exploités dans la partie 1, ont été utilisés pour taiter les données recensées.

I.2. Etude épidémiologique transversale du diabète dans la ville de Fès

➢ Objectifs de l'étude

-Décrire les caractéristiques sociodémographiques, cliniques et spécifiques de la population dans les cinq zones de la ville de Fès : Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim. Ce sont les zones qui ont été identifiées dans la partie I les plus polluées par les activités industrielles et agricoles et qui sont traversées par les cinq oueds de la ville de Fès : Oued Tghat, oued Zhoun, amont oued Fès, Oued Ain Smen et oued Lmahraz. Les eaux de ces oueds sont exploitées par la plupart de la population avoisinante.

- Estimer les facteurs associés aux risques d'apparition du diabète
- Etudier l'impact de la pollution des eaux de surface de la ville de Fès sur le diabète

➢ Schéma de l'étude

Il s'agit d'une enquête épidémiologique transversale à visée descriptive, précisément à domicile, sur une population bien définie. Elle a été réalisée par le biais d'un questionnaire établi en concertation avec l'équipe épidémiologique du laboratoire d'Epidémiologie, Recherche Clinique et Santé Communautaire de la Faculté de Médecine et de Pharmacie-Fès.

Le questionnaire a été accompagné d'un formulaire de consentement qui a été signé par chaque individu interrogé. Il a porté sur des questions d'ordre sociodémographique et socio médical (Annexe2).

L'interrogatoire n'a débuté qu'après avoir eu l'accord du comité d'éthique.

➢ Choix des zones d'étude

Le choix est basé sur les considérations suivantes :

- ➢ Les zones d'études sont adjacentes aux activités industrielles, agricoles et artisanales
- ➢ La prévalence de diabète des cinq zones est importante à l'échelle locale et régionale suite au diagnostic réalisé.

➢ Population de l'étude

Cinq zones dont la population est la plus touchée par la pollution des eaux des oueds avoisinant ; les activités industrielles et agricoles :

1) Zone Ain Nokbi (arrondissement Jnan Lward)
2) Zone Sidi Boujida (arrondissement Fès Medina)
3) Zone Dokkarat (arrondissement Agdal)
4) Zone Bensouda (arrondissement Zouagha)
5) Zone Sidi Brahim (arrondissement Saiss)

L'étude s'étalait sur 8 mois de l'année 2017 et le recrutement a concerné les femmes et les hommes.

Les individus étaient sélectionnés au hasard de la population cible.

- Critères d'inclusions

- Âge compris entre 21 ans et plus,
- Consentement pour participer à l'étude.

- Critères d'exclusions

- Personnes qui présentent des troubles cognitifs,
- Femmes enceintes ou allaitantes,
- Les personnes présents ayant refusé de participer à l'étude.
- Si la personne n'habite pas à la zone d'étude

➢ Taille de l'échantillon

Réalisée sur la base d'un échantillon représentatif de X populations, répartis sur chaque zone d'étude. La taille de l'échantillon (N_1) est calculée à partir de l'effectif (N) déduit de la formule suivante appropriée aux populations très larges:

$$N = \Pi \times (1 - \Pi) \times \left(\frac{Z_\alpha}{p}\right)^2$$

Pour les populations ayant un effectif limité, la correction S était utilisée. Elle a permis de réduire le nombre de population en N1 selon l'expression :

$$N_1 = \frac{N}{\left(1 + \frac{N}{Q}\right)}$$

Avec:

- Zα : Valeur de risque de première espèce correspondant à α pour une situation bilatérale.
- α, Degré de confiance. Pour notre cas, 1-α désiré est de 95%.
- Π : Proportion attendue de sujets présentant une caractéristique descriptive donnée
- p : Ecart d'imprécision accepté de chaque côté de l'estimation (p = 0,05).
- Q : Effectif de la population générale de chaque zone d'étude dont on extrait l'échantillon.

Les résultats du calcul, nous ont permis de déterminer le nombre de personnes à interroger dans chaque zone, représentant la taille de l'échantillon de 195 (N) qui a été arrondi à 300 (N_1) pour pallier au problème de refus des participants.

1500 personnes ont été interrogées, pendant l'année 2017 pour toute l'étude à raison de 300 cas/ zone :

➢ Recueil des données

Le questionnaire comprenait les items suivants (Annexe 2):

- Données sociodémographiques (âge, sexe, milieu d'habitat, statut matrimonial, niveau d'étude...,),
- Données cliniques (diabète, confirmation du médecin d'atteinte du diabète et type de traitement (insuline, médicament et ou régime)),

- Données sur les activités journalières de la population (exploitation des eaux de l'oued avoisinant, habitat à proximité des zones industrielles et consommation des cultures maraichères irriguées par les oueds).

Le questionnaire joint en annexe 2, comporte 18 questions formées à choix multiples.

Les enquêtes ont été menées et contrôlées par des médecins épidémiologistes du Laboratoire d'Epidémiologie, de Recherche Clinique et de Santé Communautaire de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Fès.

➢ Analyses statistiques

Les données des questionnaires ont été traitées, codées, saisies, et validées statistiquement par le biais du logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) selon la méthode de l'analyse descriptive des caractéristiques générales et spécifiques de la population étudiée, et une analyse bi-variée des associations entre le diabète et d'autres variables de l'étude en utilisant le test de Khi-2. Le niveau de signification a été fixé à 95% ($p < 0,05$).

➢ Aspects éthiques

Toute information recueillie sur les individus ont été tenue confidentielle et anonyme. L'information à but d'étude est stockée au Laboratoire LIEME et a été séparée des informations sur l'identité des individus.

Avant l'implication des individus interrogés, les procédures et les objectifs de l'étude leur ont été expliqués.

L'inclusion de l'individu n'a eu lieu qu'après sa compréhension et son consentement.

Toutes les études ont été réalisées en obtenant les autorisations nécessaires auprès du comité d'éthique du Centre Hospitalier Universitaire, de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Fès.

➢ Considérations éthiques

L'accord des personnes qui ont été enquêtées a eu lieu via un formulaire de consentement éclairé expliquant le but de l'étude avant d'entamer l'investigation.

➢ Confidentialité des informations

Toutes les informations concernant les participants ont été conservées de façon anonyme et confidentielle. Le traitement informatique n'a pas été nominatif. La transmission des informations pour l'expertise ou pour la publication scientifique a été elle aussi anonyme.

II. Résultats & discussions

II.1. Situation épidémiologique du diabète dans la ville de Fès

➢ Méthode de découpage administratif de la préfecture de Fès

La région de Fès-Meknès a été instituée à l'instar des 11 autres régions du Royaume, conformément au décret n°2.15.10 du 20 Février 2015, fixant le nombre de régions, leurs noms et leurs chefs-lieux, les préfectures et provinces les composant, publié au Bulletin Officiel n° 6340 du 05 Mars 2015 (Figure 31).

Sur le plan administratif, la région de Fès_Meknès regroupe :

- 2 préfectures : la préfecture de Fès et la préfecture de Meknès ;
- 7 provinces : Boulemane, El Hajeb, Ifrane, Moulay Yaâcoub, Séfrou, Taounate et Taza ;
- 194 communes : 33 communes urbaines et 161 Communes Rurales dont la commune urbaine de Fès est composée de 6 arrondissements urbains.

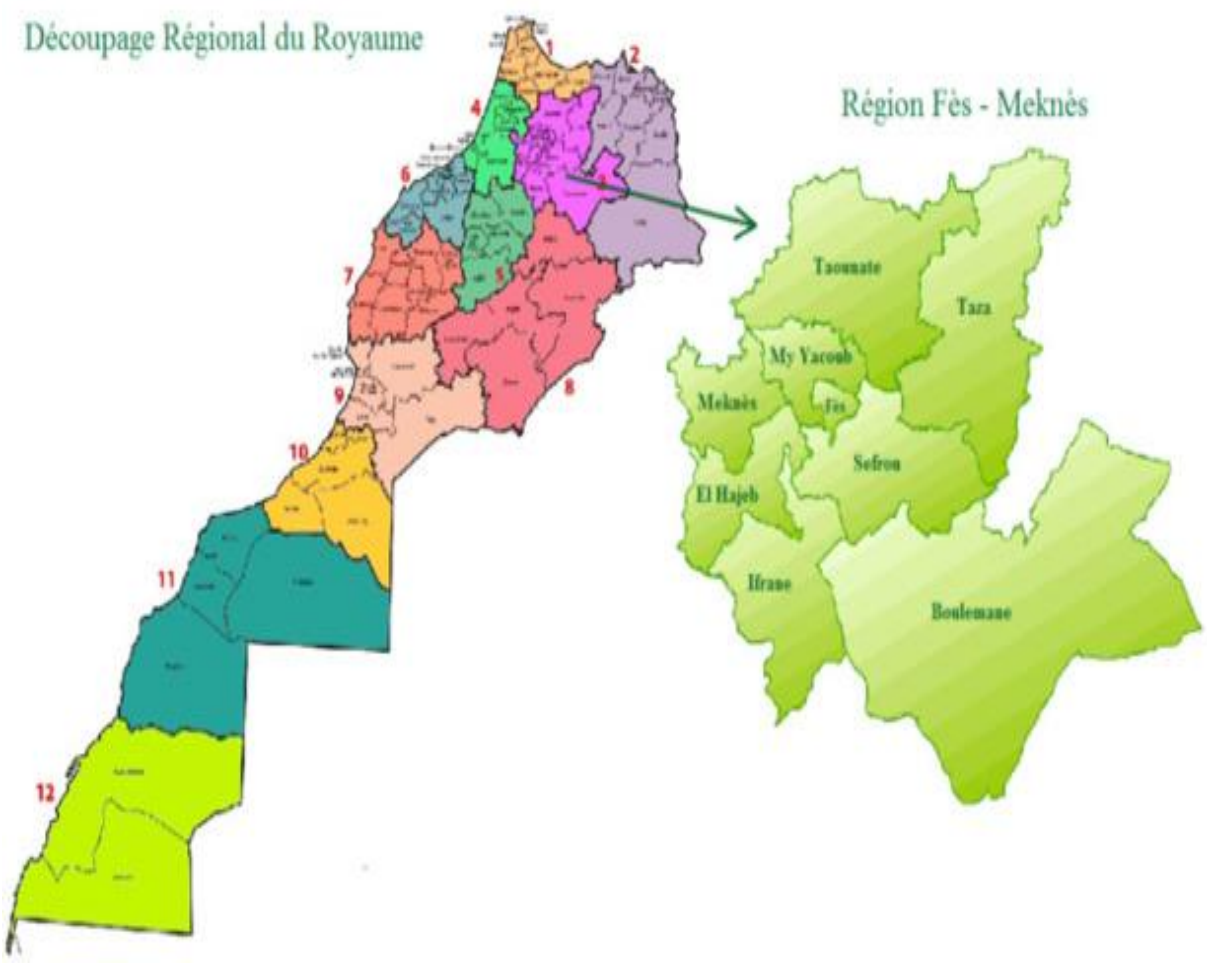


Figure 30: Découpage régionale du royaume et de la région Fès_Meknès (DRHCPF, 2017)

La ville de Fès se situe dans la partie Nord du Royaume du Maroc (Figure 31). Administrativement, la ville s'étend sur une superficie de 105 km² et compte deux communes urbaines. La commune urbaine de Fès qui contient six arrondissements: Agdal, Fès Medina, Jnane EL WARD, Zouagha, Al Marinyine, Saiss et la commune de Mechouar Fès-Jdid qui contient 3 communes rurales : la commune rurale d'Oulad Tayeb, la commune rurale de Sidi Hrazem et la commune rurale d'Ain Bida (Figure 32).

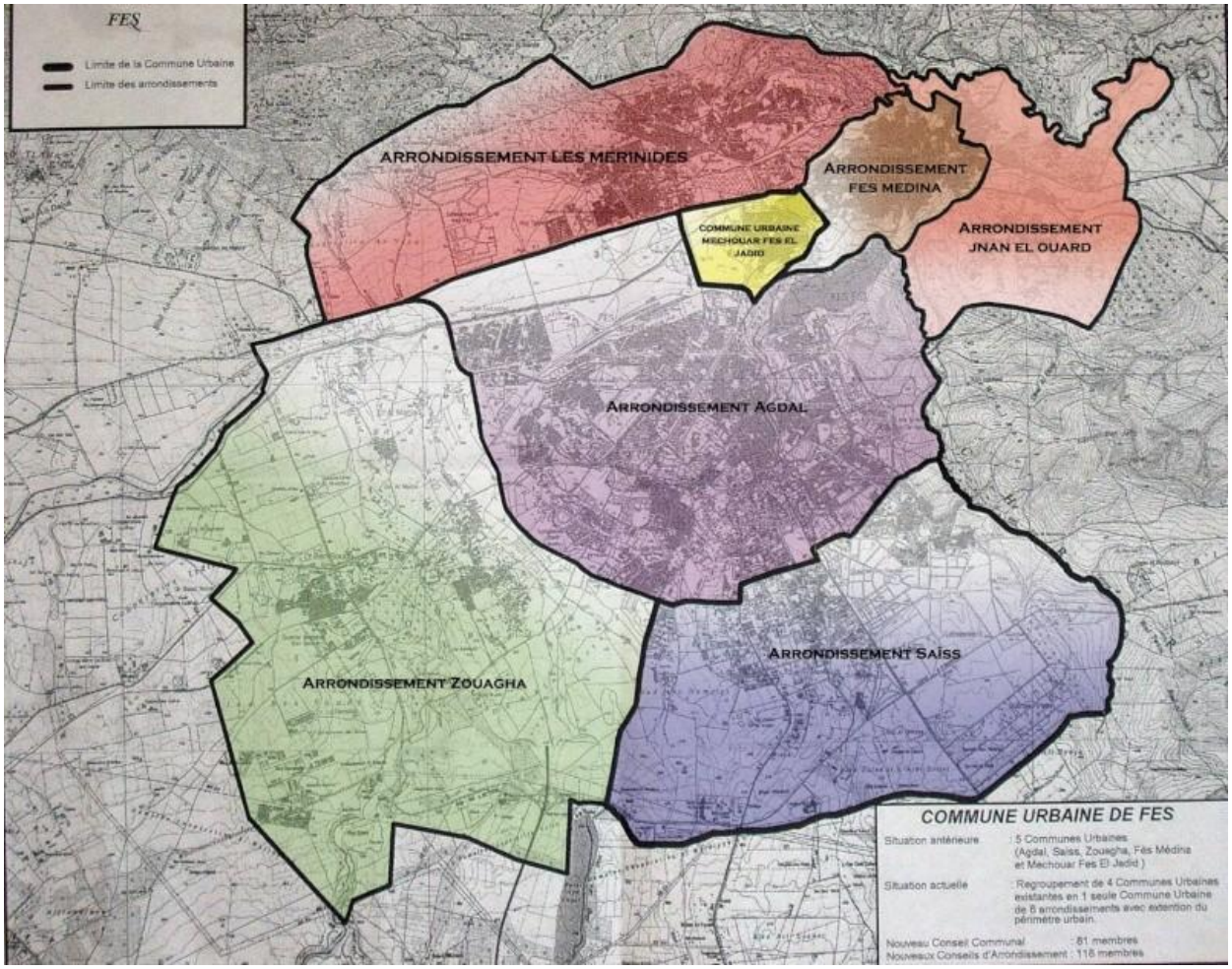


Figure 31: Répartition géographique de arrondissements de la ville de Fès (DRHCPF, 2017)

Selon le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH), la ville de Fès compte 1,186 millions d'habitants en 2016 et de 1. 203 489 millions d'habitants en 2017 (DRHCPF, 2017).

➢ Répartition spatiale de la densité de population dans la ville de Fès

La densité de population consiste à mesurer le nombre d'individus ou d'habitants occupant une surface donnée.

Le nombre de populations de l'année 2017, est calculé en densité populaire et est symbolisée à travers des cartes thématiques spatiales par le biais des outils SIG, pour chaque arrondissement (figure 33).

Les arrondissements identifiés les plus denses sont Fès El Médina et Jnane El Ward avec des densités égales respectivement à 36187 habitants/Km^2 et 17513 habitants/Km^2.

