

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال سبحانه وتعالى:

أَفَبِعَذَابِنَا يَسْتَعْجِلُونَ (68)

أَلَمْ نَجْعَلِ لَهُمُ الْحَدِيثَ

الْمُتَّبِعُونَ (69) لَوْ كُنَّا جَعَلْنَاهُ أَجْحَا

قُلُوبًا يَسْتَعْجِلُونَ (70)

بِسْمِ اللَّهِ
الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْعَظِيمِ

سورة الواقعة

AVANT-PROPOS

J'avoue que cette thèse fut l'une des aventures les plus douloureuses, mais aussi la plus passionnante de ma vie. Elle m'a appris à me connaître, à être précise et tracer mes limites et les devancer. Même en pire circonstance, il faut juste faire le pas.

Pareillement à plusieurs thèses, le début fut vague et désordonné, plein de questions, d'interpellation, mais aussi de découragement et de déception. Le chemin fut plein de machinations et de sacrifices, voire des abondons tant au niveau personnel, professionnel et familial, que sur le plan du travail de recherche en vue d'aboutir à son achèvement.

Le choix sur l'analyse de la relation entre la répartition géographique des maladies liées à l'eau et la pollution des eaux de surface urbaine et périurbaine, tient du fait que ce sont des problèmes cruciformes sur la ville de Fès et même sur le continent.

Le fait que les rejets non réglementés nuisent à l'apparence, l'odorat et la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface des oueds Fès et Sebou et par conséquent touchent la santé des habitants, même avec les énormes efforts étatiques, et les valeurs ajoutées après la plantation de la station d'épuration des eaux usées (STEP), ils restent de colossaux ennuis.

Tout cela et plusieurs d'autres constituaient aussi un engagement que j'ai voulu remonter. Enfin, la disponibilité de ma directrice de Thèse Pr. Rais Zakia qui n'a pas cessé de m'encourager et de prendre ma main lors des grosses dépressions ; ainsi que la présence de mon mari, mes parents et ma famille qui n'ont pas cessé de m'aider furent les moteurs qui m'appuyèrent dans ce travail de recherche.

Identiquement à tout travail de recherche, il n'est pas parfait et à chaque avancement je me sens besoin de plus de temps pour l'accomplir et les questions frisées dans cette expérimentation sollicitent dans le futur une investigation considérable. Les défis restent immenses, mais l'espoir est grand.

REMERCIEMENTS

Cette thèse est le résultat de longues heures de recherche ardue et de l'aboutissement d'un travail qui inclus l'aide, le soutien et les conseils constants de mes professeurs que je suis profondément endettée. Cette recherche a été accomplie, grâce à leur professionnalisme et à leur dévouement absolu dont ils ont démontré tout le temps. C'est à eux que je dois mes sincères remerciements et l'immense sentiment de satisfaction que je ressens à ce stade.

L'immense difficulté rencontrée était d'appréhender les principes et concepts de domaine scientifique très riche par le nombre de détails, la rigueur épidémiologique et l'importance attribuée aux effets de l'évolution des maladies à transmission hydrique. Ces concepts sont pour un médecin ou un Épidémiologiste d'une banalité fondamentale, mais pour un chimiste habitué à travailler avec les produits chimiques dans un laboratoire, réaliser l'importance des calculs statistiques qui régit la propagation, l'incidence et le taux de risque sanitaire, et pour moi, étaient des découvertes majeures que je n'ai pas pu les apprécier sans l'accompagnement et la grande sagesse pédagogique de mes directeurs de thèse.

Je tiens donc, en premier lieu, à remercier le professeur **Zakia RAIS** d'avoir accepté d'encadrer ce travail de recherche qui a été réalisé au sein du laboratoire d'Ingénierie d'Électrochimie de Modélisation et d'Environnement LIEME de la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès, pour son implication dans ce travail et plus particulièrement je la remercie pour sa disponibilité à toute épreuve, sa patience, sa rigueur, son souci de bien faire, son aide et son écoute permanente. C'est ce qui, au final, donne à ce travail sa teneur scientifique et sa crédibilité.

Je tiens à remercier Monsieur le professeur **Chakib NEJJARI**, Directeur de l'École Supérieure de Santé Publique et Management des Systèmes de santé ESPMSS, Casablanca, qui a codirigé ce travail, pour son investissement de qualité, ses précieuses recommandations et orientations. Et surtout d'avoir accepté de me Co-encadrer. Je lui adresse mes remerciements les plus respectueux.

Je souhaite exprimer également toute ma reconnaissance à Monsieur le Professeur **Mustapha TALEB**, Directeur du laboratoire d'Ingénierie d'Électrochimie de Modélisation et d'Environnement LIEME, pour m'avoir fait confiance et m'avoir accueilli dans son Laboratoire, sa disponibilité, son profond savoir et sa grande expérience scientifique m'ont été très profitables.

Tous mes remerciements les plus respectueux à Monsieur **Abderrahim SAADANE**, professeur à la Faculté des Sciences de Meknès, Monsieur **Hassan EL HALOUANI**, professeur à la Faculté des Sciences d'Oujda et à Madame **Noura LAHBABI**, professeur à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès, pour avoir accepté d'évaluer ce travail en étant rapporteurs.

Je suis profondément reconnaissante à Monsieur **Hassane JARAR OULIDI**, Professeur à l'École Hassania des Travaux Publics de Casablanca et à Madame **Karima EL RHAZI**, Professeur à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Fès, pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour l'intérêt qu'ils y ont chacun porté.

Tous mes remerciements vont à Professeur **Hassane JARAR OULIDI**, pour sa patience ses conseils et orientations, pour le temps consacré au décorticage des cartes SIG, et aux multiples corrections. Son support m'a toujours redonné le courage dans les moments de doute. Merci beaucoup.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à Professeur **Karima EL RHAZI**, pour son implication dans ce travail, pour ses conseils et son encouragement et de m'avoir accueilli dans son laboratoire d'Épidémiologie, recherche clinique et santé communautaire, LERCSC.

J'aimerais remercier Madame **Saanae BERRADA**, Professeur à l'Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé de Fès, pour ses conseils et son soutien.

Je tiens à remercier chaleureusement tous les partenaires industriels qui ont participé à ce travail : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Fès (**RADEEF**) et la société sous-traitante de la station d'épuration de la ville de Fès **Waterleau**, la Société Ben Abbou, 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**), l'Office National d'Eau et d'Électricité (**ONEE**), la Délégation Préfectorale de la Santé de la région Fès-Meknès (**DPS**), Service système de Réseau d'Établissement Sanitaire Fès (**SRES**) et le Laboratoire d'Épidémiologie et d'Hygiène de Milieu de Fès (**LEHM**), pour leur collaboration partielle, leur accueil et leur aide, pour faire avancer mon travail concernant les diverses caractérisations.

Je présente pareillement ma sincère gratitude à Monsieur le Docteur **Mohammed BEN ABBOU** qui a contribué, malgré l'accès difficile aux oueds, ses recommandations, ses conseils, son soutien et son accompagnement de près et de manière minutieuse à la réussite de ce travail.

J'exprime mes reconnaissances à mon mari **Omar GUESSOUS** pour l'orientation, la confiance, la patience et le soutien, idem à mon fils qui a grandi à pas de cette thèse, merci de m'avoir supporté et soutenu durant mes années d'études.

Je ne pourrais passer sous silence, à l'aide précieuse que j'ai reçue de ma Famille, tout particulièrement de ma mère **Naima EL KHALDI** et mon père **Abdoulali IDRISSE** qui ont toujours été près de moi pour m'écouter et me soutenir et qui n'ont jamais épargné le moindre effort pour m'aider et m'encourager. Aucune dédicace ne saurait traduire la profondeur des sentiments d'affection, d'estime et d'amour que j'éprouve pour vous. Que dieu tout puissant vous protège et vous garde pour nous.

Je remercie aussi Mrs **Nouamane GUESSOUS** et ma belle-mère **Hassana CHRAIBI** et toute ma famille pour leur aide, leur soutien et leur encouragement.

Je tiens à remercier mes chers sœurs et frères, Amina et son mari, Meryem et son mari, Mhammed, Salma et ma petite sœur Ikram, qui m'ont soutenu et donné le courage de surmonter les moments difficiles, je vous remercie.

Je dédicace mes bénédictions à toutes les personnes chères à mon cœur, à mes cousines, à mes amis, à ma pensée particulière, à mon cher oncle **Hamid IDRISSE** et sa femme **Keltoum NEGHRI**, à toutes celles et tous ceux qui ont été présents pour moi dans les moments de joie et de peine : à toute l'équipe du laboratoire LIEME et LRCSC, et notamment à mes collègues doctorants et docteurs, **Fatima-Zahra EL MADANI**, **Nouha ALLAOUI**, **Nour El Houda MTARFI** et **Youssef MIYAH** pour tous les échanges techniques et scientifiques quotidiens et surtout la présence et la mobilisation dans les différentes activités. Je n'oublierai jamais les bons moments que nous avons passés ensemble.