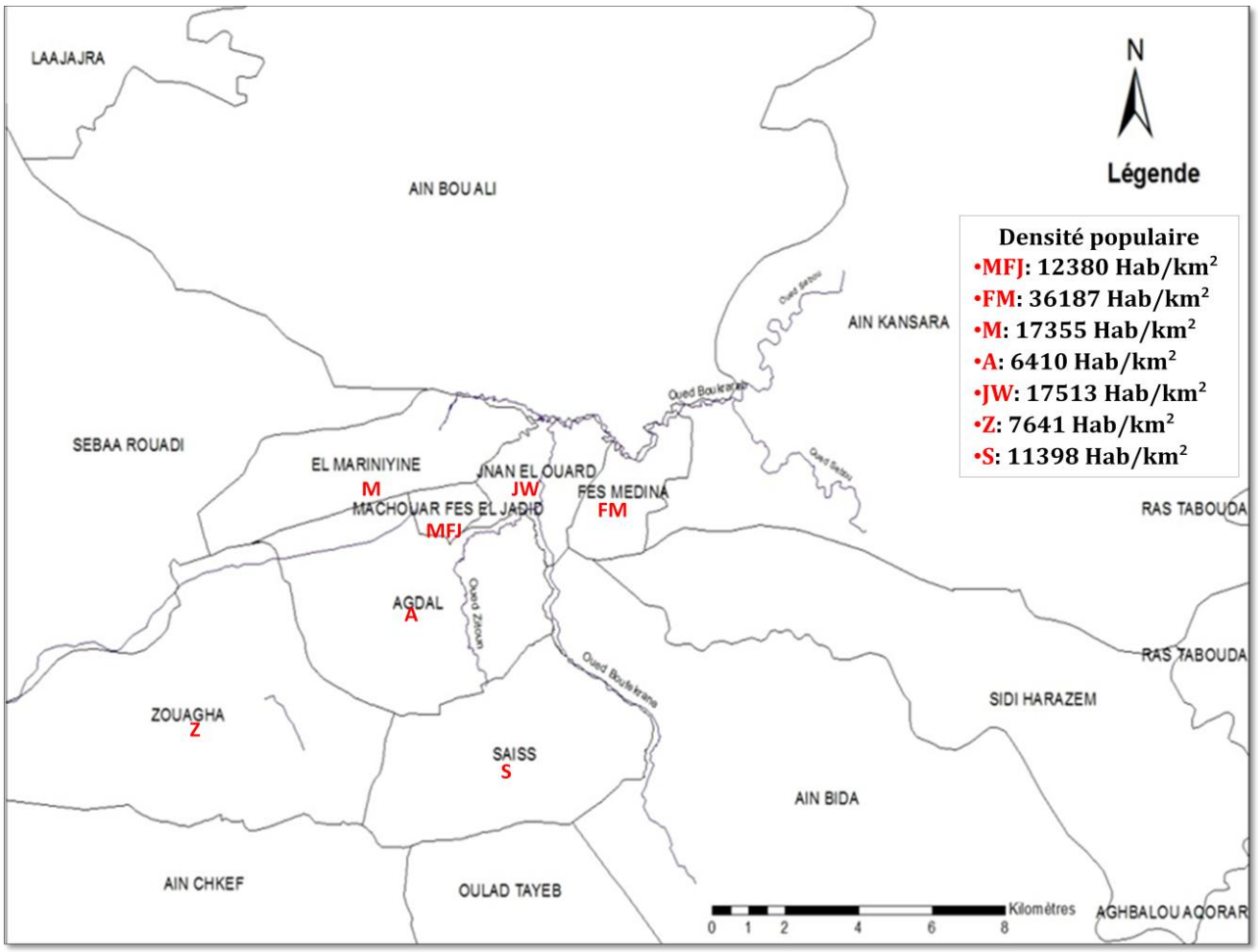


Figure 32 : Répartition géographique de la densité populaire calculée pour chaque arrondissement et commune de la ville de Fès

➢ Répartition spatiale des centres de santé de la ville de Fès

Les infrastructures publiques de soins s'étendent sur la totalité de la ville, avec un réseau de 39 centres de santé (CS) de base distribués dans toute la ville. La répartition spatiale de chaque CS, par arrondissement et commune est schématisée sur un fond cartographique, comme il est mentionné dans la figure 34.

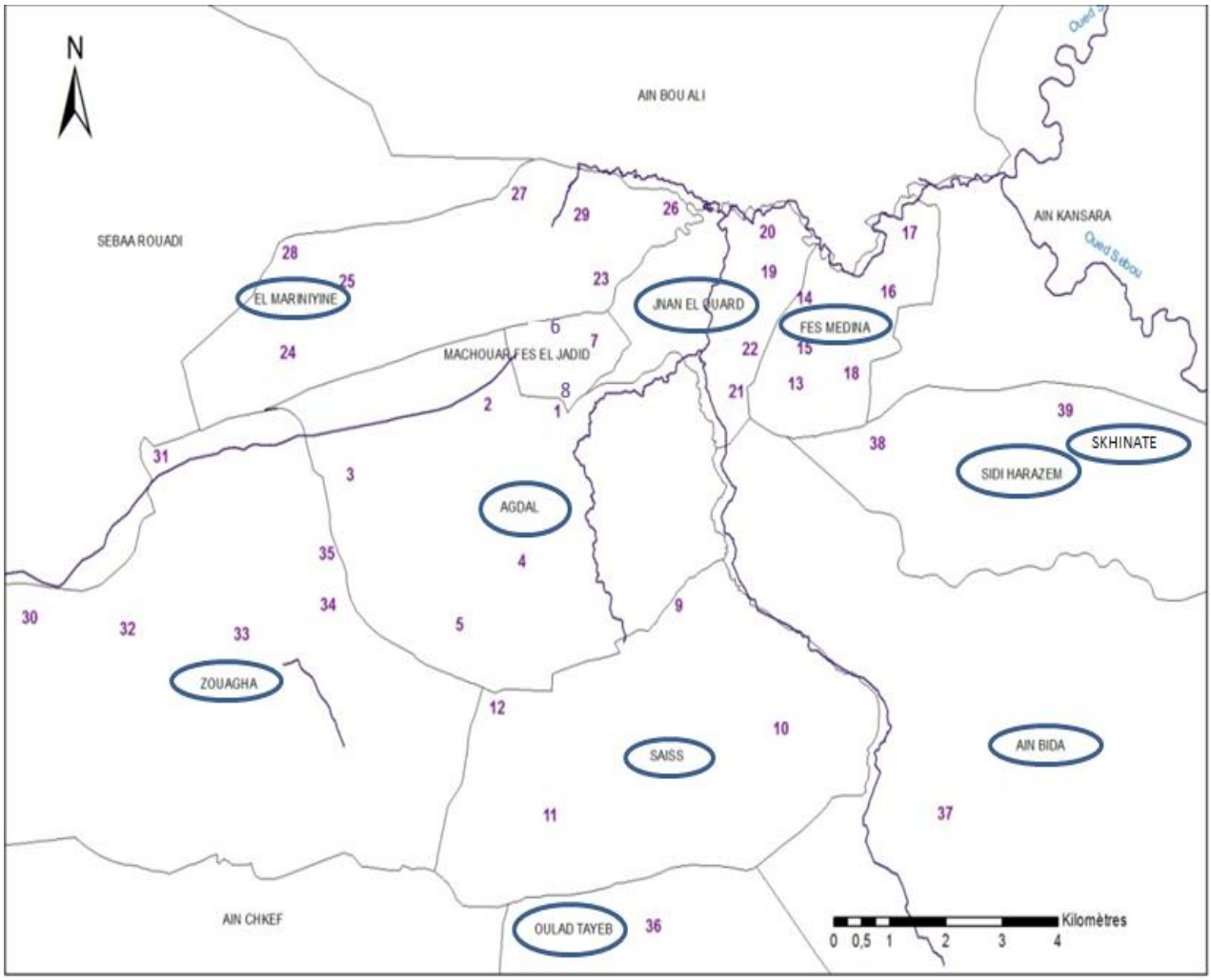


Figure 33: Répartition spatiale des centres de santé de la ville de Fès

La signification correspondante à chaque Centre de santé est figurée dans le Tableau 6 :

Tableau 6: Localisation des Centres de santé selon les zones et quartiers de la ville de Fès

Ville de Fès	
Arrondissements et communes	**Centres de santé (Fès)**
AGDAL	**1 Ville. Nouvelle**
	2 Dokkarat
	3 Tarik
	4 Dar Dbibagh
	5 Adarissa
Mechouar Fès Jdid	**6 Bab.Boujate**
	7 Boutouil
	8 Bab.Jiaf

SAISS	9 Narjiss
	10 Aouinat. Lhajaj
	11 Mon Fleuri
	12 Sidi. Brahim
Fès Médina	13 Adoua
	14 Andalous
	15 Bab Jdid
	16 Blida
	17 Lemtyène
	18 Sidi. Boujida
JNAN LWARD	19 Ain Nokbi
	20 Jnanat
	21 Lamsalla
	22 Sehrij.Gnaoua
El Marinyine	23 Ain Kadous
	24 Soundous
	25 Ain Haroun
	26 Ben Slimane
	27 Hajjoui
	28 Bab Sifer
	29 Dhar lkhmiss
Zouagha	30 Ben Souda
	31 Oued Fès
	32 Massira 1
	33 Massira 2
	34 Zouagha
	35 Soukayna
Oulad Tayeb	36 Oulad Tayeb
Ain Beida	37 Ain Beida
Sidi Hrazem	38 Sidi Hrazem
Skhinate	39 Skhinate

➢ Répartition spatiale des centres de santé en couplage avec les zones de la ville de Fès

Dans chacun des centres, les sources de données recueillies sont les supports d'information en particulier les rapports et registres mensuels, trimestriels, semestriels et annuels concernant le taux de prévalence du diabète.

La répartition spatiale des centres de santé en couplage avec les zones d'étude et la prévalence du diabète dans la ville de Fès est répertoriée dans la carte de la figure 35 :

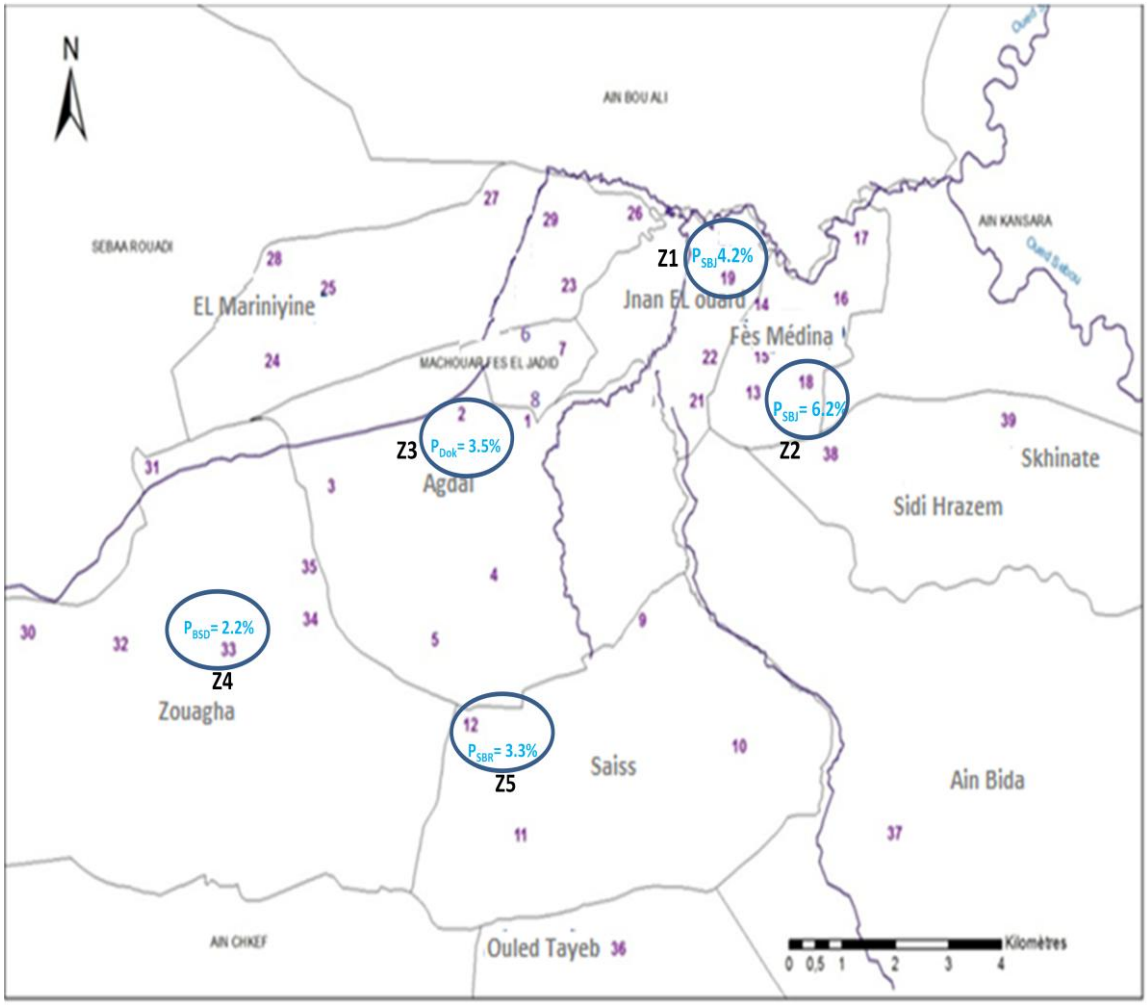


Figure 34: Répartition spatiale des centres de santé en couplage avec les zones de la ville de Fès

Cette carte montre que les taux de prévalences les plus élevés sont localisés dans les centres de santé : Ain Nokbi (4,2%), Sidi Boujida (6,2) ainsi que Dokkarat (3,5%).

➢ Répartition spatiale de prévalence du diabète pour l'année 2017

La répartition des taux de prévalence du diabète pendant l'année 2017, au niveau des 5 zones cibles de la ville de Fès est représentée dans la figure 35.

L’analyse des résultats révèle que pour l’année 2017, les deux zones ayant les taux les plus élevés du diabète sont localisés à Ain Nokbi avec un taux de 4,2 %, et Sidi Boujida arrivant jusqu’à 6,2 %, localisé aux arrondissements Jnan Lward et Fès Médina respectivement.

Parmi les facteurs qui pourraient être influençant, nous citons :

-La présence des activités agricoles qui utilisent d’une manière excessive les engrais, les pesticides et les produits phytosanitaires. Cela constitue un risque de pollution pour les eaux superficielles et même souterraines.

- La présence des activités industrielles et surtout artisanales (tanneries, poteries,…) qui utilisent l’eau et le produits chimiques toxiques, qui sont à effet endocrinien (Cr, Ni, Pb, Cd,…). Les eaux usées de ces industries sont rejetées dans les oueds avoisinant sans traitement au préalable, ce qui influence leur qualité. Et par conséquent, impacte directement la santé et l’environnement du fait de leurs exploitations par la population adjacente.

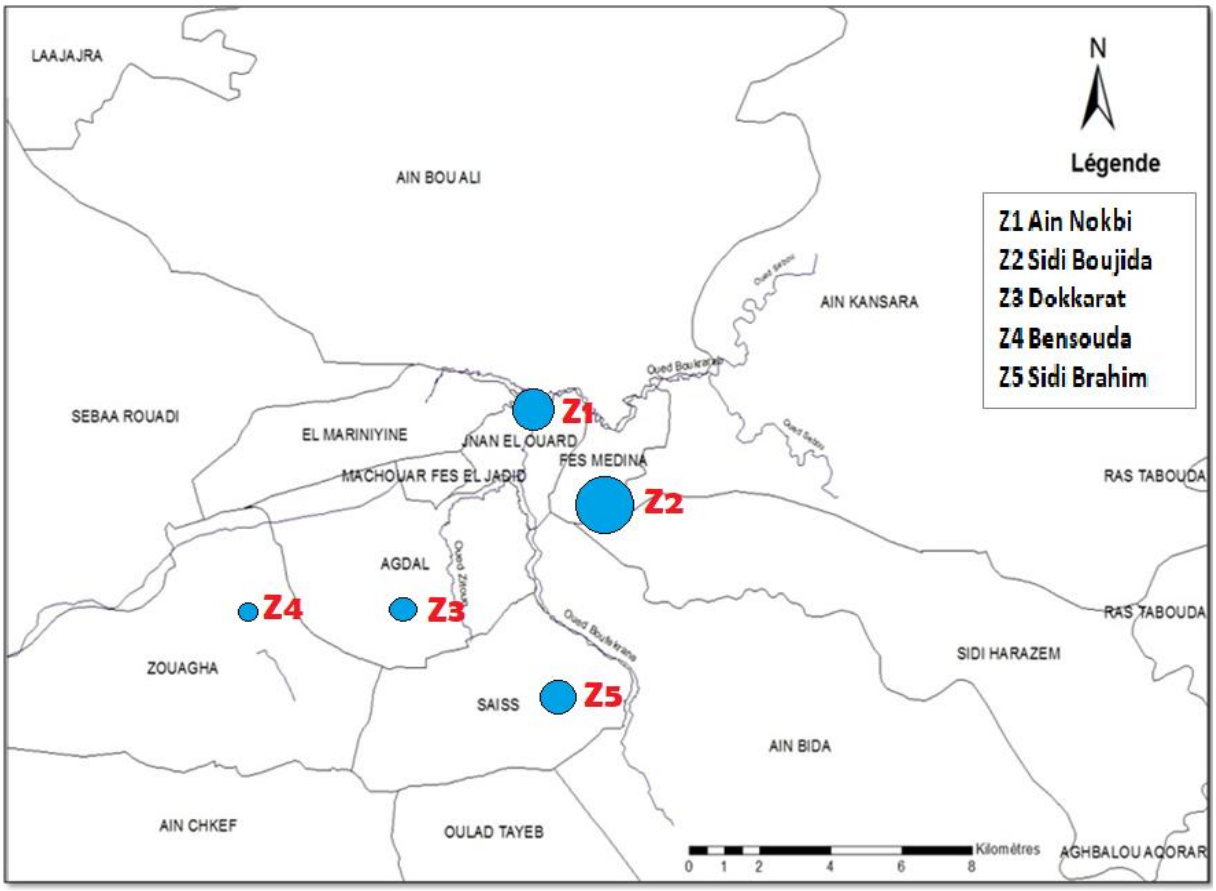


Figure 35: Répartition spatiale de la prévalence du diabète dans les 5 zones cibles de la ville de Fès

Afin d'étudier les risques de la maladie du diabète liée à la pollution des eaux des oueds, nous avons procédé à une enquête épidémiologique transversale auprès de la population dans les cinq zones identifiées de la ville de Fès.

III.2. Etude épidémiologique transversale du diabète auprès de la population des cinq zones d'étude de la ville de Fès

Les résultats de l'enquête épidémiologique, réalisée auprès de la population des cinq zones d'étude sont discutés par paramètre sociodémographique, clinique et spécifique.

III. 2.1. Analyse descriptive de la population d'étude

- **Données sociodémographiques**

Les résultats des données sociodémographiques des participants sont repartis dans le tableau 7 :

Tableau 7: Répartition des interrogés selon les données sociodémographiques

	Zone d'étude	**Ain Nokbi**	**Sidi Boujida**	**Dokkarat**	**Bensouda**	**Sidi Brahim**
Caractéristiques sociodémographiques		N (%)	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
Tranches d'âge	21-30 ans	17 (5,7)	26 (8,7)	59 (19,5)	43 (14,3)	49 (16,3)
	31-40 ans	32 (10,7)	27 (9,0)	47 (15,6)	80 (26,7)	48 (15,9)
	41-50 ans	111 (37,0)	116 (38,8)	113 (37,4)	104 (34,7)	102 (33,9)
	+50 ans	140 (46,7)	130 (43,5)	83 (27,5)	73 (24,3)	102 (33,9)
Sexe	Femme	138 (46,0)	132 (44,1)	65 (21,5)	85 (28,3)	65 (21,7)
	Homme	162 (54,0)	168(55,9)	235 (78,5)	215 (71,7)	235 (78,3)
Niveau d'étude	Analphabète	99 (33,0)	84 (28,1)	78 (25,8)	72 (24,0)	81 (26,9)
	Primaire	88 (29,3)	92 (30,8)	90 (29,8)	87 (29,0)	86 (28,6)
	Secondaire	65 (21,7)	71 (23,7)	82 (27,2)	82 (27,4)	78 (25,9)

- L'âge des personnes interrogées varie entre 21 et 65 ans.
- 47% des répondants dans les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida aient la tranche d'âge plus de 50 ans et 38% étaient de plus 41-50 ans.

Dans cette étude, nous avons enregistré que la majorité de la population interrogée est à prédominance masculine dans les 5 zones; le pourcentage des hommes est entre 54% et 78% et celui des femmes fluctue entre 21% et 46%.

Ce graphe montre que la majorité du personnel sont des analphabètes et ont un niveau primaire. Les analphabètes et les niveaux primaires représentent un pourcentage moyen aux alentours de 30% dans toutes les zones étudiées. Tandis que le niveau supérieur ne présente que 16% de la population interrogée. Les résultats corroborent ceux de Aouami qui confirme ainsi que l'analphabétisme est très répandu dans la population étudiée et déclarent qu'ils n'étaient jamais scolarisés (Aouami, 2017).

- **Données cliniques et spécifiques**

Les résultats des données cliniques et spécifiques des participants dans les cinq zones sont répertoriés dans le tableau 8 :

Tableau 8: Répartition des interrogés selon les données cliniques et spécifiques

	Zone d'étude	Ain Nokbi	Sidi Boujida	Dokkarat	Bensouda	Sidi Brahim
		N (%)	N (%)	N (%)	N (%)	N (%)
Diabète	Oui	200 (66,7)	182(60,9)	98(32,5)	95 (31,7)	83(27,6)
	Non	100 (33,3)	118(39,1)	202 (67,5)	205 (38,3)	217(72,4)
Confirmation de médecin	Oui	181 (60,3)	171 (56,9)	73 (24,2)	89 (29,7)	77 (25,6)
	Non	119 (39,7)	129 (43,1)	229 (75,8)	211 (70,3)	223 (74,4)
Type de traitement – **Par insuline**	Oui	159 (52,9)	168 (57,1)	143 (40,6)	106(34,3)	140 (42,6)
	Non	141 (47.1)	132 (42.9)	157 (59.4)	194 (65.7)	160 (57.4)
Par médicament	Oui	89 (29,9)	81(26,2)	100 (38,7)	117 (39,5)	101 (33,9)
	Non	211 (70.1)	219 (73.8)	200 (61.3)	183 (60.5)	199 (63.1)
Par régime	Oui	52 (17,2)	51(16,7)	56 (20,7)	75 (26,2)	59 (23,5)
	Non	248 (82.8)	247 (83.3)	244 (79.3)	225 (73.8)	241 (76.5)
Habitat à proximité des industries	Oui	245 (81,7)	247 (82,3)	134 (44,4)	183 (61,0)	181 (60,1)
	Non	55 (18,3)	53 (17,7)	165 (55,6)	117 (39,0)	120 (39,9)
Consommation des cultures irriguées	Oui	184 (61,3)	164 (54,8)	143 (47,4)	111 (37,0)	86 (28,9)
	Non	116(38,7)	135 (45,2)	157 (52,6)	189 (63,0)	214 (71,1)
Exploitation des eaux d'oued	Oui	164 (54,7)	129 (42,8)	132 (43,7)	122 (40,7)	80 (26,9)
	Non	136 (45,3)	298 (56,9)	170 (56,3)	178 (59,3)	220 (73,1)

Les taux de réponses positives enregistrées auprès de la population interrogée de l'atteinte du diabète sont de 66,7%, 60,9%, 32,5%, 31,7% et 27,6% dans les zones d'Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim respectivement, dont 60,3%, 56,9%, 24,2%, 29,7% et 25,6% ont une confirmation par le médecin traitant. Cela pourrait être dû aux différentes activités industrielles (textiles, tanneries, dinanderies,…) qui utilisent des produits chimiques toxiques à effets endocriniens (Cr, Ni, Zn, Pb,…). Ces résultats montrent clairement leur ignorance de la toxicité et du danger de la maladie. Ils corroborent ceux des estimations prévues par l'OMS.

Au Maroc, 50% des diabétiques méconnaissent leur maladie (OMS, 2013a).

Le taux des réponses positives auprès de la population enquêtée des cinq zones étudiées révèle que :

- La majorité des enquêtés suivent un traitement par insuline dans les 5 zones avec un taux fluctuant entre 34% et 57%, et entre 26% et 39.5% suivent un traitement par médicament, tandis qu'entre 16 et 26% suivent un traitement par régime.
- La totalité de la population sont localisées à proximité des industries avec un pourcentage variant entre 44% et 82%. Ceci pourrait être probablement dû à l'ignorance de la population adjacente qui ne sait pas le danger de leurs habitations à proximité des industries qui génèrent une pollution par les divers produits chimiques utilisés qui touche leur santé.
- Les zones Ain Nokbi (54,8%), Sidi Boujida (42,8%) et Dokkarat (43,7%) sont les zones qui exploitent le plus les eaux des oueds avoisinant.
- La majorité de la population enquêtée consomment les cultures maraichères irriguées par les oueds, notamment les zones Ain Nokbi (63,9%) et Sidi Boujida (42,5%). Ceci semble être dû à la population qui consomme les légumes crudités comme Laitue, choux fleurs,…) cultivés dans les Jnanates situés dans la zone Ain Nokbi. C'est ce qui était prouvé par une étude menée en 2015 et a conclu que la grande majorité de ces légumes commercialisées sont cultivés dans les champs de Jnanates. La pollution provient des déchets historiques de l'ancien site industriel de la poterie (Bouftini, 2015).

Pour analyser l'association entre la variable dépendante (atteinte du diabète) et d'autres variables de l'étude (âge, sexe, niveau d'étude, habitat approximatif aux industries, l'exploitation des eaux des oueds avoisinants et consommation des cultures irriguées par les oueds…), nous avons procédé à une analyse bi-variée en utilisant le tableau croisé exprimé par le test de Khi-deux.

III. 2.2. Analyse Bivariée

Associations entre le diabète et les données sociodémographiques

Le tableau suivant présente les résultats des données sociodémographiques sur le taux de diabète dans les cinq zones d'étude.

Le tableau montre que la population étudiée qui a une tranche d'âge supérieure à 41 ans est la plus atteinte du diabète avec un taux variant entre 30% et 46% selon les zones.

Les taux les plus élevés apparaissent chez 46% de la population de la zone Ain Nokbi et 42% en Sidi Boujida.

L'analyse bivariée du paramètre âge a montré une association statistiquement significative entre le taux du diabète et l'âge dans les zones Ain Nokbi (P = 0,048), Sidi Boujida (P = 0, 031) et Sidi Brahim (P = 0,002). Les zones Dokkarat et Bensouda ont une variation non significative avec l'âge. Quant au paramètre sexe, il a présenté une association significative entre le taux de diabète et le niveau d'étude pour la population de Ain Nokbi (P =0,014) et Sidi Boujida (P = 0,006) et non significative dans les autres zones d'étude.

A propos du paramètre du sexe, l'analyse a révélé une association statistiquement non significative entre l'apparition du diabète et le sexe dans les zones d'étude.

Tableau 9: Analyse Bivariée de l'association entre le diabète et les données sociodémographiques

		Age				Sexe		Niveau d'étude			
Ain Nokbi											
		21-30	**31-40**	**41-50**	**+50**	**Femme**	**Homme**	**Analphabète**	**Primaire**	**Secondaire**	**Supérieur**
Diabète	**Oui**	**13 (6,5)**	**24 (12,0)**	**72 (36,0)**	**91 (45,5)**	**88 (44,0)**	**112 (56,0)**	**66 (33,0)**	**61 (30,5)**	**42 (21,0)**	**31 (15,2)**
	Non	**4 (4,0)**	**8 (8,0)**	**39 (39,0)**	**49 (49,0)**	**50 (50,0)**	**54 (46,0)**	**33 (33,0)**	**27 (27,0)**	**23 (23,0)**	**16 (16,0)**
P			**0,048**			**0,195**				**0,014**	
Sidi Boujida											
Diabète	**Oui**	**19 (10,4)**	**14 (7,7)**	**73 (40,1)**	**76 (41,8)**	**84 (46,2)**	**98 (53,8)**	**58 (31,9)**	**48 (26,4)**	**50 (27,5)**	**26 (14,3)**
	Non	**7 (6,0)**	**13 (11,1)**	**43 (36,8)**	**54 (46,2)**	**48 (41,0)**	**69 (59)**	**26 (22,1)**	**44 (37,6)**	**21 (17,9)**	**26 (22,2)**
P			**0,031**			**0,226**				**0,006**	

Dokkarat													
	Oui	**20 (19,4)**	**16 (16,3)**	**28 (28,6)**	**35 (35,7)**	**24 (24,5)**	**74 (75,5)**	**18 (18,4)**	**37 (37,8)**	**33 (33,7)**	**10 (10,2)**		
Diabète													
	Non	**39 (19,1)**	**31 (15,2)**	**85 (41,7)**	**48 (23,5)**	**41 (21,0)**	**163 (79,9)**	**60 (29,4)**	**53 (26,0)**	**49 (24,0)**	**42 (20,6)**		
P			**0,128**			**0,234**				**0,660**			
Bensouda													
	Oui	**9 (9,5)**	**31 (32,6)**	**35 (36,8)**	**20 (21,1)**	**23 (24,2)**	**72 (75,8)**	**25 (26,3)**	**31 (32,6)**	**26 (27,4)**	**13 (13,7)**		
Diabète	**Non**	**34 (16,6)**	**49 (23,9)**	**69 (33,7)**	**53 (25,9)**	**62 (30,2)**	**143 (69,8)**	**47 (22,9)**	**56 (27,3)**	**56 (27,3)**	**45 (22,0)**		
P			**0,175**			**0,174**				**0,448**			
Sidi Brahim													
	Oui	**5 (6,0)**	**9 (10,8)**	**30 (36,1)**	**39 (47,0) (21,7)**	**18**	**65 (78,3)**	**19 (22,9)**	**27 (32,5)**	**26 (31,3) (13,3)**	**11**		
Diabète													
	Non	**44 (20,2)**	**39 (17,9)**	**72 (33,0)**	**63 (28,9)**	**47 (21,8)**	**169 (78,2)**	**62 (28,4)**	**59 (27,1)**	**52 (23,9) (20,6)**	**45**		
P			**0,002**			**0,562**				**0,224**			

Associations entre le diabète et les données cliniques et spécifiques

Le tableau 10 illustre les associations possibles entre le diabète et les variables considérées : Habitat à proximité aux industries (1), exploitation des oueds avoisinant (2), consommation des cultures irriguées (3).

Tableau 10: Analyse Bivariée entre les associations entre le diabète et les données cliniques et spécifiques

		Diabète		
		Oui	**Non**	**P**
Paramètres		**N (%)**	**N (%)**	
Ain Nokbi				
Habitat à proximité aux industries (1)	**Oui**	172 (86,0)	73 (73,0)	**0,006**
	Non	28 (14,0)	27 (27,0)	
Exploitation des oueds avoisinant (2)	**Oui**	120 (60,0)	44 (40,0)	**0,004**
	Non	80 (56,7)	56 (43,3)	
Consommation des cultures irriguées (3)	**Oui**	131 (65,5)	53 (53,0)	**0,025**
	Non	69 (34,5)	47 (47,0)	
Sidi Boujida				
Habitat à proximité aux industries (1)	**Oui**	157 (86,3)	89 (76,1)	**0,019**
	Non	25 (13,7)	28 (23,9)	
Exploitation des oueds avoisinant (2)	**Oui**	88 (68,8)	40 (31,2)	**0,009**
	Non	93 (54,7)	75 (45,3)	
Consommation des cultures irriguées (3)	**Oui**	109 (59,9)	55 (47,0)	**0,017**
	Non	73 (40,1)	62 (53,0)	
Dokkarat				
Habitat à proximité aux industries (1)	**Oui**	48 (49,0)	86 (42,2)	**0,016**
	Non	50 (51,0)	118 (57,8)	

Exploitation des oueds avoisinant (2)	**Oui**	51 (50,0)	83 (40,7)	**0,08**
	Non	45 (41,7)	121 (59,3)	
Consommation des cultures irriguées (3)	**Oui**	52 (53,1)	91 (44,6)	**0,105**
	Non	46 (46,9)	113 (55,4)	
Bensouda				
Habitat à proximité aux industries (1)	**Oui**	68 (71,6)	115 (56,1)	**0,007**
	Non	27 (28,4)	90 (43,9)	
Exploitation des oueds avoisinant (2)	**Oui**	38 (40,0)	84 (41,0)	**0,488**
	Non	57 (60,0)	122 (58)	
Consommation des cultures irriguées (3)	**Oui**	38 (40)	73 (35,6)	**0,272**
	Non	57 (60,0)	132 (64,4)	
Sidi Brahim				
Habitat à proximité aux industries (1)	**Oui**	44 (53,0)	137 (63,4)	**0,065**
	Non	39 (47,0)	79 (36,6)	
Exploitation des oueds avoisinant (2)	**Oui**	29 (34,9)	52 (24,1)	**0,042**
	Non	54 (65,1)	164 (75,9)	
Consommation des cultures irriguées (3)	**Oui**	26 (31,3)	59 (27,3)	**0,291**
	Non	57 (68,7)	157 (72,7)	

L'analyse bivariée de l'habitat à proximité des industries par rapport au diabète, indique une variation significative entre eux aux zones Ain Nokbi (P = 0,006), Sidi Boujida (P = 0,019), Dokkarat (P= 0,016) et Bensouda (P= 0,014) à l'exception de la zone Sidi Brahim qui varie d'une façon non significative avec le diabète (P = 0,065). Ceci semble être dû à l'ignorance et à la méconnaissance de la population du danger résultant d'habiter à proximité des zones industrielles et artisanales qui rejettent leurs déchets sans traitement au préalable et influencent de manière directe la santé de l'homme.

Pour le facteur exploitation des eaux des oueds avoisinant, il montre une variation très significative entre eux dans les zones Ain Nokbi (P =0,004) et Sidi Boujida (P = 0,009) et non significatif statistiquement dans les autres zones. Ceci est probablement dû à l'ignorance de la population d'étude du danger de l'exploitation des eaux contaminées par les rejets industriels chargés en produits chimiques à caractère endocrinien (médicaments, cosmétiques, métaux lourds, produits phytosanitaires,…) et par les déchets solides.

Quant au facteur consommation de la population des cultures maraichères irriguées par les oueds par rapport au diabète, il dénote une variation hautement significative entre eux surtout, aux zones Ain Nokbi (P = 0,004) et Sidi Boujida (P = 0,009). En fait, ces cultures maraîchères s'irriguent jusqu'à présent par les eaux usées de l'oued Fès chargées par les rejets industriels et artisanaux de la zone (Bouftini, 2015).

III.3. Analyse de la relation entre la répartition du diabète et la qualité globale des polluants des eaux de surface de la ville de Fès

La relation entre la répartition du diabète et la qualité métallique globale des eaux de surface en 2017 parcourant les zones étudiées de la ville de Fès est déterminée par une analyse spatiale. L'objectif avait de faire une association spatiale entre les données environnementales et sanitaires en incluant les facteurs de risques qui sont très significatifs.