RÉSUMÉ

Ces dernières années, la qualité des eaux de surface de la ville de Fès s'est dégradée à cause de fortes activités anthropiques. Ceci pourrait engendrer des maladies à transmission hydrique telles que la fièvre typhoïde, les hépatites virales, la gastro-entérite, la dysenterie...

Le présent travail s'intéresse à l'établissement d'une corrélation entre la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface de la ville de Fès traversant les zones les plus polluées et la répartition géographique des incidences de deux maladies liées à l'eau, la fièvre typhoïde et les hépatites virales épidémiques tout en examinant les facteurs y influençant.

Dans un premier temps, nous avons réalisé, un diagnostic au niveau des arrondissements et communes de la ville de Fès qui nous a permis :

- de souligner que la population est en croissance démographique considérable à titre de 2 % par an, avec la plus forte condensation au Nord-Est de la ville. Pour les hépatites virales et la fièvre typhoïde pendant l'année 2015, la préfecture de Fès représente les taux les plus élevés des incidences annuelles au niveau régional, et bien classée à l'échelle nationale ;
- d'identifier les eaux de surface des zones les plus sensibles à la pollution : 5 points de prélèvement des oueds d'une zone périurbaine (A) à Ain Kansara et 6 points des oueds de la zone urbaine Ain Kadous (B) située au Nord-Est de la ville.

Dans un deuxième temps, nous avons effectué une évaluation spatio-temporelle saisonnière de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la zone A des 2 années 2015 et 2016 et mensuelle de la zone B pendant l'année 2017, avec un focus sur la période de trituration des olives. Les résultats de cette partie nous ont servi pour déterminer la qualité globale des eaux de surface ainsi étudiées, moyennant le système de l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface (SEQ-Eau). Ensuite, nous avons procédé à une cartographie spatiale, moyennant les outils SIG, suivie d'un traitement statistique des données environnementales et épidémiologiques afin de les corrélérer avec la répartition géographique de l'incidence des infections pathologiques causées par la pollution des eaux.

Le suivi spatio-temporel, des différents paramètres définissant la qualité des eaux, montre que l'aval d'Oued Fès allant jusqu'au tronçon d'Oued Sebou et les sites existant à l'Est-Nord de la ville et au quartier Ain Kadous sont les plus pollués. Pendant toute la période d'études 2015, 2016 et 2017. Ils se caractérisent par une forte pollution chronique d'origine organique, phosphorique et métallique.

La cartographie de la répartition spatiale des maladies à transmission hydrique, au palier des différents arrondissements de la ville de Fès à l'égard de l'année 2017, illustre que les taux d'incidence des maladies étudiées sont très élevés à l'Est-Nord de la ville. Ces maladies parviennent à 80 % pour les hépatites virales et 71 % pour la fièvre typhoïde indiquant ainsi que le district Ain Kadous est le premier responsable de la propagation de ces maladies épidémiques et à transmission hydrique au niveau de la ville de Fès.

La matrice de calcul correspondant à la corrélation entre l'incidence des maladies étudiées, la pollution des eaux de surface et les facteurs de risque, pour les six sites identifiés très pollués au niveau de la ville de Fès a mis en relief le quartier Ain kadous qui représente les incidences les plus élevées en fièvre typhoïde et hépatite virale surtout pour la population ayant une tranche d'âge comprise entre 04 et 15 ans. Les facteurs responsables relevés, parmi autres, correspondent majoritairement à la mauvaise qualité bactériologique des eaux étudiées, à la densité populaire élevée dépassant les 15 % pour l'arrondissement El Mérinides, aux mauvaises pratiques d'hygiène (défécation à l'air libre, mains sales, baignade des petits enfants,...) et d'exploitation irresponsables des ressources naturelles, des terres agricoles et des espaces verts, de l'inconscience des industriels et de la population, de la mauvaise gestion des eaux usées, notamment, des activités artisanales,...

Les résultats ainsi obtenus corroborent ceux des données recensées et pourraient être d'une grande utilité aux services de la santé et de l'environnement et aux décideurs de la ville de Fès.

Mots-clés : Eau de surface, Ville de Fès, Qualité, Caractérisation, SEQ-eau, SIG, Tests statistiques, Corrélation.

ABSTRACT

These last years, the quality of surface water in the city of Fez has deteriorated due to huge human activities. This could lead to waterborne diseases such as typhoid fever, viral hepatitis, gastroenteritis, dysentery...

The present work tries to establish a correlation between physicochemical and bacteriological quality of surface waters in the City of Fez, crossing the most polluted zones, and the geographical distribution of the incidences of two diseases linked to water, namely typhoid fever and epidemic viral hepatitis, while examining the factors influencing it.

At first, we realized a diagnosis at the level of the districts and communes of Fez, which allowed us:

- to emphasize the considerable demographic growth, at 2% per year, with the strongest condensation in the East-North of the city. For viral hepatitis and typhoid fever during the year 2015, the prefecture of Fez has had the highest rates of annual incidences;
- to identify the surface waters in the most sensitive areas to pollution: 5 sampling points from the Wadi in the peri-urban zone (A) until Ain Kansara and 6 points from the wadi at Ain Kadous urban area (B) located at Northeast of the city.

Then, we carried out a spatio-temporal evaluation of the physico-chemical and bacteriological quality of the seasonal waters at zone A on 2015 and 2016 and monthly at zone B during the year 2017, with a focus on the period of olives trituration. The results of this section were used to determine the overall quality of the studied surface water, through the system of assessment of the overall quality of surface water (SEQ-Water). Then, we carried out spatial mapping, using GIS tools, followed by statistical treatment of environmental and epidemiological data in order to correlate them with the geographical distribution of the incidence of pathological infections caused by water pollution.

The spatio-temporal monitoring of different parameters defining the quality of water shows that the downstream of Oued Fès going up to the section of Oued Sebou and the existing sites in the North-East of the city and in the district Ain Kadous are the most polluted. Throughout the study period, namely 2015, 2016 and 2017, they were characterized by a strong chronic pollution of organic, phosphoric and metallic origin.

The mapping of the spatial distribution of water-borne diseases in the various districts of the city of Fez in 2017 illustrates that the incidence rates of the studied diseases are very high in the North-East of the city. These diseases reach 80% for viral hepatitis and 71% for typhoid fever indicating that the district Ain Kadous is the first responsible for the spread of these epidemic and waterborne diseases in the city of Fez. The calculation matrix corresponding to the correlation between the incidence of the studied diseases, surface water pollution and risk factors, for the six sites identified as highly polluted at the city of Fez, highlighted the district of Ain kadous which represents the highest incidences of typhoid fever and viral hepatitis especially for the population aged between 04 and 15 years. The responsible factors identified, among others, correspond mainly to the high population density exceeding 15% for the Merinides district, poor hygiene practices (defecation in open spaces, dirty hands, children swimming, etc.), as well as irresponsible exploitation of natural resources, agricultural lands and green spaces, the unconsciousness of industrialists and the population, mismanagement of wastewater, including olive and craft activities, ...

The results obtained corroborate those of the data collected and could be of great value to the health and environmental services and decision-makers in the city of Fez.

Keywords: Surface water, City of Fez, Quality, Characterization, SEQ-water, GIS, Statistical analysis, Correlation.

ملخص

في السنوات الأخيرة، تدهورت نوعية المياه السطحية في مدينة فاس بسبب الأنشطة البشرية المكثفة؛ وهذا سيؤدي حتما إلى انتشار الأمراض التي تنقلها المياه مثل حمى التيفوئيد والتهاب الكبد الفيروسي والتهاب المعدة والأمعاء والزحار (الدوسنتاريا ...)

يهدف هذا العمل إلى تسليط الضوء على العلاقة بين الجودة الفيزيائية والبكتريولوجية للمياه السطحية لمدينة فاس، التي تعبر المناطق الأكثر تلوثا، والتوزيع الجغرافي لحالات مرضين مرتبطين بالماء هما حمى التيفوئيد والتهاب الكبد الوبائي، من خلال فحص العوامل المؤثرة في ذلك.

في المرحلة الأولى، قمنا بتشخيص الوضع على مستوى مقاطعات وبلديات مدينة فاس، فتبين لنا ما يلي:

- النمو الديموغرافي يتزايد بنسبة كبيرة تناهز 2 ٪ سنويا، مع تركيز كبير للسكان في شرق وشمال المدينة. وبالنسبة للتهاب الكبد الفيروسي وحمى التيفوئيد، كانت عمالة فاس سنة 2015 تمثل أعلى معدلات الإصابة بالمرضى.

- حددنا المياه السطحية للمناطق الأكثر حساسية للتلوث: 5 مواقع لأخذ العينات في المنطقة المحيطة بالمدار الحضري (أ) إلى عين قنصرة، و6 مواقع في الدائرة الحضرة عين قادوس (ب) الواقعة في شمال شرق المدينة.