Les facteurs pris en considération sont : l'habitat à proximité des industries, la consommation des cultures maraîchères irriguées par les oueds, l'exploitation des eaux des oueds avoisinant.

III.3.1. Analyse géographique vis à vis du taux de prévalence du diabète recensé

Suite à la représentation cartographique de la distribution géographique des différents composants étudiés (figure 36), les résultats pourraient être interprétés comme suit :

Les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida représentent les taux de prévalence les plus élevés du diabète malgré que le nombre d'industries dans ces zones est inférieur à celui de la zone sidi Brahim. Cela confirme que le type d'activité industrielle et des rejets solides ou liquides dans les milieux naturels ont plus d'impacts environnementaux et sanitaires.

Les taux de prévalence du diabète par zone et par ordre décroissant sont :

6,2% >4,2% >3,6% >3% >2,4% relatifs aux zones Sidi Boujida>Ain Nokbi> Dokkarat> Bensouda> Sidi Brahim.

Ce classement fait apparaitre que le taux de prévalence à la zone Bensouda est le plus faible même si la qualité globale métallique des eaux de l'oued Ain Smen est mauvaise notamment en Cadmium. Ce qui prouve que la population exploite modérément ces eaux et la prévalence du diabète à d'autres facteurs de risques ; alimentaires ou génétique.

D'après la carte, les activités artisanales les plus polluantes, tanneries, dinanderies et textiles sont dans les zones Ain Nokbi, Sidi Boujida et Dokkarat. Ces zones se caractérisent essentiellement par :

-Une densité populaire élevée ;

- Des oueds chargés en polluants métalliques à caractère endocriniens ;

- Une culture maraichère irriguée par les eaux de ces oueds ou directement par les rejets industriels ou les eaux prélevés des regards qui l'ont enrichi par le fumier et l'ont véhiculé vers leur champs ;

- Une dynamique agricole importante localisée principalement dans les champs de Jnanates où les terres sont cultivées par les maraichères.
- Une population, dont son alimentation se base sur les végétaux maraichers de leurs champs.

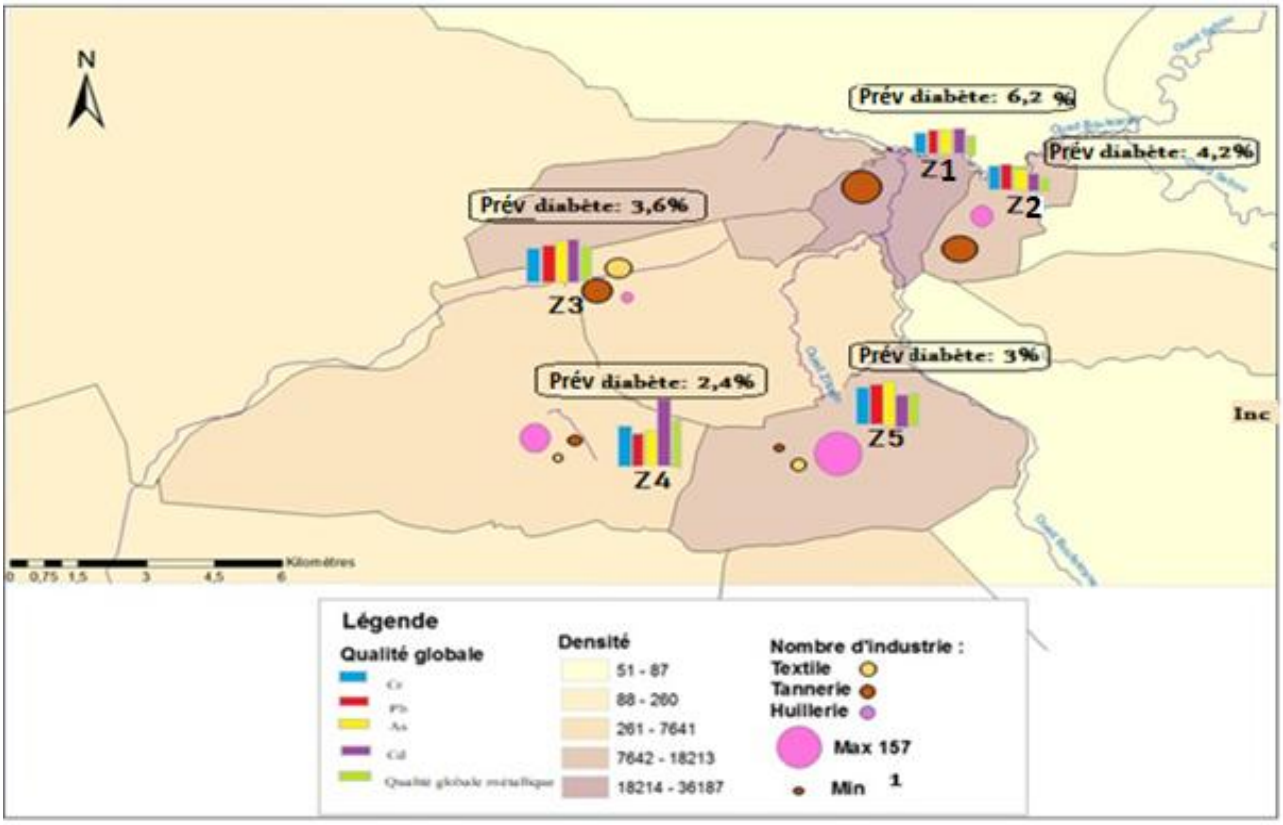


Figure 36: Répartition géographique des différents paramètres avec la prévalence du diabète

En guise de conclusion, le type d'industries présentes à la ville de Fès, influence la pollution de l'eau de façon remarquable que le nombre d'industries qui sont excessivement exploitées par la population adjacente. Nous supposons donc être responsables de la dégradation de la qualité des eaux d'Oued Tghat et Zhoun, et de l'augmentation du risque d'atteinte par le diabète.

Il est à signaler que les données sanitaires sur les taux de prévalence du diabète sont sous-estimées par rapport à la réalité pour plusieurs raisons : les individus malades ne consultent pas un médecin, certains cas méconnaissent leurs maladies.

III.3.2. Analyse géographique vis-à-vis du taux d'atteinte du diabète

D'après la représentation cartographique de la répartition géographique des différents paramètres (figure 37), il est clair que les taux élevés d'atteinte du diabète sont au niveau des zones Ain Nokbi et Sidi Boujida. Toutefois, nous relevons que le taux des atteints du diabète est :

- Plus élevé dans les zones caractérisées par leur densité populaire, le nombre des tanneries et dinanderies, le taux d'exploitation des eaux des oueds traversant et la consommation des cultures maraichères. Ce taux varie proportionnellement avec les paramètres susmentionnés.

- légèrement influencé par l'habitat à proximité des industries.

- Presque le $^{1}/_{3}$ de la zone Ain Nokbi que celle de Sidi Brahim malgré que cette dernière rassemble le plus grand nombre d'industries dans la ville de Fès. Ceci semble être dû à la conscience de certains industriels qui traitent leurs rejets liquides avant leur déversement dans le réseau d'assainissement. Semblable pour les zones Dokkarat et Bensouda, représentant presque la moitié de la population atteinte à Ain Nokbi et Sidi Boujida.

- Pour la zone Dokkarat, les facteurs densité, même nombre d'industries de textiles que de tanneries, exploitation des eaux de l'oued Fès et des cultures maraichères. Concernant les zones Bensouda et Sidi Brahim, le facteur le plus responsable est celui de l'habitat à proximité des industries. Ces zones sont connues aussi par la présence des huileries et des industries de textiles en plus des industries métallurgiques.

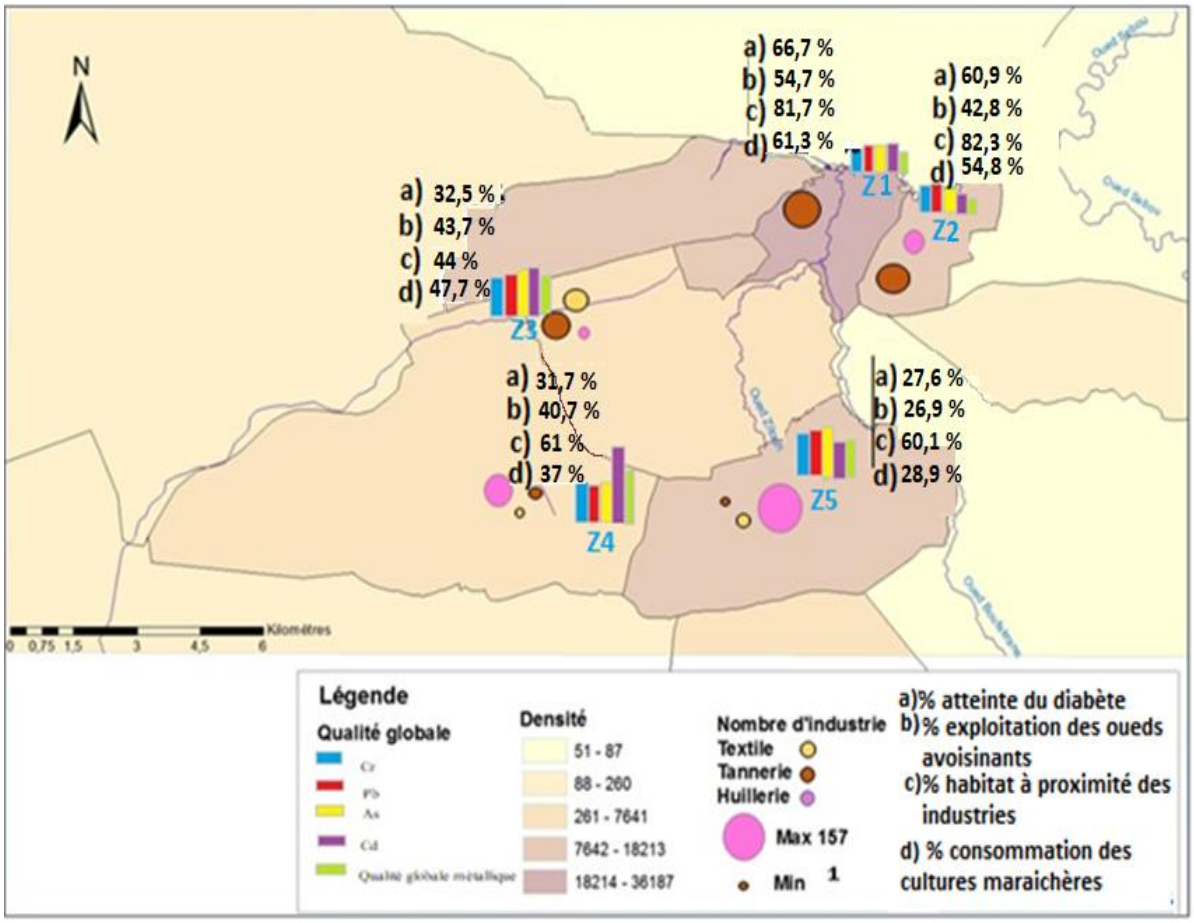


Figure 37 : Répartition géographique des différents paramètres avec le taux d'atteinte du diabète

-Une exploitation des eaux des oueds avoisinant expliquée par plusieurs facteurs : taux d'analphabétisme, pauvreté de la population,….

IV. Conclusion

L'analyse des données recensées sur la prévalence du diabète et de la population atteinte à cause de ses activités et de son habitat montre que:

- Le taux de prévalence du diabète dans la ville de Fès est de 3.9%/100000Habitant.
- Le nombre de cas annuel du diabète est de 41584, dont 86% sont des femmes contre 14% d'hommes.
- Les deux zones ayant les taux de prévalence les plus élevés du diabète sont situés à Ain Nokbi et Sidi Boujida avec un taux de 4,2% et 6,2% respectivement.

L'analyse descriptive de la population enquêtée dénote que:

- 47% des répondants dans les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida aient la tranche d'âge plus de 50 ans et 38% étaient de plus 41-50 ans.
- La majorité de la population interrogée est à prédominance masculine dans les 5 zones et sont soit des analphabètes ou ont un niveau primaire.
- Les taux de réponses positives que nous avons enregistrées concernant le taux d'atteinte du diabète sont de 66,7%, 60,9%, 32,5%, 31,7% et 27,6% respectivement dans les zones d'Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim respectivement, dont 60,3%, 56,9% ont une confirmation par le médecin d'atteinte du diabète pour les zones Ain Nokbi et sidi Boujida.
- La totalité de la population sont localisées à proximité des industries avec un pourcentage varient entre 44% et 82%, et consomment les cultures maraichères irriguées par les oueds surtout les zones Ain Nokbi (63,9%) et Sidi Boujida (42,5%).

- Les zones Ain Nokbi (54,8%), Sidi Boujida (42,8%) et Dokkarat (43,7%) sont les zones qui exploitent le plus les eaux des oueds avoisinant.

L'analyse bivariée du paramètre de l'âge et le niveau d'étude ont montré

- Une association significative avec le diabète surtout à Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- Une variation significative entre l'habitat à proximité des industries par rapport au diabète aux zones Ain Nokbi (P = 0,006), Sidi Boujida (P = 0,019), Dokkarat (P= 0,016) et Bensouda (P= 0,014) à l'exception de la zone Sidi Brahim qui varie d'une façon non significative avec le diabète (P = 0,065).

- Une variation très significative entre le facteur de l'exploitation des eaux des oueds avoisinant, et la consommation de la population des cultures maraichères irriguées par les oueds par rapport au diabète dans les zones Ain Nokbi (P =0,004) et Sidi Boujida (P = 0,009) et non significatif statistiquement dans les autres zones.

L'analyse géographique a montré que le taux de prévalence du diabète est significatif et fortement lié aux facteurs de risque étudiés ; taux de consommation des cultures irriguées, le type d'industries, l'habitat à proximité des industries et la qualité globale métallique des eaux de surfaces. Il est donc nécessaire d'impulser à l'éducation sanitaire, de sensibiliser la population des dangers de facteurs de risque étudiés afin de réduire le risque de propagation des maladies ou d'épidémies d'origine endocriniennes.

Conclusion générale et perspectives

Le principal objectif de cette thèse était d'évaluer l'impact de la pollution des eaux de surface de la ville de Fès par les perturbateurs endocriniens sur le diabète et contribuer au traitement des eaux les plus polluées. Ce travail a permis donc, du moins en partie d'estimer les facteurs environnementaux qui contribuent à l'évolution ou la régression des maladies endocriniennes à la ville de Fès. Les données recueillies et les résultats obtenus ont permis de mieux déceler les associations entre les polluants métalliques des eaux de surface et le risque de ces maladies en prenant comme exemple, le diabète d'une part ; et d'autre part, de pouvoir réduire la charge polluante des eaux de surface des oueds Tghat et Zhoun qui font l'aval d'oued Fès d'environ 92% par coagulation-floculation.

Pour ce faire, nous avons :

- identifié et évaluer la qualité des eaux des oueds traversant la ville de Fès à travers un diagnostic approfondi en concertation avec les acteurs concernés et avec un suivi de 6mois ;
- évalué la charge polluante des oueds les plus pollués pendant un suivi de 12mois ;
- traité les eaux usées déversées à l'amont des oueds identifiés les plus pollués : Tghat et Zhoun, par coagulation-floculation ;
- fait un état des lieux de la prévalence du diabète dans 5 zones de la ville de Fès en 2017 ;
- élaboré une enquête épidémiologique transversale sur le diabète via un questionnaire destiné à la population des cinq zones de la ville ;
- établi le lien entre les polluants métalliques à effet endocrinien dans les eaux des oueds les plus polluées, et les taux de prévalence et d'atteinte du diabète au niveau des 5 zones de la ville de Fès.

Les principales conclusions que nous avons tirées de ce travail sont :

- Cinq zones de la ville de Fès connaissent une démographie intense et sont à proximité des zones industrielles et agricoles de la ville. Ces zones existent aux arrondissements : Jnan El Ward et Fès Médina, Agdal, Zouagha et Saiss appartenant respectivement aux zones : Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim.
- Les oueds traversant ces zones sont respectivement : Oued (Tghat, Zhoun, Fès en amont, Ain Smen et Lmahraz).

- Les eaux de ces oueds sont exploitées par la population avoisinante dans : l'irrigation des cultures maraichères céréales et légumes, le lavage des légumes, le lavage des voitures, le linge, la natation des petits enfants, l'élevage des ovins et bovins,...
- Les activités industrielles et artisanales principales au voisinage des sites de prélèvements sont les tanneries, les dinanderies, les poteries, les huileries, les textiles, les industries chimiques et les industries de denrées alimentaires,…
- Les eaux de ces oueds sont caractérisées par de fortes charges organiques, azotées, phosphorées et sont riches en Chrome, Arsenic, Plomb et Cadmium et à moindre degré en charge bactérienne fécale et en Zinc et Nickel.
- Les oueds les plus polluées dont la charge dépasse de loin les normes de qualité des eaux de surface sont oued Tghat et oued Zhoun traversant respectivement les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- La qualité globale des eaux des oueds Tghat et Zhoun, selon l'approche SEQ-SIG, est mauvaise manifestée majoritairement par une charge organique à la limite de la biodégradabilité ; riche en matières azotées et phosphorées, moyennement fécale et fortement minérale à caractère métallique, principalement en Cr, As, Pb et Cd et considérés parmi les substances à caractère de perturbateurs endocriniens.
- Les eaux d'oued Tghat sont légèrement plus chargées que celle d'oued Zhoun à cause des grandes activités artisanales et de la densité populaire de la zone Ain Nokbi.
- La validation de l'évaluation de la qualité des eaux d'oued Tghat et Zhoun par l'ANOVA a montré que le facteur site a moins d'influence sur chacun des paramètres analysés que le facteur temps.
- Le traitement des eaux usées déversées e amont des oueds Tghat et Zhoun qui font l'aval d'oued Fès par coagulation-floculation dans les conditions optimales, de pH à 6.5, une dose de coagulant Sulfate d'Aluminium égale à 0,15 $g.L^{-1}$ et de floculant de Praestol égale à 1 $mg.L^{-1}$, dans un temps de coagulation rapide et de floculation lente de 3min à 150 $tr.min^{-1}$ de coagulation et 20 min à 20 $tr.min^{-1}$ de floculation a permis la réduction de leur charge globale de presque de 90 à 94% de tous les métaux.
- Selon les statistiques de l'année 2017, il existe dans la ville de Fès 39 centres de santé, pour 1,186 millions habitants, répartis sur les différents arrondissements et communes : Agdal, Fès Medina, Jnane EL WARD, Zouagha, Marinyine, Saiss, la commune de Mechouar Fès-Jdid qui contient 3 communes rurales : la commune rurale d'Oulad Tayeb, la commune rurale de Sidi Hrazem et la commune rurale d'Ain Bida.

- la majorité des personnes interrogés sont à prédominance masculine dans les 5 zones et sont soient des analphabètes ou ont un niveau primaire avec un pourcentage entre 45% et 70%, et 47% des répondants aient la tranche d'âge plus de 50 ans et 38% étaient de plus 41-50 ans et étaient localisés dans les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- Selon les données recensées des fichiers administratifs, les zones ayant les taux de prévalence du diabète les plus élevés sont : Ain Nokbi avec un taux de 4,2%, et Sidi Boujida arrivant jusqu'à 6,2%, localisé respectivement aux arrondissements Jnan Lward et Fès Médina.
- Les facteurs principaux influençant la surgie des maladies du diabète sont : les activités agricoles, utilisant de façon excessive les engrais, les pesticides et les produits phytosanitaires, et les activités industrielles, particulièrement artisanales (tanneries, dinanderies, poteries, teintureries,…) qui exploitent des produits chimiques toxiques dont un pourcentage non négligeable est véhiculé avec leurs rejets liquides.
- Les résultats de l'analyse épidémiologique descriptive de la population enquêtée enregistrent que des 1500 interrogés, 66,7%, 60,9%, 32,5%, 31,7% et 27,6% sont atteintes du diabète dans respectivement les zones Ain Nokbi, Sidi Boujida, Dokkarat, Bensouda et Sidi Brahim, dont 60,3%, 56,9% ont une confirmation par le médecin d'atteinte du diabète pour les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida.
- L'analyse bivariée des résultats environnementaux et sanitaires montre que :
  - Il existe des associations statistiquement significatives entre le diabète et plusieurs variables (le sexe, l'âge, le niveau d'études, l'exploitation des eaux des oueds avoisinants, l'habitat approximatif aux industries et la consommation des cultures maraichères irriguées par les oueds ;
  - Il existe quatre facteurs de risque communs entre l'apparition du diabète et les 6 facteurs étudiés: la densité populaire, l'âge, le niveau d'étude, l'exploitation des eaux des oueds traversant les zones cibles, l'habitat approximatif aux industries et la consommation des cultures irriguées par les oueds, le type d'industries artisanales qui déversent leurs rejets sans traitement dans les oueds.
  - Les facteurs ayant moins d'influence sur l'atteinte du diabète sont l'habitat à proximité des industries et le nombre d'industries ;

- Les facteurs, du moins en partie responsables du risque de la survenue et la prévalence du diabète dans les zones Ain Nokbi et Sidi Boujida sont :

* La mauvaise qualité métallique des eaux des oueds traversant les zones : Tghat et Zhoun et la forte densité populaire ;

* Le coudoiement des zones agricoles, notamment les champs Jnanates à Ain Nokbi; connu par la marchandise des légumes irrigués par ces eaux et ou par les eaux usées, en raison des pratiques de certains agriculteurs qui cassent les émissaires d'assainissement pour s'approvisionner en eau nécessaire à l'irrigation de leurs cultures…

* L'habitat à proximité des zones industrielles identifiées les plus polluées par les activités anthropiques (industrielles, artisanales et oléicoles) utilisant des produits chimiques très toxiques,…

- Le taux de prévalence du diabète est lié fortement aux facteurs de risque suscités.

En guise de conclusion, l'application des outils d'analyse géographique en épidémiologie a étalé plusieurs profits pour notre étude: une meilleure connaissance de l'analyse des relations entre l'environnement, notamment la qualité de l'eau exploitée par la population, les facteurs influençant, la présence de la maladie, la prédiction de la propagation de la maladie et l'évaluation des actions de contrôle et de prévention.

Afin de bien réduire le taux de prévalence du diabète et améliorer l'état de santé de la population souffrant du diabète ou autres maladies chroniques, nous suggérons les perspectives suivantes :

- Chercher des substituants des métaux à caractère de perturbateurs endocriniens dans les procédés industriels, artisanaux et agricoles,…;
- Développer l'innovation industrielle en mettant en œuvre des solutions alternatives aux PE par de nouveaux procédés de fabrication ou l'amélioration de ceux existant.
- Etudier les méthodes de traitement et de recyclage des eaux usées chargées en substances à caractère endocrinien insitu les industries qui en génèrent.
- Etudier les méthodes d'information des citoyens, consommateurs et professionnels exposés aux PE sur les risques qu'ils encourent, et en particulier l'information des personnes les plus vulnérables (femmes enceintes, jeunes enfants, adolescents, personnes âgées).

- Etablir des programmes de sensibilisation avec des méthodes récentes et efficaces.

Finalement, nous recommandons aux autorités et décideurs locaux et nationaux de :

_ Exploiter les données et les résultats ainsi trouvés par cette recherche et développer d'autres programmes de recherche dédiés aux substances à effet endocrinien

_ Mettre en place une stratégie à l'échelle nationale concernant les effets nocifs sur la santé et l'environnement associés aux perturbateurs endocriniens ;

_ Œuvrer, pour une réduction de l'exposition humaine aux perturbateurs endocriniens

_ Publier une liste régulièrement mise à jour des métaux à effet endocriniens prioritaires qui s'appuient sur une connaissance solide des effets sur la santé ;

_ Interdire le déversement des eaux usées industrielles dans le réseau public.

Références

ABHSF. (2015). Agence du Bassin Hydraulique de Sebou de Fès, rapport “wastewater in the city of Fez", [rapport].

ADC American Diabetes Association. (2010). Diagnosis and Classification of Diabetes Mellitus. Diabetes Care, 33(1), 62–69.

Aharik, E. G. (2016). Application du SIG pour la gestion des ressources en eaux dans la région de Saiss (Maroc). In 3ème édition internationale des utilisateurs du SIG (pp. 1–9).

Ake Bergman, Heindel, J. J., Jobling, S., & Karen, A. (2013). Rapport OMS-PNUE-State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals.

Al-Shannag, M., Lafi, W., Bani-Melhem, K., Gharagheer, F., & Dhaimat, O. (2012). Reduction of COD and TSS from paper industries wastewater using electro-coagulation and chemical coagulation. Separation Science and Technology, 47(5), 700–708.

Albane, B., Caroline, L. E. B., Charlotte, M., & Axelle, R. (2010). Risques sanitaires liés à la réutilisation d’eaux usées traitées pour l’aeroaspersion des espaces verts.

Alberti, K. G. M. M, R. G., Cockram, C. S., Flyvbjerg, A., & Goldstein, B. (2010). The Classification and Diagnosis of Diabetes Mellitus. In Textbook of Diabetes (pp. 24–30).

Alinejad, A., Farsani, S. F., Bahmani, Z., Sarsangi, V., Khodadadi, R., & Conti, G. O. (2016). Evaluation of heavy metals level (arsenic , nickel , mercury and lead) effecting on health in drinking water resource of Kohgiluyeh county using geographic information system (GIS) Msc of water and wastewater , Environmental Engineering Kurdistan Rura. International Journal of Medical Research & Health Sciences, 5(8), 233–241.

Allan. Langlois (2008). Optimisation de la revascularisation des îlots pancréatiques au cours de la transplantation: approche génétique ou pharmacologique, thèse de doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg.

Alvarado, L., Torres, I. R., & Chen, A. (2013). Integration of ion exchange and electrodeionization as a new approach for the continuous treatment of hexavalent chromium wastewater, article. Separation and Purification Technology, 105, 55–62.

Amarti Riffi, S. (2013). Gérer le réseau d’assainissement de la ville de Fès : collecter, traiter, valoriser, rapport RADEEF.

Ambuchi, J. J., Liu, J., Wang, H., Shan, L., Zhou, X., Mohammed, M. O. A., & Feng, Y. (2016). Microbial community structural analysis of an expanded granular sludge bed

(EGSB) reactor for beet sugar industrial wastewater (BSIW) treatment, article. Applied Microbiology and Biotechnology, 100(10), 4651–4661.

Amelus, H. (2016). Déterminants qui favorisent ou non l'autogestion du diabète de type 2 chez les personnes souffrant de cette maladie en Haïti, rapport (mémoire de maitrise).

Ana, N.-A. (2010). Arsenic Exposure and Prevalence of Type 2 Diabetes in US Adults. Retrieved from www.jama.com

ANAM. (2014). Rapport Annuel Global de l'Assurance Maladie Obligatoire au titre de l'année 2013. Rabat, Maroc.

Cicolella. André (2012). Evaluation du lien entre environnement chimique, obésité et diabète, rapport Réseau Santé Environnement (RES). Paris.

ANSES. (2012). les perturbateurs endocriniens en 12 projets, comprendre oùen est la recherche, programme nationale de recherche sur les perturbateurs endocriniens, rapport. Paris.

ANSES. (2014). Evaluation des risques sanitaires liés à des substances reprotoxiques et/ou perturbateurs endocriniens.

Aouami, M. (2017). Les Caractéristiques Socioéconomiques et la Qualité des Soins des Diabétiques Suivis au Niveau du Centre de Santé Boujarrah à la Ville de Tétouan, rapport.

Aoufi H. (2012). Les facteurs de risque du pied diabétique à la province de Tétouan : Etude Cas-Témoin- rapport, INAS, Rabat.

Arnaud Catherine. (2013). Méthodologie générale de la recherche épidémiologique, rapport. Toulouze.

ASEF. (2010). Pollution de l'eau : Origines et impacts, rapportde l'Association Santé Environnement France.

ASPC. (2011). Le diabète au Canada : Perspective de santé publique sur les faits et chiffres, rapport.

Ateba Bessa, H., Nougang, M.E., Noah Ewoti, O.V., Tamatcho Kweyang, B., Tawedi, R.E., Mbilongo, J.-C., Nola, M. and Njine, T. (2012). Occurrence of Salmonella spp in surface waters of Yaoundé; Cameroon, J. Env. Science and Water Resources, Vol. 1 (10, 243–250.

B

Baccar, R. (2013). Removal of water pollutants by adsorption on activated carbon prepared from olive- waste cakes and by biological treatment using ligninolytic fungi, thèse. National School of engineers of Sfax (ENIS), Université Autonoma Barcelona.

Baechler. L (2012). L'Europe en Formation. La bonne gestion de l'eau : un enjeu majeur du développement durable,. Revue Géopolitique et Gestion de l'eau, 3 (n° 365).

Barraka-Vidot Jennifer (2014), « Stress Oxydant Et Pathologie Diabétique A L'île De La Réunion – Identification Et Caractérisation Des Propriétés Structurales Et Fonctionnelles De L'albumine Glyquée », Thèse, Université De La Reunion.

Barakat, A., Meddah, R., Afdali, M., & Touhami, F. (2018). Physicochemical and microbial assessment of spring water quality for drinking supply in Piedmont of Béni-Mellal Atlas (Morocco). Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 104(39–46).

Barouki., R. (2013). Interaction entre polluants environnementaux et obésitéInteraction between environmental pollutants and obesity, Cahiers de Nutrition et de Diététique, 48(3), 123–128.

Bassandeh, M., Antony, A., Le-Clech, P., Richardson, D., & Leslie, G. (2013). Evaluation of ion exchange resins for the removal of dissolved organic matter from biologically treated paper mill effluent, Chemosphere, 90(4), 1461–1469.

Battaglia-Brunet F., Dictor M.C., Lett M.C., B. N. (2009). Bioremédiation d'eaux contaminés par l'arsenic, Techno.

Baysal, A., & Akman, S. (2018). Assessment of chromium and nickel levels in surface sea waters and sediments from industrial marine area in Tuzla Aydinli Bay (Istanbul-Turkey), Mar Pollut Bull, (130), 293-298.

Beita-Sandí, W., & Karanfil, T. (2017). Removal of both N-nitrosodimethylamine and trihalomethanes precursors in a single treatment using ion exchange resins, Water Research.

Belhadj, M. Z. (2017). Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda, thèse. Université Mohamed Khider Biskra, faculté des Sciences et de la technologie Département.

Belhadj M. Z., et B. A. (2011). Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la wilaya de Skikda (Nord-est de l'Algérie). Contamination naturelle par le mercure, European Journal of Scientific Research, 56 N°(2), 204–211.

Bellebia, S., Kacha, S., Bouberka, Z., Bouyakoub, A. Z., & Derriche, Z. (2009). Color

Removal from Acid and Reactive Dye Solutions by Electrocoagulation and Electrocoagulation/Adsorption Processes, Water Environment Research, 81(4), 382–393.

Ben-Daoud, M., Mouhaddach, O., A, E., Layachi, A., Kestemont, M. P., & El Jaafari, S. (2011). Conception d'un SIG pour l'évaluation de l'impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux superficielles de la ville de Meknès (Maroc), Mar Pollut Bull, 16.

Ben Aakame Rachid. (2015). Caractérisation hydro-chimique , toxicologique et évaluation des risques sanitaires des eaux souterraines de la région de Sidi-Kacem (Maroc), Thèse. Université Mohamed V, Faculté des sciences Rabat.

Ben Abbou Mohamed. (2014). Impact des déchets sur la qualité des ressources hydriques du bassin versant de l'oued Inaouen et leur valorisation par compostage. Thèse. Université sidi Mohamed Ben Abdelah, Faculté des sciences et techniques de Fès.

Ben Ali Rim, M. (2015). Evaluation de la pollution des eaux issue de la zone industrielle de Skikda, thèse, Université de Constantine.

Benmalek, S., & Lahrache, A. (2017). Problématique de l'eau au Maroc "L'heure est à l'action" : Des réserves à la limite du seuil critique, rapport.

Berenbaum SA, B. A. (2011). Sexual differentiation of human behavior: effects of prenatal and pubertal organizational hormones, Front Neuroendocrinol, (32), 183–200.

Beril Gönder, Z., Arayici, S., & Barlas, H. (2011). Advanced treatment of pulp and paper mill wastewater by nanofiltration process: Effects of operating conditions on membrane fouling, Separation and Purification Technology, 76(3), 292–302.

Berraho Mohamed. (2012). Epidémiologie du cancer du col au Maroc, thèse. Université Sidin Mohamed Ben Abdellah Fès.

BO. (2016). Bulletin officiel, Cent-cinquième année _IN° 6522, 1er rabii 11438 (1er décembre 2016), ISSN 0851 - 1217, Royaume du Maroc. (Vol. 11438), rapport.

Borges, R. C., dos Santos, F. V., Caldas, V. G., & Lapa, C. M. F. (2014). Use of geographic information system (GIS) in the characterization of the Cunha Canal, Rio de Janeiro, Brazil: effects of the urbanization on water quality. Environmental Earth Sciences, 73(3), 1345–1356.

Bouchouata O, Jaafar B, Bounakhla M, Doukkali A, A. B. (2011). Etude de la consommation par les métaux lourds des eaux d'irrigation et les cultures maraîchères dans la zone M'nasra (Gharb, Maroc). Science Lib Edition Mersenne, 3 N° 11100.

Boudhane Nassim & Ammar Ikram. (2016). Optimisation du traitement biologique dans une station d ' épuration à boues activées : cas de la STEP de Batna, rapport.

Bouftini Siham. (2015). Évaluation de l'imprégnation en éléments traces métalliques : Plomb,

Mercure, Cadmium et Bismuth, chez les enfants de la région de Fès-Boulemane et enquête environnementale des facteurs d'exposition associés, thèse. Université Sidi Mohamed Ben Abdelah, faculté des sciences de Fès.

Bouguerra R, Alberti H, Salem LB, R. C. (2007). The global diabetes pandemic: the Tunisian experience, Eur. Clin.Nutr, 2(61), 160–165.