في مرحلة ثانية، أجرينا تقييما زمانيا ومكانيا للجودة الفيزيائية-الكيميائية والبكتريولوجية للمياه الموسمية للمنطقة "أ" خلال السنتين 2015 و2016 والشهرية بالنسبة للمنطقة "ب" خلال عام 2017، مع التركيز على فترة عصر الزيتون. استخدمت نتائج هذا القسم لتحديد الجودة الكلية للمياه السطحية التي تمت دراستها، من خلال نظام تقييم الجودة الكلية للمياه السطحية (SEQ-EAU) ... وبعد ذلك، قمنا بوضع الخرائط المكانية، باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية SIG، ثم بالمعالجة الإحصائية للبيانات البيئية والوبائية من أجل ربطها بالتوزيع الجغرافي لحدوث الأمراض المعدية الناجمة عن تلوث المياه.

ويبين الرصد الزماني المكاني لمختلف المعايير التي تحدد جودة المياه أن مجرى وادي فاس المتجه نحو وادي سبو والمواقع الموجودة في شرق وشمال المدينة وفي منطقة عين قادوس هي الأكثر تلوثا؛ وطوال فترة الدراسة 2015 و2016 و2017، سجلنا بها تلوثا مزمنيا قويا من مصدر عضوي وفوسفوري ومعدني.

كما أظهر رسم خرائط التوزيع المكاني للأمراض المنقولة بالمياه على مستوى المناطق المختلفة لمدينة فاس فيما خلال سنة 2017 أن معدلات الإصابة بالأمراض المشمولة بالدراسة عالية جدا في الشمال الشرقي للمدينة. وتصل معدلات هذه الأمراض إلى 80٪ بالنسبة لالتهاب الكبد الفيروسي و71٪ لحمى التيفوئيد، مما يدل على أن منطقة عين قادوس هي أول مسؤول عن انتشار هذه الأمراض الوبائية المنقولة بالماء في مدينة فاس.

وكشفت عمليات الحساب الموافقة للعلاقة بين حدوث الأمراض المشمولة بالدراسة وتلوث المياه السطحية وعوامل الخطر في المواقع الستة التي تم تحديدها على أنها عالية ملوثة بمدينة فاس، (كشفت) أن منطقة عين قادوس تمثل أعلى حالات الإصابة بحمى التيفوئيد والتهاب الكبد الفيروسي، خاصة لدى الفئات السكانية التي تتراوح أعمارهم بين 4 و15 سنة. وتتمثل العوامل الرئيسية المسؤولة عن ذلك، من بين أمور أخرى، في الكثافة السكانية العالية التي تتجاوز 15 ٪ في منطقة المرينيين والممارسات الصحية السيئة (التغوط في العراء، والأيدي القذرة والسباحة العشوائية للأطفال الصغار وما إلى ذلك)، وكذا الاستغلال غير المسؤول للموارد الطبيعية والأراضي الزراعية والمساحات الخضراء، وانعدام الوعي لدى الصناعيين والسكان، وسوء إدارة المياه الملوثة، لاسيما الناتجة عن أنشطة الزيتون والأنشطة الحرفية ...

تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها نتائج البيانات التي تم جمعها والتي يمكن أن تكون ذات قيمة كبيرة للخدمات الصحية والبيئية وصانعي القرار في مدينة فاس.

الكلمات الأساسية: المياه السطحية، مدينة فاس، الجودة، التوصيف، SEQ-EAU، نظم المعلومات الجغرافية GIS، الاختبارات الإحصائية، الارتباط.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	15
PARTIE A : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DE LA VILLE DE FÈS : outils SEQ-Eau et SIG.....	19
CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE – QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE : CONCEPTS ET EXPÉRIENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES.....	20
I. Introduction.....	20
II. État des lieux des eaux de surface : ressource et répartition	20
III. Propriétés physico-chimiques et éléments majeurs et de traces métalliques d'une rivière.....	24
<i>III.1. Propriétés physico-chimiques</i>	<i>24</i>
<i>III.2. Éléments majeurs et nutriments.....</i>	<i>26</i>
<i>III.3. Éléments traces métalliques (ETM)</i>	<i>26</i>
<i>III.4. Caractéristiques microbiologiques</i>	<i>28</i>
IV. Risques environnementaux liés à la pollution des eaux superficielles de ruissellement	29
V. Contexte juridique marocain des eaux de surface.....	35
VI. Stratégie de la dépollution des eaux de surface nationale et locale	38
VII. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface SEQ-Eau.....	40
VIII. Gestion informatique et géographique des données	41
<i>VIII.1. Système d'information géographique SIG.....</i>	<i>41</i>
<i>VIII.2. Tests statistiques.....</i>	<i>43</i>
VIII.2.1. Analyse et utilisation des données.....	43
VIII.2.2. Analyse de la variance ANOVA	44
VIII.2.3. Corrélation de Pearson.....	45
VIII. Conclusion	46
CHAPITRE 2 : METHODES D'ETUDE TECHNIQUES ET EXPERIMENTALES.....	47
I .Introduction.....	47
II. Détermination de la zone d'étude	47
III. Méthode d'échantillonnage et d'analyse physico-chimique et bactériologique	49
<i>III.1. Méthodologie d'échantillonnage</i>	<i>49</i>
<i>III.2. Technique de prélèvement</i>	<i>50</i>
<i>III.3. Technique de conservation</i>	<i>50</i>
<i>III.4. Description des techniques analytiques</i>	<i>51</i>
III.4.1. Paramètres physicochimiques.....	51

III.4.2. Paramètres bactériologiques.....	52
IV. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface (SEQ-Eau).....	53
V. Méthodes d'analyses informatiques	56
V.1. Système d'information géographique.....	56
V.2. Analyse de la variance (ANOVA)	57
VI. Conclusion.....	57
CHAPITRE 3 : ÉTAT DES LIEUX DES OUEDS PARCOURANT LA VILLE DE FÈS	58
I.Introduction	58
II. Population	58
III. Situation des industries existantes	59
IV. État des lieux des réseaux d'assainissement liquide	61
V. Terres agricoles irriguées par les eaux usées	62
VI. Étude de terrain.....	64
VII. Détermination et description des sites de prélèvement.....	65
VII.1. Sites de prélèvement de la Zone A	66
VII.2. Sites de prélèvement de la Zone B.....	68
VII.2.1. Caractérisation physico-chimique et bactériologique.....	68
VII.2.2. Evaluation spatio-temporelle	71
VIII. Conclusion.....	71
CHAPITRE 4 : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DE LA VILLE DE FÈS... 72	
I. Introduction.....	72
II. Évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux de surface de la zone A.....	72
II.1. Suivi Spatio-temporel des paramètres de la qualité des eaux de surface de la zone A.....	73
II.1.1. Température (T°)	73
II.1.2. pH	74
II.1.3. Oxygène dissout (OD)	75
II.1.4. Conductivité électrique (CE)	75
II.1.5. Turbidité (TU)	76
II.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO).....	77
II.1.7. Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	77
II.1.8. Ions nitrates (NO ₃ ⁻)	79
II.1.9. Ions ammonium (NH ₄ ⁺).....	80
II.1.10. Phosphore total (Pt)	80
II.1.11. Coliformes fécaux (CF).....	81
II.2. Représentation de la moyenne des Paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux de surface de la zone A	82
II.3. Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des différentes altérations.....	84

II.3.1. Évaluation de la qualité saisonnière de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de la zone A	84
II.3.2. Indices de pondération et d'altération des eaux de surface de la zone A.....	87
II.3.3. Évaluation de la qualité globale des eaux de surface de la zone A	91
II.4. Conformité des résultats des différents paramètres pour les eaux destinées à l'irrigation	92
II.5. Analyses statistiques (ANOVA)	94
III. Evaluation de la qualité des eaux de surface de la zone B	96
III.1. Caractérisation de la qualité des eaux superficielles au niveau de la zone urbaine B de la ville de Fès... 96	
III.1.1. Suivi spatio-temporel des paramètres physicochimiques et bactériologiques	96
III.1.2. Indices de pondération et d'altération	100
III.1.3. Répartition spatiale de la qualité globale des paramètres de la qualité des eaux superficielles au niveau de la ville de Fès	101
III.2. Évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux superficielles au niveau du quartier Ain Kadous.. 102	
III.2.1. Évaluation spatio-temporelle mensuelle des paramètres physicochimiques et bactériologiques du site PK	102
III.2.2. Représentation des résultats des valeurs moyennes saisonnières des paramètres physicochimiques et bactériologiques du site PK	106
IV. Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des différentes altérations du site PK	108
IV.1. Altérations 1 & 2 : Température et Acidification.....	109
IV.2. Altérations 2, 3 et 4 : Matières organiques et oxydables, particules en suspension et microorganismes	110
IV.3. Altérations 7, 8 et 9 : Matières phosphorées, Nitrates et Minéralisation	111
IV.4. Évaluation globale de la qualité globale des eaux de surface de la zone A	112
IV.4.1. Évaluation de la qualité globale physico-chimique e bactériologique	112
IV.4.2. Analyse de la salmonella Typhi	113
IV.4.3. Évaluation de la qualité globale métallique	113
IV.4.4. Évaluation de la qualité globale durant la période de trituration des olives	114
IV.4.5. Analyses statistiques de la variance (ANOVA).....	115
V. Qualité des eaux de surface avant et après la mise en marche de la STEP	117
VI. Conclusion	118
Partie B : MALADIES À TRANSMISSION HYDRIQUES : FIÈVRE TYPHOÏDE ET HÉPATITES VIRALES ÉPIDÉMIQUES.....	120
CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET GÉNÉRALITÉS	121
I. Introduction.....	121
II. Risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface	121
II.1. Généralités sur l'épidémiologie et définition des concepts	121
II.1.1. Généralités sur l'épidémiologie.....	121
II.1.2. Définition des concepts	121
II.2. Maladies à transmission hydriques	123
II.3. Fièvre typhoïde	124
II.3.1. Agent causal	124
II.3.2. Transmission.....	124
II.3.3. Épidémiologie	125