Boujelben, I., Samet, Y., Messaoud, M., Ben Makhlouf, M., & Maalej, S. (2017). Descriptive and multivariate analyses of four Tunisian wastewater treatment plants: A comparison between different treatment processes and their efficiency improvement. Journal of Environmental Management, 187, 63–70.

Boukhoubza, F., Ait Boughrous, A., Yacoubi-Khebiza, M., Jail, A., Hassani, L., Loukili Idrissi, L., & Nejmeddine, A. (2008). Impact Des Effluents Des Huileries D'Olive Sur La Qualité Physico-Chimique Et Biologique Des Eaux Souterraines Dans La Plaine Du Haouz Au Sud De Marrakech (Maroc). Environmental Technology, 29(9), 959–974.

Bourgois, J., Debray, B., & Laforest, V. (2010). Traitements chimiques et physico-chimiques des déchets. Techniques de l'Ingénieur, Environnement, G2(G2070), G2070.1-G2070.19.

Bulletin officiel. (2016). Cent-cinquième année — IN° 6522, 1er rabii 11438 (1' décembre 2016), ISSN 0851 - 1217, ROYAUME DU MAROC. (Vol. 11438).

Burisch, J., & Munkholm, P. (2015). The epidemiology of inflammatory bowel disease, Scandinavian Journal of Gastroenterology, 8(50), 942-951.

Buscio, V., Crespi, M., & Gutiérrez-Bouzán, C. (2015). Sustainable dyeing of denim using indigo dye recovered with polyvinylidene difluoride ultrafiltration membranes, Journal of Cleaner Production, 91, 201–207.

C

Casals-Casas C, D. B. (2011). Endocrine disruptors: from endocrine to metabolic disruption, article. Annu Rev Physiol, (73), 135–162.

CCIS. (2017). Registre "Données sur les zones industrielles de la Ville de Fès" (types et nombre d'industries), rapport. Fès.

CEP (comité éditorial pédagogique), Rapport" L'épidémiologie", U. M. V. F. (UVMaF). (2012). L' épidémiologie.

Chafik, A. (2014). Littoral , Activités humaines et stratégie de développement durable : Cas du Maroc, rapport.

Chen, R., Chen, X., Salomon, R. G., and McIntyre, T. M. (2009). Platelet activation by low concentrations of intact oxidized LDL particles involves the PAF receptor, Arterioscler Thromb Vasc Biol, (29), 363-371.

Cherai, B., El, B., Idrissi, F., Charroud, M., & Hnot, E. (2017). Les mouvements de terrains dans le secteur urbain de la ville de Fès (Maroc): Facteurs de Génèse et cartographie des zones à risques, article. Journal of Applied Security Research, 5(6), 405–414.

Cohen, J. (1988). Set Correlation and Contingency Tables, Applied Psychological Measurement, 12(4), 425–434.

Condom, A. N., Ecofilae, R. D., Pierre, C., Mayaux, L., Roux, P., Michel, J., … Coulon, C. (2016). Réutilisation des eaux usées pour l ' irrigation agricole en zone péri-urbaine de pays en développement : pratiques , défis et solutions opérationnelles, rapport.

D

Dahane. S. (2015). la préconcentration de micr polluants organiques dans l'eau et de leur extraction par des nanomatériaux. Université d'Oran Es -senia, Algérie.

Dali-Sahi. M, D. Benmansour, A. A. et N. K. (2012). Étude de l'épidémiologie du Diabète de Type 2 dans des populations Endogames de l'ouest Algérien, Lebanese Science Journal, Vol. 13, No. 2., 13(2).

Danaei G, Finucane MM, Lu Y, Singh GM, Cowan MJ, Paciorek CJ, Lin JK, Farzadfar F, Khang YH, Stevens GA, Rao M, Ali MK, Riley LM, Robinson CA, E. M. (2011). Risk Factors of Chronic Diseases Collaborating Group (Blood Glucose). National, regional, and global trends in fasting plasma glucose and diabetes prevalence since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 37. Global Burden of Metabolic, (378), 31–40.

Daverey, A., & Pakshirajan, K. (2015). Treatment of dairy wastewater containing high amount of fats and oils using a yeast-bioreactor system under batch, fed-batch and continuous operation, Desalination and Water Treatment, 1–7.

De Moura, K. S., da Silva, H. R. C., Dornelles, L. P., Coelho, L. C. B. B., Napoleão, T. H., de Oliveira, M. D. L., & Paiva, P. M. G. (2016). Coagulant Activity of Water-Soluble Moringa oleifera Lectin Is Linked to Lowering of Electrical Resistance and Inhibited by Monosaccharides and Magnesium Ions, Applied Biochemistry and Biotechnology, 180(7), 1361–1371.

Dennis, b., & Oullet, M. (2013). Guide pour l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau, rapport.

Derwich, E., Beziane, Z., Benaabidate, L., & Belghyti, D. (2008). Evaluation de la qualite des eaux de surface des oueds fes et sebou utilisees en agriculture maraichere au Maroc, Larhyss Journal, 7, 59–77.

Dhorabe, P. T., Lataye, D. H., & Ingole, R. S. (2016). Removal of 4-nitrophenol from aqueous solution by adsorption onto activated carbon prepared from Acacia glauca sawdust. Water Science and Technology, 73(4), 955–966.

Diamanti-Kandarakis E, Bourguignon JP, Giudice LC, Hauser R, Prins GS, Soto AM, Zoeller RT, G. A. (2009). Endocrine disrupting chemicals: an Endocrine Society scientific statement, Endocr Rev, (30), 293-342.

Doukkali A. (2018, May). Les chiffres clès de l'enquete nationale sur la santé familiale,. 15 Mai 2018. Retrieved from https://www.medias24.com/MAROC/SOCIETE/182988-Les-chiffres-cles-de-l-enquete-nationale-sur-la-sante-familiale.html

DREVS. (2017). Registre des données épidémiologiques de diabète, Direction régionale d'épidémiologie et de veille sanitaire de la ville de Fès, ministère de santé.

DRHCPF. (2017). Annuaires des statistiques de la région Fès-Meknès, "Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH)." Fès.

Durot, M., & Molle, P. (2015). Amélioration du rejet des lagunes d ' épuration, rapport.

E

Egilman, D., & Howe, S. (2007). Against Anti-health Epidemiology: Corporate Obstruction of Public Health via Manipulation of Epidemiology, International Journal of Occupational and Environmental Health, 13(1), 118–124.

El Allaoui, N., Rais, Z., El Haji, M., Omor, A., Nawdali, M., Bouka, H., & Taleb, M. (2017). Analytical and statistical study of the impact of artisan activities in the period of Eid all Adha on Fez city effluents, Journal of Materials and Environmental Sciences, (Vol. 8).

El Allaoui, N. (2018). Evaluation de la charge polluante et traitement des éffluents de la STEP par des procédés intégrès : optimisation et modélisation des résultats, thèse. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des Sciences Dhar El Mahraz Fès.

EL Morhit, M., Fekhaoui, M., Serghini, A., Blidi, S. E. L., Abidi, A. E. L., Yahyaoui, A., … Agdal, B. P. (2012). Étude de l'évolution spatio-temporelle des paramètres hydrologiques caractérisant la qualité des eaux de l ' estuaire du Loukkos (Maroc), Bulletin de l'Institut Scientifique, 34(2), 151–162.

El Shamy, A., El Boraey, H. A., & El Awdan, H. (2017). Chemical Treatment of Petroleum Wastewater and its Effect on the Corrosion Behavior of Steel Pipelines in Sewage

Networks, Journal of Chemical Engineering & Process Technology, 08(01).

Errochdi, S., El Alami, M., Bennas, N., Belqat, B., Ater, M., & F. (2012). Study of physicochemical and microbiological quality of two north Moroccan hydrographic networks: Laou and Tahaddart. Dynamique et gestion des cours d'eau méditerranéens et de leurs marges., (118), 41–51.

Errochdi, S., El Alami, M., Bennas, N., Belqat, B., Ater, M., & Fdil. (2012). Study of physicochemical and microbiological quality of two north Moroccan hydrographic networks: Laou and Tahaddart, Journal of Mediteraanean Geography, 41-51.

Ettinger AS, Zota AR, A. C. et al. (2009). Maternal arsenic exposure and impaired glucose tolerance during pregnancy, Environ. Health Perspect, 117(7), 1059-64.

Ewaid, S. H. (2016). Water Quality Assessment of Al – Gharraf River, South of Iraq by the Canadian Water Quality Index (CCME WQI), Iraqi J. Sci, 2A, ((57)), 878-885.

Ezzidi I, Mtiraoui N, Gauchi S, V. E. (2009). Contribution of type 2 diabétes associated loci in the Arabic population from Tunisia. A case-control-study, BMC. Medical.Genetics, (10), 33.

F

Fagrouch, A., Amyay, S., Berrahou, A., & El Halouani , Hassan, A. H. (2010). Performances d'abattement des germes pathogènes en lagunage naturel sous climat aride : cas de la filière de traitement des eaux usées de la ville de Taourirt, Afrique Science, 06(3), 87–102.

Fahd. FZ, & El Rhaffouli. O (2016). Etude climatologique de la région de Fés, mémoire, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques de Fès. Fès.

Fang, B., Guo, J., Li, F., Giesy, J. P., Wang, L., & Shi, W. (2017). Bioassay directed identification of toxicants in sludge and related reused materials from industrial wastewater treatment plants in the Yangtze River Delta. Chemosphere, 168, 191–198.

Ferlay J, Shin H, Bray F, Forman D, Mathers C, P. D. (2010). Estimates of worldwide burden of cancer in 2008: GLOBOCAN 2008, Int J Cancer., 12(127), 2893–917.

FID. (2009). Atlas du diabète, 4ème édition, rapport de la fédération internationale du diabète à Bruxelles.

FID. (2011). Feuille de route du diabète pour le Sommet des Nations unies sur les Maladies Non Transmissibles (MNT), Plan mondial contre le diabète 2011-2021, rapport de la fédération internationale du diabète.

FID. (2013). Atlas du Diabète, rapport de la fédération international du diabète, 6ème édition.

Fotidis, I. A., Laranjeiro, T. F. V. C., & Angelidaki, I. (2015). Alternative co-digestion scenarios for efficient fixed-dome reactor biomethanation processes, Journal of Cleaner Production.

Frederiksen H, Jensen TK, Jørgensen N, Kyhl HB, Husby S, Skakkebæk NE, Main KM, Juul A, A. A. (2014). Human urinary excretion of non-persistent environmental chemicals: an overview of Danish data collected between 2006 and 2012, Reproduction, (147), 555-565.

G

Gao, D. W., Hu, Q., Yao, C., & Ren, N. Q. (2014). Treatment of domestic wastewater by an integrated anaerobic fluidized-bed membrane bioreactor under moderate to low temperature conditions, Bioresource Technology, 159, 193–198.

Gay, E. (2006). Le prélèvement d'échantillons en rivière, livre.

Ghadbane. O , Elghachi. M, A. A. (2016). l'apport des systèmes d'information géographiques dans l'évaluation et la représentation de la qualité des eaux de surface dans le haut bassin de l'Oum Rabie (2000-2013) moyen atlas central (Maroc), conférence. 3ème Edition du Colloque International des utilisateurs du SIG. The 3rd International conference of GIS User. Oujda 22-23 Novembre 2016 (pp. 19–25).

Goher, M. E., Hassan, A. M., Abdel-Moniem, I. A., Fahmy, A. H., & El-sayed, S. M. (2014). Evaluation of surface water quality and heavy metal indices of Ismailia Canal, Nile River, Egypt. The Egyptian Journal of Aquatic Research, 3(40), 225–233.

Gomes, H. I., Jones, A., Rogerson, M., Greenway, G. M., Lisbona, D. F., Burke, I. T., & Mayes, W. M. (2017). Removal and recovery of vanadium from alkaline steel slag leachates with anion exchange resins, Journal of Environmental Management, 187, 384–392.

Gouitaa, H. (2016). Les implications toxicologiques du plomb, cadmium et zinc dans l'environnement : cas du ″ khol ″ et des tajines, thèse. Faculté des Sciences, Université Mohammed V, Rabat.

Grandjean. (2015). estimating Burden and Disease Cost of Exposure to endocrine disrupting of chemical in the Europe union, Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism.

Grant, W. B. (2016). The role of geographical ecological studies in identifying diseases linked

to UVB exposure and/or vitamin D, article. Dermato-Endocrinology, 1(8).

Grimaldi A. (2009). Traité de Diabétologie. 2ème édition. Médecine-Sciences, rapport.

Guo, J., Peng, Y., Ni, B.-J., Han, X., Fan, L., & Yuan, Z. (2015). Dissecting microbial community structure and methane-producing pathways of a full-scale anaerobic reactor digesting activated sludge from wastewater, treatment by metagenomic sequencing, Microbial Cell Factories, 14(1), 1–11.

H

Belhaj. H, K. K. (2013). Evaluation of the physico-chemical quality of oued Martil (Western Rif, Morocco), conférence. In Gestion et Protection de l'Environnement Proceedings G-ENVIRON-5 (Vol. 3, pp. 31–38).

Hachimi, O. EL. (2012). traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique (oasis Figuig): Performances épuratoires et aspect phytoplanctonique, thèse,. Université Mohammed Premier Faculté des Sciences Oujda.

Hallab L, Nsame D, Chadli A, El Aziz S, El Ghoumari H, F. A. (2012). Analyse rétrospective du coût de la prise en charge hospitalière du Diabète au Maroc à propos de 103 cas. CHU Ibn Rochd (Casablanca-Maroc), rapport.

Hassard, F., Biddle, J., Cartmell, E., Jefferson, B., Tyrrel, S., & Stephenson, T. (2015). Rotating biological contactors for wastewater treatment, review. Process Safety and Environmental Protection (Vol. 94). Institution of Chemical Engineers.

Haute Autorité de Santé. (2013). Stratégie médicamenteuse du contrôle glycémique du diabète de type 2, rapport.

Hayzoun Hanan. (2014). Evaluation de la qualité bactériologique et chimique du Sebou , Maroc (Assessment of the bacteriological and chemical quality of the Sebou River , Morocco). J. Mater. Environ. Sci, 5(2), 2438–2443.

He, C., Wang, X., Liu, W., Barbot, E., & Vidic, R. D. (2014). Microfiltration in recycling of Marcellus Shale flowback water: Solids removal and potential fouling of polymeric microfiltration membranes, Journal of Membrane Science, 462, 88–95.

Heinonen, P., & Pisto-Lopez, S. (2007). Optimization of chemical water treatment process for Kämmenniemi, Polso and Kauppi water treatment plants,

Hesse, C., Krysanova, V., Stefanova, A., Bielecka, M., & Domnin, D. A. (2015). Assessment of climate change impacts on water quantity and quality of the multi-river Vistula Lagoon catchment, Hydrological Sciences Journal, 60(5), 890–911.

Hirwa, R. T. (2015). Déterminants du déclin cognitif au cours du vieillissement : rôle du diabète de type 2 et des médicaments antidiabétiques, thèse. Université Paris-Saclay.

Hruba F, Stromberg U, Cerna M, Chen C, Harari F, H. R. et al. (2012). Blood cadmium, mercury, and lead in children: an international comparison of cities in six European countries, and China, Ecuador, and Morocco, Environ Int, (41), 29–34.

HUSS, M. J. (2011). Les risques sanitaires des métaux lourds et d'autres métaux, rapport. Luxembourg.

I

Ibanez, G., & Martinez, L. (2009). Échantillon représentatif, rapport. revue française de médecine générale (Vol. 20).

Idrissi. M. (2017). Fès : Une nouvelle vision pour le secteur de la santé, conférence. 27 Septembre 2017: 1867. Retrieved from http://www.leseco.ma/maroc/60226-fes-une-nouvelle-vision-pour-le-secteur-de-la-sante.html

Idrissi. N. (2018). Évaluation de la qualité des eaux de surface et leurs relations avec certaines maladies hydriques (cas de la ville de Fès) : approche SIG-SEQ. USMBA-Fsdm.

INSERM. (2008). Expertise collective, Cancer et environnement, rapport.

INSERM. (2011a). Méthodes d'étude épidémiologique, rapport.

INSERM. (2011b). Reproduction et environnement, Expertise collective, rapport.

J

Jacquet A, Ounnas F., Lenon M., A., & J., Demeilliers C., M. J.-M. (2015). Chronic exposure to low-level cadmium in diabetes: role of oxidative stress and comparison with polychlorinated biphenyls, Current Drug Targets.

Jalouni A., L. A. & C. A. (2017). Importance of geotechnical map in sustainable planning, Application to the Fez area (Morocco), Ecology, Planning and Design.

Jalouni. A. (2015). Contribution à la mise à jour du zoning géotechnique de la ville de Fès,rapport.

Janesick A, B. B. (2011). Endocrine disrupting chemicals and the developmental programming of adipogenesis and obesity, article. Birth Defects Res C Embryo Today, (93), 34-50.

Jarup L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin, rapport.

Jha, K. C., Bekele, S., Dhinojwala, A., & Tsige, M. (2017). Hydrogen bond directed surface

dynamics at tactic poly(methyl methacrylate)/water interface, Soft Matter, 13(45), 8556-8564.

K

Kamal, N., Galvez, R., Buelna, G., & Dubé, R. (2017). Phenolic Compounds Removal in Woodwaste Leachate by a Trickling Biofilter. In Phenolic Compounds, Natural Sources, Importance and Applications. InTech.