II.3.4. Traitement et prévention	125
II.4. Hépatites virales épidémiques.....	126
II.4.1. Hépatite virale A	126
II.4.2. Hépatite virale E	127
III. Efforts étatiques	128
IV. Méthodes d'évaluation des risques sanitaires	128
V. Conclusion	129
CHAPITRE 2 : Approche méthodologique.....	131
I. Introduction.....	131
II. Méthodes de recensement des données sanitaires.....	131
III. Densité populaire.....	132
IV. Test de Tau-Kendall	132
V. Taux d'incidence en épidémiologie	133
VI. Corrélation géographique et statistique des données	133
VI.1. Corrélation spatiale	133
VI.2. Test de corrélation de Pearson.....	133
VII. Corrélation selon les caractéristiques individuelles.....	134
VII.1. Distribution des cas selon les caractéristiques individuelles	135
VII.2. Distribution en fonction des tranches d'âge	135
VII.3. Distribution en fonction du sexe du malade.....	135
VII.4. Évolution mensuelle du nombre des cas	136
VIII. Conclusion.....	136
CHAPITRE 3 : Situation épidémiologique de la fièvre typhoïde et des hépatites virales dans la ville de Fès	137
I. Introduction.....	137
II. Densité populaire	137
III. Méthode de découpage administratif et organismes sanitaires de la préfecture de Fès	138
IV. Analyse de la tendance des incidences cumulées annuelles par le test de Tau-Kendall	140
IV.1. À l'échelle nationale, régionale et locale.....	140
IV.2. Au niveau des différents districts de la ville de Fès	142
V. Distribution spatiale des incidences des maladies pour l'année 2017	144

VI. Conclusion	145
CHAPITRE 4 : Analyse de la relation entre la répartition spatiale des maladies et la qualité globale des eaux de surface de la ville de Fès	147
I. Introduction	147
II. Corrélation géographique	147
III. Matrice de corrélation	149
VI. Corrélation des caractéristiques individuelles pour le district Ain Kadous	151
VI.1. Effet de l'âge sur la distribution de la FT et des HVE.....	151
VI.2. Effet du sexe du malade sur la distribution de la FT et des HVE	154
VI.3. Évolution mensuelle des rapports de la FT et des Hv.....	155
V. Conclusion	157

TABLE DES FIGURES

Figure 1. Situation de la ville de Fès dans la région Fès-Meknès	22
Figure 2. Réseau hydraulique de la ville de Fès (Emmanuel, 2011).....	23
Figure 3. Représentation géographique des zones d'étude A et B.....	49
Figure 4. Méthodologie de l'identification de la qualité globale d'un site à partir du SEQ-eau et de valeurs mesurées (Ben-Daoud et al., 2011).....	54
Figure 5. Répartition géographique de la population de la ville de Fès au niveau des différents arrondissements (2017).....	59
Figure 6. Répartition géospatiale des principales industries au niveau de la ville de Fès (2016), recensées auprès de la HCP.....	60
Figure 7. Rejet direct des eaux usées dans l'oued Boukhareb avant la plantation de la STEP (AMARTI, 2013)	61
Figure 8. Réseau principal d'assainissement liquide de la ville de Fès, extension vers la STEP (ASUF).....	62
Figure 9. Zone agricole El Merja au niveau de la ville de Fès.....	63
Figure 10. Localisation de la zone Al Merja au niveau de Fès	63
Figure 11. Localisation des zones irriguées par les oueds Fès et Sebou	64
Figure 12. Localisation géographique des sites d'échantillonnage de la zone d'étude A, dans la rivière Sebou et Fès	66
Figure 13. Photos des cinq points d'échantillonnage, zone A	68
Figure 14. Localisation géographique des sites d'échantillonnage de la caractérisation physicochimique et bactériologique.....	69
Figure 15. Photos des six points d'échantillonnage de la zone B	71
Figure 16. Évolution spatio-temporelle de la température des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	74
Figure 17. Évolution spatio-temporelle du pH des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016.....	74
Figure 18. Évolution spatio-temporelle de l'oxygène dissout des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	75
Figure 19. Évolution spatio-temporelle de la conductivité électrique des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	76
Figure 20. Suivi spatio-temporelle de la turbidité des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016.....	76
Figure 21. Évolution spatio-temporelle de la demande chimique d'oxygène des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016.....	77
Figure 22. Évolution spatio-temporelle de la demande biologique d'oxygène des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016.....	78
Figure 23. Évolution spatio-temporelle du rapport (DCO/DBO ₅), de la zone A pour les années 2015 et 2016.....	79

Figure 24. Évolution spatio-temporelle des ions nitrates des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	79
Figure 25. Évolution spatio-temporelle des ions ammoniums des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	80
Figure 26. Évolution spatio-temporelle du phosphore totale des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	81
Figure 27. Évolution spatio-temporelle de la température des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016	81
Figure 28. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques évaluant la qualité des eaux pour les deux ans 2015 et 2016	84
Figure 29. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique pour les printemps de la période 2015-2016.....	85
Figure 30. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des étés de 2015-2016.....	85
Figure 31. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des automnes des deux années 2015-2016	86
Figure 32. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des printemps de 2015-2016.....	87
Figure 33. Évolution spatiale des deux altérations (acidification et température), pour la zone A et durant la période d'étude 2015 et 2016	89
Figure 34. Représentation spatiale des altérations (MOO, PES et microorganismes) pendant la période d'étude 2015-2016.....	90
Figure 35. Évolution spatiale des trois altérations (matière phosphorées, nitrates et minéralisation), pour la zone A et durant la période d'étude 2015 et 2016	90
Figure 36. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des eaux de surface étudiées de la zone A, pour la période 2015-2016.....	92
Figure 37. Image satellitaire montrant la jonction d'Oued Tghatt avec l'Oued Sebou	93
Figure 38. Un ZOOM sur le confluent S3 (Oued Sebou et Fès) et leur écoulement ensemble	94
Figure 39. Paramètres physico-chimique, bactériologique et le ratio DCO/DBO ₅ de la caractérisation des eaux de surface dans les six sites de la ville de Fès.....	99
Figure 40. Répartition géographique de la caractérisation physicochimique et bactériologique globale au niveau des six sites étudiés	101
Figure 41. Suivi spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'évaluation mensuelle de la qualité des eaux, pour l'année 2017, au niveau du site PK.....	103
Figure 42. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'évaluation saisonnière de la qualité des eaux, au niveau du point PK pour l'année 2017 ..	107
Figure 43. Évolution spatio-temporelle des moyennes du pH et T pendant l'année 2017	110
Figure 44. Évolution spatio-temporelle des moyennes de TU, CF et MOO pendant l'année 2017.....	111
Figure 45. Évolution spatio-temporelle des moyennes de PT, NO ₃ ⁻ et CE pendant l'année 2017	112

Figure 46. Qualité globale physico-chimique et bactériologique pour l'évaluation mensuelle de l'année 2017 au niveau du site PK	112
Figure 47. Répartition géographique de la densité populaire calculée pour chaque arrondissement et commune.....	138
Figure 48. Situation géographique de la préfecture de Fès et son découpage communal et administratif actuel (DRHCPF, 2018).....	138
Figure 49. Répartition spatiale des centres de santé de la ville de Fès	139
Figure 50. Variation des incidences annuelles cumulées de la FT pendant la période 2012-2016.....	141
Figure 51. Variation des incidences annuelles cumulées des Hv pendant la période 2012-2016	142
Figure 52. Variation des incidences annuelles cumulées de la FT pendant la période 2012-2016.....	143
Figure 53. Variation des incidences annuelles cumulées des Hv pendant la période (2012-2016).....	144
Figure 54. Distribution spatiale de l'incidence de la typhoïde et des hépatites virales au niveau de la ville de Fès.....	145
Figure 55. Répartition géographique des différents paramètres avec l'incidence des maladies	148
Figure 56. Distribution mensuelle des incidences de la FT (2014-2017)	156
Figure 57. Distribution mensuelle des incidences des Hv pendant la période 2014-2017....	156