Kayalto Barnabas. (2013). contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds de trois éspèces de poissons, des sédiments et des eaux de lac de Tchad, rapport.

Khatri kawtar. (2014). Evaluation du Système de Surveillance du Diabète au niveau de la Région de Rabat Salé Zemmour Zaer, rapport.

Kippler M, Wagatsuma Y, Rahman A, Nermell B, Persson LA, Raqib R, V. M. ; (2012). Environmental exposure to arsenic and cadmium during pregnancy and fetal size : A longitudinal study in rural Bangladesh, Reproductive Toxicology., 34(4), 504–511.

Klaassen. (2013). Agence Américaine de protection de l'environnement ., Organisation mondiale de la Santé (OMS), rapport. Canada.

Koçer, O., & Acemioğlu, B. (2016). Adsorption of Basic green 4 from aqueous solution by olive pomace and commercial activated carbon: process design, isotherm, kinetic and thermodynamic studies. Desalination and Water Treatment, 57(35), 16653–16669.

Kohler. F N'Djamena. (2010). Enquetes épidémiologiques, conférence. In Enquetes épidémiologiques. tchad.

Koukal, B., Dominik, J., Vignati, D., Arpagaus, P., Santiago, S., Ouddane, B., & Benaabidate, L. (2004). Assessment of water quality and toxicity of polluted Rivers Fez and Sebou in the region of Fez (Morocco). Environmental Pollution, 131(1), 163–172.

Kulkarni, S. J. (2017). Coagulation for Wastewater Treatment : A Review on Investigations and Studies, International Journal of Scientific Research in Science and Technology, 3(3), 501–505.

Kumara Robby, A. (2011). Antioxidant and lipid peroxidation level in type2 diabetes mellitus, Int J Cur Bio Med Sci, 1(4), 147–8.

Kyung-Min Lim et al. (2010). Low-Level Mercury Can Enhance Procoagulant Activity of Erythrocytes: A New Contributing Factor for Mercury-Related Thrombotic Disease, Environmental Health Perspectives, rapport. Retrieved from http://ehp03.niehs.nih.gov.

L

Laamech J, Bernard A, Dumont X, Benazzouz B, L. B. (2014). Blood lead, cadmium and mercury among children from urban, industrial and rural areas of Fez Boulemane Region (Morocco) : relevant factors and early renal effects, Int J Occup Med Environ Health, 27(4), 641-59.

Labelle, M. (2013). Réduction de la production de boues activées, thèse.

Lahlou. K, M. Ben Abbou, E. Majbar , Y. Zaytouni, O. Karzazi, M. Taleb, M. El Haji, Z. R. (2017). Recovery of sludge from the sewage treatment plant in the city of Fez (STEP) through the composting process, Journal of Materials and Environmental Sciences.

Lahlou, K., Abbou, M. Ben, El Madani, F., Majbar, Z., Karzazi, O., Taleb, M., … Rais, Z. (2018). Agricultural valorization of sludge compost: the case of the potato. International Journal of Scientific & Engineering Research, 9(7), 316–323.

Lakhdari bouazza. (2011). Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz , magister. Université Abou Bekr Belkaid Tlemçan (Algérie).

Lalami, A., EL-Akhal, F., Berrada, S., Bennani, L., Raiss, N., & Maniar, S. (2014). Evaluation of hygiènique quality of waters in wells and springs by using a Principal Component Analysis (PCA): A case study of the region of Fez (MOROCCO), J. Mater. Environ. Sci, 5(2028-25, 2333–2344.

Li, X., Zheng, W., & Kelly, W. R. (2013). Occurrence and removal of pharmaceutical and hormone contaminants in rural wastewater treatment lagoons. Science of the Total Environment, 445–446, 22–28.

Lorenzo-Toja, Y., V??zquez-Rowe, I., Chenel, S., Mar??n-Navarro, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2015). Eco-efficiency analysis of Spanish WWTPs using the LCA+DEA method. Water Research, 68, 637–650.

Löwenberg, J., Baum, J. A., Zimmermann, Y. S., Groot, C., van den Broek, W., & Wintgens, T. (2015). Comparison of pre-treatment technologies towards improving reverse osmosis desalination of cooling tower blow down, Desalination, 357, 140–149.

Lucas Dewalque. (2016). Évaluation de l'exposition de l'homme à différents perturbateurs endocriniens non persistants, thèse. Faculté de médecine, Université de Liège.

M

M.E.M.E.E. (2014). Ministère délèguè auprès du ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement. (2014). Etat de la qualité des Ressources en Eau au Maroc, rapport.

M.E.M.E.E. (2015). Ministère délégué auprès deu ministère de l'énergie, des mines de l'eau et de l'environnement "La Région de Fès-Meknès", rapport.

Majbar, Z., Lahlou, K., Abbou, M. Ben, Ammar, E., Triki, A., Abid, W., … Rais, Z. (2018). Co-composting of Olive Mill Waste and Wine-Processing Waste : An Application of Compost as Soil Amendment, Journal of Chemistry, 1–9.

Majbar Zineb. (2019). Traitement des margines par un procédé couplant l'éléctrocoagulation et l'adsorption sur des charbons actifs de la sciure de bois d'Eucalyptus et leur valorisation par fiflière de compostage des déchets vinicoles, thèse.

Majdy, I., Cherkaoui, E., Nounah, A., & Khamar, M. (2015). The physico-chemical treatment by coagulation flocculation of wastewater discharges from the city of Salé (Morocco), J. Mater. Environ. Sci, 6(3), 834–839.

Makhoukh M., SBAA M., BERRAHOU A., V. C. M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimiques des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc), Larhyss Journal, 9(2), 149–164.

Malwade, K., Lataye, D., Mhaisalkar, V., Kurwadkar, S., & Ramirez, D. (2016). Adsorption of hexavalent chromium onto activated carbon derived from Leucaena leucocephala waste sawdust: kinetics, equilibrium and thermodynamics, International Journal of Environmental Science and Technology, 13(9), 2107–2116.

Mansour Khadija. (2013). Etude des facteurs associés aux complications Chez les diabétiques du RSSB aux arrondissements de Ben Msik, rapport.

Manlius.N, Btattaglia-Bruner F., M. C. (2009). pollution des eaux par l'arsenic et acceptabilité des procédés de biotraitement, rapport.

Marijić, V. F., Perić, M. S., Kepčija, R. M., Dragun, Z., Kovarik, I., Gulin, V., & Erk, M. (2016). Assessment of metal exposure, ecological status and required water quality monitoring strategies in small- to medium-size temperate rivers, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 51(4), 309–317.

Maychou Safae. (2009). Étude morphostructurale et cartographie SIG du Rharb Septentrional et du Prérif (Maroc). Analyse sismotectonique et modélisation de la déformation de la région de Moulay Bousselham. Université Chouaib Doukkali.

Mazioti, A. A., Stasinakis, A. S., Gatidou, G., Thomaidis, N. S., & Andersen, H. R. (2015). Sorption and biodegradation of selected benzotriazoles and hydroxybenzothiazole in activated sludge and estimation of their fate during wastewater treatment, Chemosphere, 131, 117–123.

MDCE, D. (2015). Cadre légal définissant la grille de qualité des eaux de surface N° 1275-01 du 10 Chaabane 1423, Loi 10-95 Dahir(2002), rapport.

MDCEau, DRPE, & A. (2015). Loi 10-95 Dahir(2002) définissant la grille de qualité des eaux de surface n ° 1275-01 du 10 Chaabane 1423.

MDCEau. (2017). Rapport genre accompagnant la loi de finances du ministère délégué chargé de l'eau, rapport.

Médecine Clinique Endocrinologie & Diabète (MCED). (2018). Journées Nationales du DES d'Endocrinologie-Diabète et Maladies Métaboliques.

Melghit Meriem. (2012). Qualité physico-chimique , pollution organique et métalliquedes compartiments Eau/Sédiments de l ' Oued Rhumel , et des barrages Hammam Grouz et Beni Haroun, rapport.

Ministère de santé. (2011). rapport préliminaire "enquête nationale sur la population et santé familiale ENSPF.

Ministère de santé. (2012). Rapport "Stratégies sectorielles de santé 2012-2016."

Miodovnick A, Engel SM, Z. C. et al. (2011). Endocrine disruptors and childhood social impairment, Neurotoxicology, 2(32), 261-267.

Mounaam, A. (2011). Problématique des rejets liquides au niveau de la région de Tensift : diagnostic , impact sur les ressources en eau et proposition de plans d'action, rapport. Marrakech.

Mourhir, A., Rachidi, T., & Karim, M. (2014). River water quality index for Morocco using a fuzzy inference system, Environmental Systems Research, 3-21.

Mouzouni FZ. (2015). Lutte contre le diabète et coopération avec les organismes internationaux: bilan et perspectives, conférence. In Colloque international sur le diabète et la nutrition (pp. 73–74). Marrakech.

Mrabet, M. (2017). Les différentes Etudes en épidémiologie, rapport, Univeristé Mohamed V, Rabat.

Muchuweti M, Birkett JW, Chinyanga E, Zvauya R, Scrimshaw MD, L. J. (2006). Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health, Agriculture, Ecosystems & Environment, 112(1), 41-48.

Multigner L, K. P. (2008). Perturbateurs endocriniens, concepts et réalité, Archives Des Maladies Professionnelles et de l'Environnement., (5-6)(69), 710–717.

N

Nakib. (2010). mise au point d'une technique d'extraction des elements traces metalliques dans les produits de la mer et leurs dosages par spectrophotometerie d'absorption atomique, Magister en médecine vétérinaire, Université mentouri de constantine.

Nalbone, G., Cicolella, A., and Laot-Cabon, S. (2011). L'exposition humaine au bisphénolA: un facteur de risque environnemental des maladies métaboliques et cardiovasculaires, Médecine & Longévité, (3), 42–51.

Nannou, C. I., Kosma, C. I., & Albanis, T. A. (2015). Occurrence of pharmaceuticals in surface waters: analytical method development and environmental risk assessment,. International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 1242-1262.

NHANES. (2015). National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals (NHANES Survey), rapport.

N.U. (2015). Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030 Retrieved from, [Repport].

O

OBVNEBSL. (2012). Analyse de qualité de l'eau Calcul de l'Indice de qualité bactériologique et physico-chimique 5 stations dans les MRC de Rimouski-Neigette-Canada, rapport.

Ohta, A., & Nagai, M. (2014). Prevalence and incidence of polymyositis and dermatomyositis in Japan, Modern Rheumatology, 3(24), 477-480.

Omor, A., Rais, Z., El Rhazi, K., Merzouki, M., El Karrach, K., Elallaoui, N., & Taleb, M. (2017). Optimization of the method wastewater treatment of unit bovine hides's unhairing liming, article. Journal of Materials and Environmental Sciences, 8(4), 1235-1246.

OMS. (2010). Prévenir la maladie grâce à un environnement sain, World Health Organization. Retrieved from www.who.int/publications/list/9241594209/fr/

OMS. (2012). rapport sur les perturbateurs endocriniens de l'Organisation mondiale de la santé.

OMS. (2013a). Centre des medias. Maladies non transmissibles. Aide-mémoire N°355.

OMS. (2013b). Diagnostic criteria and classification of hyperglycaemia first detected in

pregnancy (WHO) Genève.

OMS. (2013c). OMS/ Obésité Aide-mémoire N°312 d'octobre 2013(en ligne)/ http://.

OMS. (2016a). Profils des pays pour le diabète, 2016, rapport.

OMS. (2016b). Rapport mondial sur le diabète, Organisation mondiale de la Santé. Genève.

OMS. (2018). programmes de l'OMS sur l'Arsenic, rapport.

OREDD. (2014). Evaluation Intégrée de l'Environnement de la Région de Fès - Boulemane, rapport.

Ouedghiri, K. El, Oualti, A. El, Ouchy, M. El, Zerrouq, F., Chahdi, F. O., & Lalami, A. E. O. (2014). Health risks of the chemicals in drinking water in the city of Fez : nitrate and nitrite ions. J. Mater. Environ. Sci, 5, 2284–2292.

Oufline, R., Hakkou, R., Hanich, L., & Boularbah, A. (2012). Impact of human activities on the physico-chemical quality of surface water and groundwater in the north of Marrakech (Morocco). Environment Technology, 33(18), 2077–2088.

P

Perrin, J. L., Raïs, N., Chahinian, N., Moulin, P., & Ijjaali, M. (2014). Water quality assessment of highly polluted rivers in a semi-arid Mediterranean zone Oued Fez and Sebou River (Morocco). Journal of Hydrology, 26–34.

Petrinic, I., Korenak, J., Povodnik, D., & Hélix-Nielsen, C. (2015). A feasibility study of ultrafiltration/reverse osmosis (UF/RO)-based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry, Journal of Cleaner Production, 101, 1–9.

Pierre Saliou, C. D. (2018). Épidémiologie, article. In Encyclopædia Universalis.

Planchon, P. (2014). Les perturbateurs endocriniens dans les produits de santé, thèse. UNIVERSITE DE ROUEN.

Prescrire Rédaction. (2011). Les perturbateurs endocriniens.Deuxième partie: Une hypothèse plausible pas encore verifée, rapport (Vol. 31).

Priac, A., Badot, P.-M., & Crini, G. (2017). Treated wastewater phytotoxicity assessment using Lactuca sativa: Focus on germination and root elongation test parameters.Comptes Rendus Biologies.

Q

Qu, X., Alvarez, P. J. J., & Li, Q. (2013). Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment, Water Research, 47(12), 3931–3946.

R

R Garnier, J Langrand, N. C. (2013). Effets du plomb sur la santé , lorsque la plombémie est inférieure à 100 µg / L, rapport.

RADEEF. (2014). Assistance à la RADEEF pour l'exploitation de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Fès, rapport. Fès.

RADEEF. (2015). sources de dépollutions de la ville de Fès, document interne de la RADEEF-division de dépollution industrielle.

RADEEF. (2017). Réseau d'assainissement de la ville de Fès et les bassins versants, document interne de la RADEEF.

Rais, Z., Haji, M. El, Benabbou, M., Majbar, Z., Lahlou, K., Taleb, M., … Bouka, H. (2017). Margines : traitement , valorisation dans la germination des graines de tomate et dans la filière de compostage Olive mill wastewater : Treatment , valorization in the germination of tomato seeds and in the composting, Journal of Water Science, 30(1).

Ravikumar, Y. V. L., Kalyani, S., Satyanarayana, S. V., & Sridhar, S. (2014). Processing of pharmaceutical effluent condensate by nanofiltration and reverse osmosis membrane techniques, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 45(1), 50–56.

RES. (2012). Protéger notre environnement et notre santé des perturbateur endocriniens, rapport. Paris.

Reynard, E., Lasri, M., Obda, K., Amyay, M., & Taous, A. (2011). Carte des phénomènes d'inondation des bassins de Fès et Beni Mellal Carte des phénomènes des bassins de Fès, rapport.

RHDCC. (2012). Ressources humaines et Développement des compétences Canada. Canadiens en contexte - Vieillissement de la population, rapport.

Rodier, J., Legube, B., & and Merlet, N. (2009). L'Analyse d'eau,DUNOD, 9ème édition, rapport.

Romain C. (2010). Syndrome métabolique et diabète chez l'Homme.Composition lipidique et oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL) plasmatiques en relation avec l'activation des plaquettes sanguines, thèse. Université de Lyon.

S

Sakarinen, E. (2016). Humic acid removal by chemical coagulation , electrocoagulation and ultrafiltration, Plastics Technology.

Salehi, F. (2014). Current and future applications for nanofiltration technology in the food processing,. Food and Bioproducts Processing, 92(2), 161–177.

Salvarredy Aranguren. (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimique, thèse. Université de Toulouse III-Paul Sabatier.

Sancey, B. (2014). Développement de la bio-adsorption pour décontaminer des effluents de rejets industriels : Abattement chimique et gain environnemental, thèse. Université de Franche-Comté.

Santé-environnement. (2015). 3ème plan national PNSE 2015-2019, rapport.

Santé en chiffre. (2014). Les Principales causes de mortalité Maladies endocriniennes, nutritionnelles et métaboliques, rapport. MAROC.

Santé en chiffre. (2016). Royaume du maroc.

Santé en Chiffre. (2009). les maladies non transmissibles, Ministère de la santé, direction de la planification et des ressources financières, rapport.

Santé en Chiffre. (2015). rapport sur les principales causes de décès, année 2013, Service des Etudes et de l'Information Sanitaire, Ministère de la Santé Maroc.

Santra, S., Wright, J., Santra, A., & Ghosh, A. (2015). An integrated water balance model for assessing water scarcity in a data-sparse interfluve in eastern India, Hydrological Sciences Journal, 10(60), 1813-1827.

Saritha, V., Srinivas, N., & Srikanth Vuppala, N. V. (2015). Analysis and optimization of coagulation and flocculation process, Applied Water Science, 1–10.

Savouret JF, Bard D, P. A. (2008). Perturbateurs hormonaux. Hormones, santé publique et environnement, Académie Des Sciences, 193–211.

Schoeters G, Den Hond E, Zuurbier M, Naginiene R, van den Hazel P, Stilianakis N, Ronchetti R, K. J. (2006). Cadmium and children: exposure and health effects, Acta Paediatr Suppl, PubMed, (95(453):50-4).