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1. Grille d'évaluation selon la norme marocaine des eaux de surface (B.O, 2016) ...	37
Tableau 2. Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques (Rodier, 2009)	52
Tableau 3. Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface (MDCEau et al., 2015)	55
Tableau 4. Résultats des Concertations avec quelques riverains de la zone rurale ALkansara	65
Tableau 5. Coordonnées géographiques des cinq sites d'échantillonnage.....	67
Tableau 6. Coordonnées géographiques des cinq sites d'échantillonnage de la zone A	70
Tableau 7. Résultats des moyennes des indices d'altération et de pondération durant la période 2015-2016.....	88
Tableau 8. Résultats de la qualité des eaux à AlKansara (2015-2016), selon la norme marocaine de la qualité des eaux destinées à l'irrigation.....	93
Tableau 9. Analyse de la variance ANOVA des altérations physico-chimiques et bactériologiques physico-chimiques des cinq sites en fonction du temps	95
Tableau 10. Résultats des moyennes des indices d'altération et de pondération durant la période 2017	100
Tableau 11. Recherche de Salmonella au niveau du site PK	113
Tableau 12. Évaluation temporelle des ÉTM dans les eaux superficielles	114
Tableau 13. Évaluation de la qualité globale physico-chimique et bactériologique durant la période de trituration des olives	115
Tableau 14. Analyse de la variance ANOVA des différentes altérations de la qualité des eaux, du site PK en fonction du temps.....	116
Tableau 15. Représentation des paramètres de l'évolution temporelle de la qualité des eaux de surface de l'aval d'Oued Fès selon le SEQ-Eau (B.O, 2016)	117
Tableau 16. Les principaux germes de risques biologiques (Griffiths, 2017)	123
Tableau 17. Localisation des Cs selon les quartiers	140
Tableau 18. Analyse statistique des corrélations selon les critères de Bravais-Pearson.....	150
Tableau 19. Analyse de l'effet de l'âge sur la distribution de la FT au niveau du quartier Ain Kadous pendant la période : 2014-2017.....	152
Tableau 20. Analyse de l'effet de l'âge sur la distribution des Hv au niveau du quartier Ain Kadous pendant la période : 2014-2017.....	153
Tableau 21. Analyse de l'effet du sexe sur la distribution de la FT pour le quartier Ain Kadous pendant la période 2014-2017.....	154
Tableau 22. Distribution du sexe des malades au niveau du quartier Ain Kadous pendant la période 2014-2017.....	155

LISTE DES ABREVIATIONS

ABHS	Agence du Bassin Hydraulique Sebou
CCIS	Chambre de Commerce, d'Industrie et de Service
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
COSTE	Centre de l'Oriental des Sciences et Technologies de l'Eau
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
ETM	Éléments Traces Métallique
FT	Fièvre Typhoïde
HCP	Haut-Commissariat au Plan
Hv	Hépatites virales
IA	Indice d'Altération
IAC	Incidence Annuelle Cumulée
IP	Indice de Pondération
LERCSC	Laboratoire d'Épidémiologie, Recherche Clinique et Santé Communautaire
MMDH	Milliards de Dirhams
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONE	Office National de l'Électricité
RADEEF	Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Électricité de Fès
RR	Risque Relatif
SEQ-Eau	Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux de surface
SIG	Système 'Information Géographique
SRES	Service système de Réseau d'Établissement Sanitaire Fès
UFC	Unité Formant Colonie

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le taux des eaux superficielles douces accessibles au monde est d'environ 0,3 %. Cette quantité reste inférieure à la demande mondiale en eau. D'autre part, jusqu'à nos jours, près d'un tiers de la population mondiale vit dans des conditions de pénurie d'eau (Santra et al., 2015). Le changement climatique mondial et la croissance rapide de la population, associés à une demande en eau en rapide augmentation, aggravent ce problème. Si les tendances actuelles se maintiennent, d'ici 2025, la pénurie d'eau touchera plus de la moitié de la population mondiale (NU, 2018). En effet le débarra des rejets urbains, industriels et agricoles dans la nature, en particulier dans les eaux superficielles, cause une pollution et une dégradation intenses et persistantes des systèmes fluviaux qui pourraient engendrer des maladies à transmission hydrique telles que le choléra, les intoxications chimiques et métalliques, les allergies de la peau, la fièvre typhoïde, les hépatites virales, le trachome, certains cancers, maladies neurologiques et perturbations endocriniennes, etc.

Les préoccupations concernant la quantité et la qualité des eaux, d'une part, et la santé de la population d'autre part, à l'échelle mondiale, deviennent un sujet d'actualité et requièrent l'attention de toutes les parties prenantes.

Ainsi, le Maroc contribue à la préservation des ressources hydriques par plusieurs efforts et stratégies. Il s'est engagé depuis longtemps dans la voie de la maîtrise de ses ressources en eau pour un développement durable, à travers l'élaboration du Plan National de l'eau PNE (MDCEAU, 2017), l'établissement de l'Initiative Nationale de Développement Humain (Lindh et al., 2016), de la Stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement et de la Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement (SNDD, 2015) et plusieurs d'autres actions.

Avec la croissance démographique que connaît la ville de Fès, le développement industriel et agricole (Alami et al., 2018), la modernisation irréfléchie, les changements climatiques..., le contrôle et la qualité des eaux de surface urbaines et périurbaines, ayant un impact direct sur la santé humaine, a suscité un intérêt particulier. La gravité de la situation s'accroît au niveau de l'aval d'Oued Fès et du confluent Fès-Sebou. Les autorités ont porté nombreux projets afin d'améliorer la qualité de ces cours d'eau dans le cadre de la stratégie Nationale de la protection de l'environnement. Parmi les projets réalisés, nous citons :

- l'implantation de la station d'évaporation naturelle des margines dans la commune rurale Oulad Jamaâ, située à l'extérieur de la ville de Fès, opérationnelle depuis l'an 1997, afin de soulager les eaux de l'Oued Sebou des rejets des huileries. Elle est constituée de deux bassins de séchage, recouvrant une superficie de l'ordre de 14 000 m² qui correspond à

- une capacité de réception de 40 000 tonnes. Les deux bassins reçoivent seulement 30 % des margines produites durant les campagnes oléicoles (ABHSF, 2011) et (Idrissi, 2016);
- la délocalisation des dinanderies de la Médina et autres activités artisanales (poteries, tannerie...), dès les années 2000, source de pollution nocive à travers le rejet des éléments toxiques, vers la zone industrielle d'Ain Nokbi (Ouazzani, 2015) ;
 - l'exploitation de la station de déchromatation au quartier industriel Dokkarat qui est opérationnelle depuis l'an 2003, sur un terrain de 700m². Or, à travers un collecteur de 3 km de longueur, une capacité de traitement 50 m³/J elle réduit la pollution produite par les tanneries utilisatrices du chrome dans le traitement des peaux des animaux, avec un rendement supérieur à 90 % (Omor et al., 2017) et (Griffiths et al., 2017);
 - l'installation de la décharge contrôlée, laquelle est localisée à 11km du centre-ville sur la rocade de Sidi Hrazem. Dont l'exploitation a démarré en 2004, pour réduire la pollution par les déchets à titre de 750 à 1 000 tonnes de déchets solides par jour, et actuellement la mise en place d'une unité de traitement du lixiviat nommé : Printlix; proposé et financé par le ministère de l'environnement dans le cadre d'un projet mené par la Faculté des Sciences de Fès faisant l'objet d'un travail de thèse. Ce projet a pour but principal, la préservation de la nappe phréatique et par la suite des systèmes fluviaux. Ce qui permet un Abattement de 100% de la charge organique en termes de demande biologique en oxygène, 100% de l'ammonium, 98,7% du phosphore, et 90% des matières en suspension (SAAD, 2018).
 - La mise en marche de la station de prétraitement ZENJFOUR en 2004, au quartier Sidi Boujida, compte à réduire les effluents et les grands rejets solides par action de dessablage et dégrillage et pour alimenter l'usine hydroélectrique de Fès gérée par l'Office National de l'Électricité ONE (Alami, 2018);
 - la publication des Valeurs Limites des Rejets spécifiques (VLSR), en octobre 2013 au bulletin officiel (B.O, 2013);
 - la réalisation de la station de traitement des eaux usées (STEP) de Fès, qui est devenue opérationnelle en fin novembre 2014 (RADEEF, 2014) ; après avoir sensibilisé les industriels de traiter ou prétraiter leurs eaux usées avant de rejoindre le réseau d'assainissement ;
 - la publication du nouveau décret de la nouvelle loi sur l'eau 36-15 n °. 6494-67-94 d'août 2016 au bulletin officiel (B.O, 2016), etc. et plusieurs autres projets réalisés et autres en cours.

Malgré ces efforts, nous assistons à une augmentation de la propagation des maladies liées à l'eau à cause des mauvaises pratiques hygiéniques par la population, en plus de la pratique de la réutilisation des eaux usées en irrigation et la production et la consommation des produits alimentaires de crudités qui sont commercialisés localement (Sebgui, 2014); vecteur principal des pathogènes associés aux excréta.

Selon les statistiques des services de la santé publique, trois maladies à transmission hydrique sont les plus fréquentes dans la ville. Il s'agit de la typhoïde, des hépatites virales et des Gastro-entérites. Tandis que le choléra a disparu depuis l'année 1990 (DELM, 2018). À cet effet, nous nous intéressons à la répartition géographique de la fièvre typhoïde et des hépatites virales au niveau des arrondissements et communes de la ville de Fès et de leur relation avec la qualité des eaux de surface urbaine et périurbaine de l'aval de la STEP via le système d'évaluation globale de la qualité des eaux SEQ-Eau, les outils SIG et les tests statistiques et l'approche de corrélation (SIG-SQE). Cette méthodologie est extraite principalement des législations marocaines élaborées par la Direction des Ressources et la Planification de l'Eau au Maroc (MDCEau, 2016), (SEEE, 2008), (B.O, 2016) et (Errochdi et al., 2012).

Ce travail est divisé en 2 parties :

La partie A concerne l'évaluation globale de la qualité des eaux de surface urbaines et périurbaines ; dépassant l'aval de la STEP de la ville de Fès par l'utilisation du système d'information géographique SIG et le système d'évaluation de la qualité globale SEQ-Eau après avoir délimité les zones d'études, et les sites de prélèvement des eaux par le biais d'un diagnostic et concertation des acteurs concernés.

Cette partie comprend 4 chapitres :

-le premier chapitre est dédié à une synthèse bibliographique des travaux antécédents sur la qualité des eaux de surface et les risques liés à leur pollution aux échelles internationales, nationales et locales. Ainsi que la stratégie nationale de dépollution. Le contexte juridique marocain des eaux de surface et les méthodes de gestion informatique et géographique des données et des corrélations qui peuvent avoir lieu ont été rappelés.

-le deuxième chapitre porte sur les méthodes utilisées pour la détermination de la zone d'étude, de caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux étudiées, du suivi spatio-temporel, de l'évaluation de la qualité des eaux par le SEQ-Eau en faisant le point sur le calcul de l'indice pondéré pour chaque type d'altération, et de détermination de la qualité globale de ces eaux et des corrélations entre les différents paramètres de pollution et les sites d'étude.

-le troisième chapitre relate les résultats du diagnostic en définissant les zones d'étude et les sites de prélèvement d'eau.

-le quatrième chapitre reporte tous les résultats concernant l'évaluation de la qualité globale des eaux étudiées dans l'espace et dans le temps, ainsi que leur impact sur l'environnement et les risques sanitaires humaines qui peuvent en découler.

La partie B : scrute l'analyse de l'évolution des incidences des maladies à transmission hydrique : fièvre typhoïde et hépatites virales et se compose de 4 chapitres :

-le premier chapitre concerne une revue bibliographique sur les risques sanitaires liés à la pollution des eaux de surface en indiquant les agents causaux, les voies de transmission, les méthodes de leur traitement et de prévention d'une part ; et d'autre part, les efforts étatiques et les méthodes d'évaluation pour pallier à ces risques.

-le deuxième chapitre exhibe l'approche méthodologique appliquée pour recenser les données sur la fièvre typhoïde et les hépatites virales ainsi que le calcul du taux d'incidence, les tests appliqués pour l'analyse statistique, de corrélation informatique et géographique des données et selon les caractéristiques individuelles.

-le troisième chapitre présente l'état des lieux des maladies à transmission hydrique dans la ville de Fès et leur situation épidémiologique, actuelle et pendant les cinq dernières années, par analyse de la tendance des incidences cumulées annuelles moyennant le test tau-Kendall.

-le dernier chapitre de cette partie est consacrée à l'identification et l'analyse de la relation entre la répartition spatiale de la fièvre typhoïde et des hépatites virales et la qualité globale des eaux de surface de la ville de Fès, en déterminant 2 types de corrélations : géographique et statistique en analysant les facteurs de risques, avec un traitement épidémiologique récent des effets des caractéristiques individuelles relatives au district Ain Kadous. Les paramètres pris en considération concernant ce quartier dense en population sont : l'âge de la population malade, le sexe et les mois, pour la période 2014-2017.

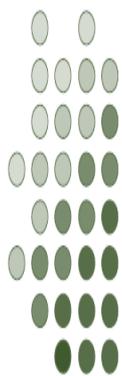
Chaque partie débute par une introduction, et se termine par une conclusion. De même pour les différents chapitres qui composent les parties A et B.

Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus et une présentation des perspectives à envisager pour des futurs travaux de recherche.

PARTIE A : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DE LA VILLE DE FÈS : outils SEQ-Eau et SIG

La contamination des systèmes fluviaux est l'un des problèmes environnementaux majeurs dans les pays en développement. La dégradation naturelle de leur qualité, comme l'altération chimique et la lixiviation des sols, est un processus graduel alors que la libération de contaminants d'origine anthropique est rapide et en augmentation. Les sources anthropiques sont principalement associées aux effluents industriels et domestiques, aux décharges, aux activités oléicoles et aux activités agricoles rurales. La présence des matières chimiques et des germes pathogènes, et leur insertion dans le corps humain même à l'état de trace, causent des maladies graves. Autant, les contaminants comme le Cd, l'As, le Pb et le Cr sont très toxiques même à de faibles concentrations; et étant non biodégradable, leur bioaccumulation dans le corps humain peut causer des dommages au système nerveux et aux organes internes. D'autres contaminants tels que Cu, Fe, Mn, Ni et Zn qui sont des micronutriments essentiels ont également des effets néfastes sur le fonctionnement des tissus vivants à des concentrations plus élevées.

Dans cette partie, nous présentons le côté environnement, en traitant préalablement l'état de l'art actuel des eaux de surface de la ville de Fès, la description des fondements techniques utilisés, les résultats obtenus et traités relatifs à l'évaluation spatio-temporelle de la qualité de ces eaux et à la qualité globale des eaux de surface, selon les SIG et le SEQ-Eau.



CHAPITRE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE – QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE : CONCEPTS ET EXPÉRIENCES NATIONALES ET INTERNATIONALES

I. Introduction

Ce chapitre donnera une vision générale sur l'état actuel des eaux de surface de ruissellement au niveau mondial, national et local. Aussi, il présente la nature et la composition de ces eaux, les causes et les efforts déployés pour leur dépollution. Il exhibe essentiellement les derniers travaux réalisés dans le domaine de la sécurité environnementale liés aux méthodes d'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface d'Oued Fès et Sebou à l'Est-Nord de la ville de Fès, faisant l'objectif de notre recherche.

II. État des lieux des eaux de surface : ressources et répartition

Les eaux superficielles douces de ruissellement sont parmi les importantes ressources en eau pour l'être humain.

À l'échelle mondiale, bien que plus de 70 % de la superficie de notre planète est couverte d'eau, dans les environs de 1,4 milliard de km³, seule une petite fraction qui constitue les réserves totales d'eau de ruissellement estimée à environ 3 %. Cela représente à peine 35 millions de km³ du stock total sur la Terre (Khatri & Tyagi, 2015). Sachant que la grande partie de ces dernières réserves est enfermée dans les calottes polaires, seulement 1 % sont accessibles à l'homme, et les eaux de surface douces représentent moins de 0,3 % occupant en moyenne presque 90 000 de km³ (Sherwood et al., 2013). Ces réserves d'eaux de surface sont faibles est considérées très limitées.

Cependant, la répartition mondiale de l'eau est inégale et devient un bien rare dans d'immenses régions du globe. Ainsi, on estime que d'ici 2025, plus de la moitié de la population mondiale sera vulnérable aux pénuries d'eau (Steffen et al., 2015) ; il est clair que l'eau utilisable devient de plus en plus rare.

Les eaux superficielles rassemblent les eaux stagnantes (retenues de barrages, glaciers, réservoirs, lacs...) et les eaux courantes ayant un écoulement visible de l'eau (canaux, rivières, fleuves). Parmi ces écoulements on peut mentionner les oueds, qui constituent l'objet de notre travail.

D'une manière générale, l'oued se forme par l'écoulement des eaux en suivant la pente naturelle, vers le point le plus bas et se confluent dans un cours d'eau dominant. L'espace géographique mené par ce cours d'eau capital et ses affluents forme le bassin versant. Ce

dernier regroupe des cours d'eau ordonnés en un réseau hydrographique et marqué par un assemblage indiquant leur intersection (Pastor et al., 2015). Les oueds sont utilisés pour la consommation humaine, l'abreuvement des animaux, l'irrigation des cultures et les usages industriels, etc.