Schug TT, Janesick A, Blumberg B, H. J. (2011). Endocrine disrupting chemicals and disease susceptibility, The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology., (127), 204–215.

Sebgui, M. (2015). Alternatives Rurales “Revue de communication et débat sur les alternatives agricoles et rurales.”

SEEE. (2008). Fiche sur le nouveau système d’évaluation de la qualité des eau, Secrétariat d’Etat auprès du Ministère de l’Energie, des Mines, de l’Eau et de l’Environnement, chargé de l’Eau et de l’Environnement, Maroc.

SEEE. (2015). Etude de la stratégie nationale de l’eau", Secrétariat d’Etat chargé de l’Eau et de l’Environnement (SEEE)" Rabat.

Seghairi, N. (2014). Elimination des polluants organiques présents dans les eaux usées domestiques de la commune de Sidi Okba , par un filtre planté de macrophytes, thèse.

Servat, E. (2012). Ressources en eau : Préservation et gestion, rapport.

Sheldon, M. S., & Erdogan, I. G. (2016). Multi-stage EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater, Chemical Engineering Journal, 285, 368–377.

Shin, C., McCarty, P. L., Kim, J., & Bae, J. (2014). Pilot-scale temperate-climate treatment of domestic wastewater with a staged anaerobic fluidized membrane bioreactor (SAF-MBR), Bioresource Technology, 159, 95–103.

Smida, Zairi, Trabelsi, B. D. (2006). Étude et gestion des Ressources en eau dans une région aride par le SIG : Cas de la région de Regueb - Sidi Bouzid, Tunisie. Conférence francophone ESRI, (pp. 3–6).

Smith, A. L., Skerlos, S. J., & Raskin, L. (2013). Psychrophilic anaerobic membrane bioreactor treatment of domestic wastewater, article. Water Research, 47(4), 1655–1665.

SNDD. (2017). Rapport Final du Projet de Stratégie Nationale de Développement Durable 2030.

Soudani. (2007). Initiation aux Systèmes d’information géographique sous ARCGIS 9 ESRI, Environnemental Systems Research Institute, Faculté des Sciences d’Orsay, Université Paris Sud X.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, Science, 347(6223).

T

Taffouo, V. D., Saya, I., Oben, L., & Eyango, M. T. (2017). Impacts des caractéristiques physico-chimiques des eaux sur la distribution du phytoplancton et des macrophytes de la rivière Nkam (Cameroun), thèse.

Tanouayi, G., Gnandi, K., & Ahoudi, H. (2015). La contamination métallique des eaux de

surface et des eaux souterraines de la zone minière d'exploitation des phosphates de Hahotoe-Kpogame (SUD-TOGO) : Cas du Cadmium , Plomb , Cuivre et Nickel, Larhyss Journal, (March), 25–40.

Tekken, V., & Kropp, J. P. (2015). Sustainable water management - perspectives for tourism development in north-eastern Morocco, rapport.

Thi My Dung Huynh. (2009). Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat, Université Paris EST. Université de Paris Est.

Thue, P. S., dos Reis, G. S., Lima, E. C., Sieliechi, J. M., Dotto, G. L., Wamba, A. G. N., … Pavan, F. A. (2017). Activated carbon obtained from sapelli wood sawdust by microwave heating for o-cresol adsorption, Research on Chemical Intermediates, 43(2), 1063–1087.

Tuligenga Hirwa.M. R. (2015). Déterminants du déclin cognitif au cours du vieillissement : rôle du diabète de type 2 et des médicaments antidiabétiques, thèse. Université Paris Saclay.

U

UNESCO. (2015). L'eau dans un monde durable, Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture.

Usherbrooke. (2017). statistiques officielles de l'Université de Sherbrooke, SPSS-Corrélation, Rapport.

V

Vandenberg LN, Colborn T, Hayes TB, Heindel JJ, Jacobs DR, Lee DH, Shioda T, Soto AM, vom Saal FS, Welshons WV, Zoeller RT, M. J. (2012). Hormones and endocrine-disrupting chemicals: Low dose effects and non monotonic dose responses, Endocrine Revue, (33), 378–455.

Vasiliadou, I. A., Molina, R., Martínez, F., & Melero, J. A. (2014). Experimental and modeling study on removal of pharmaceutically active compounds in rotating biological contactors, Journal of Hazardous Materials, 274, 473–482.

Vergnenegre, A. (2011). Epidémiologie – Essais cliniques évaluation, cours, Faculté de Médecine de Limoges. Retrieved from SIME/AV/Courssp/4èannée/polycop2010-2011/épidémio.doc

Verma, Akshaya K., Bhunia, P., & Dash, R. R. (2014). Chemical coagulation and sonolysis for total aromatic amines removal from anaerobically pre-treated textile wastewater: A comparative study, Advances in Environmental Research, 3(4), 293–306.

Verma, Akshaya Kumar, Dash, R. R., & Bhunia, P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters, Journal of Environmental Management, 93(1), 154–168.

Víctor-Ortega, M. D., Ochando-Pulido, J. M., Airado-Rodríguez, D., & Martínez-Ferez, A. (2016). Comparison between different ion exchange resins combinations for final treatment of olive mill effluent, Separation and Purification Technology, 158, 374–382.

W

Wang, H., Liu, Z., Sun, L., Wang, Y., Luo, Q., Wu, H., & Wang, X. (2016). Characterization and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Water from Liaohe River, Northeast China, Polycyclic Aromatic Compounds, 1-13.

WHO & FID. (2006). Definition and diagnosis of diabetes mellitus and intermediate hyperglycaemia: report of a World Health of Organization-Geneva.

Wolin,M.S.Ahmed,M.Gupte, S. A. (2005). Oxidant and redox signaling in vascular oxygen sensing mechanisms : basic concepts ,current conteroversies ,and potential importance of cytosolic NADPH, Am J Physiol Lung Cell MolPhysiol., 289, 159-173.

Wong, C., Barford, J. P., Chen, G., & McKay, G. (2013). Kinetics and equilibrium studies for the removal of cadmium ions by ion exchange resin, Environmental Engineering and Management Journal, 13(1), 205–214.

WWDR. (2017). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau . Les eaux usées une ressource inexploitée.

X

Xiao, F., Halbach, T. R., Simcik, M. F., & Gulliver, J. S. (2012). Input characterization of perfluoroalkyl substances in wastewater treatment plants: Source discrimination by exploratory data analysis, Water Research, 46(9), 3101–3109.

Y

Ya Wen Chen, Ching Yao Yang, Chun Fa Huang, Dong Zong Hung, Y. M. L. et S. H. L. (2009). Métaux lourds, fonction des ilots et developpement du diabète, Taylor Francis Online, Volume 1, 169_176.

Yang, C., Li, L., Shi, J., Long, C., & Li, A. (2015). Advanced treatment of textile dyeing secondary effluent using magnetic anion exchange resin and its effect on organic fouling in subsequent RO membrane, article. Journal of Hazardous Materials, 284, 50–57.

Yi Li, K. Z. (2017). Pilot scale treatment of polluted surface waters using membrane-aerated biofilm reactor (MABR), Agriculture and Environmental Technilogy, 376–386.

Yoshinaga, M., Ninomiya, H., Al Hossain, M. M. A., Sudo, M., Akhand, A. A., Ahsan, N., . . . Kato, M. (2018). A comprehensive study including monitoring, assessment of health effects and development of a remediation method for chromium pollution, Chemosphere, (201), 667-675.

Z

Zhang, Y., Duan, W., Liu, Z., & Cao, Y. (2014). Effects of modified fly ash on mercury adsorption ability in an entrained-flow reactor, FUEL (Elsevier), 128: 274–280.

Zhao, B., Li, J., Buelna, G., Dube, R., & Bihan, Y. Le. (2016). A combined upflow anaerobic sludge bed and trickling biofilter process for the treatment of swine wastewater, Environmental Technology, 37(10), 1265–1275.

Ziegler AG, Pflueger M, Winkler C, Achenbach P, Akolkar B, Krischer JP, B. E. (2011). Accelerated progression from islet autoimmunity to diabetes is causing the escalating incidence of type 1 diabetes in young children, J Autoimmun, (37), 3-7.

Zodi Salim. (2012). Étude de l'épuration d'effluents de composition complexe par électrocoagulation et des couplages intervenants entre le traitement électrochimique et l'étape de séparation : application à l'industrie textile et papetière, thèse. Université de Lorraine.

Zueva, S., Ostrokon, A., Llyina, N., De Michelis, I., & Veglio, F. (2013). Coagulation Processes for Treatment of Waste Water from Meat Industry, International Journal of Waste Resources, 3(2), 3–6.

Annexes

Annexe 1 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface (SEEE, 2008)

N° Altération	Classes de qualité / Indices	Excellente 100 80	Bonne 80 60	Moyenne 60 40	Mauvaise 40 20	Très mauvaise 20 0
1	**Température**					
	T	<20	20-25	25-30	30-35	>35
2	**Acidification**					
	pH	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	8,5 - 9,2	3-6,5 et 9,2-10	-
3	**Matières organiques et oxydables**					
	O_2 dissous ($mgO_2.L^{-1}$)	7 – 10	5 – 7	5- 3	3 – 1	<1
	DBO_5 ($mgO_2.L^{-1}$)	0,5 – 3	3 – 5	5 – 10	10 – 25	>25
	DCO ($mgO_2.L^{-1}$)	1,5 – 30	30 — 35 0	35 – 40	40 – 80	>80
	NH_4^+ ($mgNH_4.L^{-1}$)	0 — 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 2	2 – 8	>8
4	**Matières azotées**					
	NTK ($mgNTK.L^{-1}$)	< 1	1-2	2-3	< 3	-
5	**Matières phosphorées**					
	P_t ($mg.L^{-1}$)	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
6	**Nitrates**					
	NO_3^- ($mg.L^{-1}$)	< 10	10 – 25	25 – 50	> 50	-
7	**Minéralisation**					
	CE 20 °C (µS/cm)	100 -750	750 -1300	1300 -2700	2700 -3000	3000 -7000
8	**Particules en suspension**					
	TU (NTU)	< 15	15 – 35	35 – 70	70 - 100	> 100
9	**Microorganismes**					
	CF/100mL	≤20	20-2000	2000-20.000	>20.000	-
10	**Éléments trace métalliques ETM (mg/l)**					
	Cd ($mg.L^{-1}$)	≤ 0.003	≤ 0.003	0.003-0.005	>0,005	
	Cr ($mg.L^{-1}$)	≤0.05	≤0.05	≤0.05	>0,05	
	Ni ($mg.L^{-1}$)	≤ 0.02	≤ 0.02	0.02-0,05	>0,05	
	Pb ($mg.L^{-1}$)	≤0.01	≤0.01	0.01-0,05	>0,05	
	Zn ($mg.L^{-1}$)	≤ 0.5	0,5-1	1_5	>5	
	As ($mg.L^{-1}$)	≤0,01	≤0,01	0,01-0,05	>0,05	

Annexe 2 : Fiche de recueil d'informations

Étude épidémiologique transversale des cinq zones d'étude chez la population adjacente aux industries de la ville de Fès sur le diabète

Questionnaire individuel

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences Dhar El Mahraz Fès,
Laboratoire d'Ingénierie d'Electrochimie, de Modélisation et d'Environnement (LIEME)

Numéro dossier (enquête) |__|__|__| **Date d'Enquête** |__|__|/|__|__|/|__|__|__|__|

Identification de l'enquêteur : _____

Nom du quartier enquêté: _____

A-Informations sociodémographiques

A.1. Grade:		**A.2.** Age:				**A.3.** Sexe :	
Cadre supérieur	☐	21-30 ans	☐	+50 ans	☐	F	☐
Fonctionnaire	☐	31-40 ans	☐	41-50 ans	☐	M	☐
Ouvrier	☐						
Sans profession	☐						
Autres	☐						

A.4. Date de naissance :…/…./…… **A.5**.Lieu de naissance :…….

A.6. Statut marital : Célibataire ☐ Marié ☐ Divorcé ☐

A.7.Nombre d'enfants :…….

A.8.Sécurité sociale : Oui (préciser) :…… ☐ Non ☐

A.9. Habitation actuelle :……

A.10. Niveau d'étude : ☐Analphabète ☐Primaire ☐Secondaire

☐Supérieur ☐Education informelle

Précisez le nombre d'années……..

B- Informations concernant le diabète

Souffrez-vous du diabète:

-Un médecin vous a-t-il confirmé votre atteinte par le diabète ?

Oui ☐ Non☐ Ne sais pas ☐

Quel traitement suivez-vous ?

Médicaments ☐ Régime ☐ autre : Insuline

Quel âge aviez-vous lorsque diabète a été diagnostiqué pour la 1ère fois ?.....

-Aviez-vous des personnes de votre famille qui souffrent de cette maladie endocrinienne ?

Oui ☐ Non ☐ Ne sait pas ☐

-Habitez- vous dans un habitat approximatif aux industries ?

☐ Oui ☐ Non

-Exploitez-vous les eaux des oueds avoisinants ?

☐ Oui ☐ Non

-Consommez-vous des cultures maraîchères irriguées par les oueds ?

☐ Oui ☐ Non

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences Dhar El Mahraz Fès,
Laboratoire d'Ingénierie d'Electrochimie, de Modélisation et d'Environnement (LIEME)

Formulaire de consentement

Etude épidémiologique sur le diabète chez la population de la ville de Fès : Cas du diabète

Je soussigné, Nom :……Prénom :…….....……..Né(e) le :……

Après avoir pris connaissance de la note d'information ci-joint et après en avoir discuté et obtenu réponse à toutes mes questions, je consens librement, **gratuitement** et volontairement à participer à cette étude. Je comprends que ma participation est volontaire, **gratuite** et n'est pas obligatoire et que je peux me retirer à tout moment de cette étude sans avoir à me justifier ni encourir aucune responsabilité.

Mon consentement ne décharge pas les organisateurs de cette recherche de leurs responsabilités et je conserve tous mes droits garantis par la loi.

Je comprends que les informations recueillies sont strictement confidentielles et à usage exclusif des investigateurs concernés. J'ai été informé que mon identité n'apparaîtra dans aucun rapport ou publication, que toute information me concernant sera traitée de façon confidentielle et que seules les données anonymisées seront enregistrées et communiquées dans le cadre de l'analyse statistique. J'accepte que ces données puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet d'un traitement informatisé non nominatif par les investigateurs.

Si la personne est inapte à lire et à écrire : le cas échéant,

En l'absence d'autonomie de lecture et d'écriture de Mme, Mr……, la tierce personne ci-dessous identifiée, atteste avoir personnellement et fidèlement lu au participant la notice d'information et le présent formulaire de consentement, et recueilli son accord pour signer ici en son nom.

Tierce personne : Mme, Mlle, M……..... Signature…….....

NB : la tierce personne peut être un proche, un collègue du participant ou une personne alphabète et digne de confiance.

Fait à :..... Le (jj/mm/aaaa) : .....

Nom du participant: ..... Nom de l'investigateur:

Prénom du participant : .....Prénom de l'investigateur :

Signature du participant : Signature de l'investigateur

Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences Dhar El Mahraz Fès,
Laboratoire d'Ingénierie d'Electrochimie, de Modélisation et d'Environnement (LIEME)

موافقة مكتوبة بعد التوضيح

دراسة وبائية عن مرض السكري السائد بين سكان مدينة فاس

الاسم العائلي..... الاسم الشخصي..... المزداد يوم.....

أنا الموقع أسفله

بعد قراءة المذكرة الإعلامية المرفقة وبعد المناقشة والإجابة على جميع أسئلتي، أوافق بكل حرية وطواعية على المشاركة في هذه الدراسة. وأنا أفهم أن مشاركتي طوعية (بدون أجرة أو مقابل) وليست إلزامية، وأنه بإمكاني الانسحاب من هذه الدراسة في أي وقت دون الحاجة إلى تقديم أي تبرير ولا تحمل أية مسؤولية.

موافقتي على المشاركة في هذه الدراسة لا تعفي منظميها من مسؤولياتهم و كما أحتفظ بكل ما عندي من الحقوق التي يكفلها القانون.

كما أفهم جيدا أن المعلومات التي تم جمعها ستكون في سرية تامة وللاستخدام الحصري من المحققين المعنيين. كما أن هويتي لن تظهر في أي تقرير أو مطبوع و أن جميع معلوماتي ستعامل بسرية تامة، وأنه سيتم تسجيل بيانات مجهولة المصدر وتقديمها كجزء من التحليل الإحصائي.

إذا كان الشخص غير قادر على القراءة والكتابة،

في حالة عدم تمكن السيدة، السيد..... من القراءة والكتابة فبإمكان شخص ثالث المحدد أدناه أن يشهد شخصيا وبدقة قراءة نشرة المعلومات ونموذج الموافقة للمشارك ، و التوقيع هنا نيابة عنه.

..... توقيع..... ..... الطرف ثالث :

ملحوظة: يمكن لطرف الثالث أن يكون قريب، زميل المشارك أو قارئ وأهل للثقة

حرر ب _____ بتاريخ _____

..... اسم وتوقيع المشارك اسم وتوقيع الباحث