Au Maroc, en 2016, le département du secrétariat d'État chargé de l'eau a déclaré que : « Les ressources naturelles en eau de notre pays sont parmi les plus faibles au monde ». Il a ajouté que le potentiel hydraulique des ressources en eau mobilisable est estimé à 22 milliards de m³ par an, soit l'équivalent de 700 m³ par habitant et par an (Benmalek & Lahrache, 2017). En effet, les eaux superficielles du pays représentent seules 16 milliards de m³ par an avec 20 % de cette réserve venant des bassins du Nord, et la majorité de ces eaux représentant 56 % est concentrée dans les bassins atlantiques du Nord et du centre, et le Sebou couvre près de 7 % du territoire national (Chaoua et al., 2018). Et comme l'indique l'étude de ce département ministériel de 2016 : cette situation est « communément admis comme seuil critique indiquant l'apparition de pénuries et de crise latente d'eau ».

Le Maroc bénéficie des rivières importantes, comme le Sebou, la Moulouya et l'Oum Er-Rbiaa...

À nos jours, plusieurs rapports et recherches confirment que ces ressources en eau deviennent de plus en plus vulnérables et sensibles, en raison de nombreux éléments : développement démographique, urbanisation accrue, ainsi que les impacts des changements climatiques et des activités industrielles, agricoles et touristiques (Marchane et al., 2017). Parmi les études qui ont traité ce fardeau, nous citons :

En 2015, Vera Tekken et al. ont évalué le risque du développement du secteur touristique au Nord du Maroc sur la forte utilisation de l'eau. Pour faire face à ce problème, ils ont appliqué l'analyse SWOT comme Support Politique pour une Gestion durable de l'Eau, basée sur la revue de la littérature comme support politique pour une gestion durable de l'eau (Tekken & Kropp, 2015) ;

En 2017, François Molle et al. ont travaillé sur la conversion du système d'irrigation par gravité en irrigation au goutte-à-goutte. Afin d'économiser 1 m³ d'eau par an. Et par conséquent participer à la conservation des ressources hydriques au Maroc (Molle & Tanouti, 2017).

Concernant **la ville de Fès**, constituant l'air de l'étude, elle se caractérise par une hydrologie basée principalement sur Oued Fès, allant d'Ouest en Est, à partir de ses sources à Ras El Ma jusqu'à Oued Sebou. La ville se situe au Nord-centre du Maroc, dans la région de Fès-

Meknès. Ses coordonnées géographiques sont : Longitude : 4° 59'O, Latitude : 34° 02'N et Altitude par rapport au niveau de la mer : 406 m (Derwich & Benaabidate, 2010).

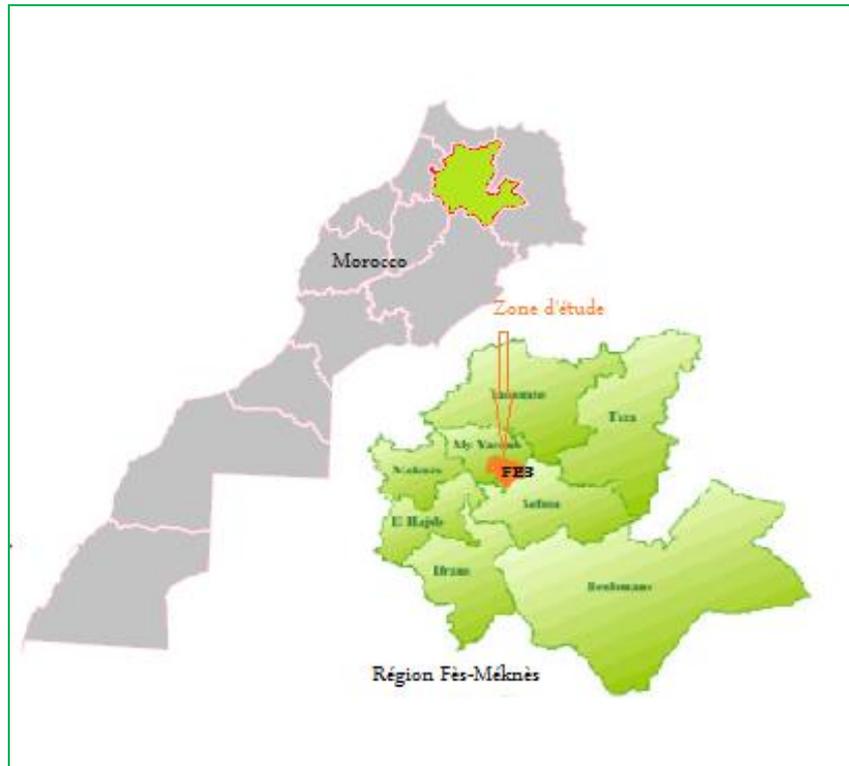


Figure 1. Situation de la ville de Fès dans la région Fès-Meknès

L'Oued Fès couvre une superficie totale d'environ 879 km². Il traverse la ville et l'ancienne Médina sur un tronçon de 24 km (Emmanuel, 2011). 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 et al., 2014). L'utilisation des terres est caractérisée par des oliveraies et pâturages extensifs, mais 10 % du bassin versant de l'Oued Fès est occupé par la ville de Fès. Ce bassin a un climat continental semi-aride, avec de faibles précipitations et des étés très chauds. La température moyenne annuelle est 17 °C (Perrin et al., 2018).

Nous pouvons différencier deux domaines de l'espace fluvial de l'Oued Fès :

- **Oued Fès amont** : de sa source jusqu'au palais royal, il représente un tronçon de 12 km (OREDD, 2014). Sa vallée est caractérisée par une pente très douce, dans laquelle affleure la nappe phréatique qui donne des zones marécageuses Merja, zone de plantation des cultures maraîchères urbaines localisée dans l'arrondissement : Zouagha bas, d'où ses coordonnées géographiques décimales sont 340 344, -50 434. L'Oued Fès amont reçoit les eaux de plusieurs affluents. Sa rive droite est alimentée en permanence par les eaux du bassin de l'Oued Chkou, notamment l'Oued Ain Chkef et Ain Smen. L'Oued El Himmer rejoint également la rive droite de l'Oued Fès amont ; bien qu'il soit le plus souvent sans débit

(écoulement saisonnier), il joue un rôle important dans l'alimentation de l'Oued Fès en période des pluies. La rive gauche, quant à elle, reçoit les torrents de Jbel Tghat , Lmhraz et Boufekrane (Joutey et al., 2011).

–**Oued Fès Aval** : à l'entrée de la médina, Oued El Mehraz et Boufekrane rejoignent l'Oued Fès et renforcent son débit en période de pluies. Au niveau de la médina, l'Oued Fès draine un canal dont la capacité d'évacuation oscille entre 50 et 80 m³/s (Kouchou et al., 2017). La figure 2 montre le réseau hydraulique de la ville de Fès.

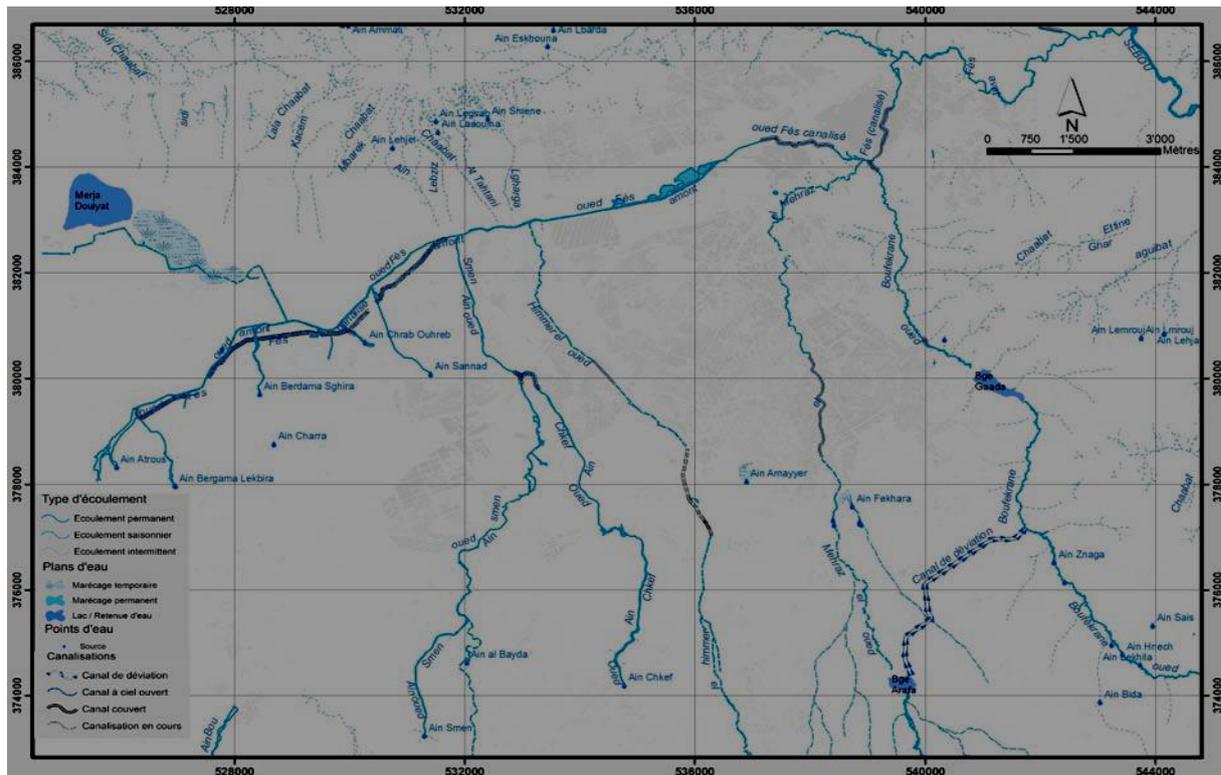


Figure 2. Réseau hydraulique de la ville de Fès (Emmanuel, 2011)

Cette figure nous montre aussi que l'Oued Fès aval, après son passage par la médina, il rejoint la vallée qu'il a tracée, en laissant plusieurs terrasses étagées pour déboucher à l'Oued Sebou.

L'Oued Sebou, l'une des plus grandes rivières Marocaines, 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 km² (Hayzoun et al., 2015), il joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable, en irrigation et en usage industriel, Ses coordonnées entre les parallèles sont 33 °30 - 34 ° 08N et entre les méridiens sont 4 ° 54 et 5 ° 09W (Perrin et al., 2014).

Par ailleurs, ces dernières années la ville de Fès connaissait des périodes de pénurie et de sécheresse, parmi lesquelles on cite une manifestation d'un groupe des citoyens de la Zone

Ain Chkef en Août 2017 qui reflète un des problèmes du manque et de la mauvaise gestion de l'eau, comme l'indique la photo ci-dessous.

Dans le même contexte, en 2017, Hour Rida Hajji et al. ont réalisé une étude sur la caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux de source et des puits près de la ville de Fès. Ils ont trouvé que les villageois de cette zone utilisent ces eaux pour la consommation à cause de non-disponibilité des eaux potables. Ils ont aussi signalé que la qualité physicochimique de ces eaux répond aux normes en vigueur. Par contre, la majorité des paramètres bactériologiques dépassent largement les normes de portabilité de l'eau ; la chose qui menace la santé de ces gens (Rida et al., 2017).

Ce constat nous montre qu'il faut donner plus d'intérêt aux eaux des oueds ; afin de les préserver de toute sorte de pollution qui peut toucher leur qualité et aggraver leur non-disponibilité. Étant donné que, les problèmes liés à la gestion de l'eau se sont aggravés avec la croissance de la population mondiale. Il n'y avait pas de souci environnemental lorsque la population humaine était encore rare et dispersée. Les ressources se trouvaient près des établissements humains et ces derniers ne causaient presque aucun impact environnemental. Avec le développement des centres urbains, le besoin en eau s'est accru et a révélé les limites des ressources en eau et la nécessité de les gérer. Les activités consommant la majorité de l'eau sont l'agriculture, les industries et le secteur des services. Cependant, cela varie d'une région/pays sur l'autre en fonction du niveau de développement et du type d'économie.

À cet effet, nous donnons par la suite une brève vision sur la composition et l'impact des caractéristiques physicochimiques et espèces majeures des eaux superficielles de ruissellement liées aux principales sources de pollution, ainsi que celles d'Oued Fès et Sebou.

III. Propriétés physico-chimiques et éléments majeurs et de traces métalliques d'une rivière

III.1. Propriétés physico-chimiques

Les rivières sont des structurations animées dont le mécanisme et la composition reflètent la transaction avec les situations climatiques, géologiques et anthropiques dominant dans le bassin versant. Les paramètres physico-chimiques sont parmi les facteurs importants qui ordonnent le déroulement des systèmes fluviaux et la démarche de la biodiversité aquatique et impact la manifestation et la transformation des contaminants dans les cours d'eau. Dans la circonstance, la qualité physico-chimique d'une rivière peut être caractérisée depuis des valeurs de nombreux paramètres, à savoir :

La température T affecte les réactions chimiques et biochimiques et la solubilité des gaz dans l'eau. Par conséquent, une forte odeur désagréable provenant de l'eau peut refléter la libération de gaz dissous à haute température (Choo-In et al., 2015). L'eau plus froide dans un cours d'eau est généralement considérée comme plus saine que l'eau plus chaude. Elle se rapporte à des changements journaliers ou saisonniers toutefois des rejets anthropiques (Wang et al., 2016).

Le Potentiel d'hydrogène pH maintient l'équilibre de considérables paramètres physico-chimiques et bactériologiques. En désignant l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Il est influencé par les activités acides, les phénomènes biologiques et les effluents industriels (Sadid et al., 2017). La plupart des eaux impactées par les activités des tanneries sont caractérisées par des pH parfois basiques et parfois acides (Tamersit et al., 2018). Ainsi, il a été montré que la minéralisation de la matière organique provoque une chute du pH (Park et al., 2015).

L'oxygène OD dissous dans les oueds provient principalement de l'atmosphère et de la photosynthèse (Mhamdi et al., 2016). Par ailleurs, le processus d'eutrophisation, les éjections de provenance anthropique ou décomposition des déchets organiques par les microorganismes provoquent l'épuisement de l'oxygène dans les cours d'eau et par conséquent une mauvaise odeur (Holdt & Eckardt, 2018). Un affluent avec une concentration d'oxygène dissous [OD] < 2 mg L⁻¹, est couramment éprouvé comme étant en état d'hypoxie alors que sa déficience convient à des phénomènes d'anoxiques (Long et al., 2016).

La turbidité TU indique la diminution de la clarté d'une eau due à la présence de matières en suspension (MES) non dissoutes résultant du lessivage de terrains agricoles (Epelde et al., 2015), de l'érosion, des rejets urbains ou industriels (branche textile, papeterie, ou agroalimentaire) cependant également de la dégradation de la matière organique d'origine animale ou végétale. Des concentrations très élevées en matières en suspension sont habituellement remarquées durant les périodes pluvieuses (Tanner & Hughes, 2015).

La conductivité CE exhibe la capacité d'une eau à conduire un courant électrique et procède de sa concentration en ions existants. La majorité des eaux brutes sont caractérisées par une conductivité conçue entre 10 et 1000 µS cm⁻¹ (Ayaz et al., 2013), des valeurs étonnantes de la conductivité peuvent expliquer une contribution sérieuse des rejets industriels (Nagy et al., 2013).

III.2. Éléments majeurs et nutriments

L'eau des rivières se qualifie par sa composition ionique qui est l'impact d'un équilibre avec les caractéristiques lithologiques du bassin versant, les activités anthropiques, des contributions atmosphériques, des changements climatiques.

Les composants existants en grande partie dans les eaux naturelles, appelées éléments majeurs sont: NO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , Mg^{2+} , Si(OH)_4 , K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ ... (Vu et al., 2017). Elles désignent presque la totalité de la matière minérale dissoute (Zhang et al., 2017).

Les éléments nutritifs existent naturellement dans les cours d'eau, leur augmentation et influencée par les activités anthropiques (pluies, drainage des sols, activités agricoles, eaux usées...), surtout le phosphore et l'azote N (Newman et al., 2017). L'utilisation des engrais dans l'agriculture a été reconnue comme la principale source anthropique responsable de la teneur élevée en azote nitrique dans les eaux superficielles (Divya & Solomon, 2016), en fait, elles contiennent principalement de l'ion nitrate (NO_3^-), mais aussi de l'ammonium (NH_4), de l'ammoniac, de l'urée et des amines (Martijn et al., 2014). La contamination du système aquatique par les phosphates provient du rejet des eaux usées, contenant des détergents et par l'utilisation de pesticides et des engrais phosphatés notamment pendant les événements pluvieux (Papazova & Simeonova, 2013).

L'élévation des concentrations d'azote et du phosphore dans les rivières accroît la prolifération des algues aquatiques, des plantes et notamment les macrophytes (Hellar et al., 2013). Le développement de ces dernières produit un film en surface des eaux causant la diminution de la clarté de l'eau, stoppe la photosynthèse des plantes inférieures et décompose ainsi la biomasse phytoplanctonique, provoquant une chute critique de l'oxygène du milieu partant jusqu'à l'anoxie, ce qui se mène d'une perte de la biodiversité (Singh et al., 2017).

III.3. Éléments traces métalliques (ETM)

La désignation d'éléments traces métalliques ETM qui indique les métaux et métalloïdes est préférablement employée par les scientifiques à l'égard de celle de « métaux lourds », Mot défini conformément à la Convention de la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe CEE-ONU (UNECE, 1979). Les ETM à des faibles doses sont essentiels pour l'homme, or l'excès de tout métal ou métalloïde dans les colonnes d'eau présente des caractères toxiques (ex. Le nickel Ni, le zinc Zn, le cuivre Cu, le chrome III Cr^{3+}) (Sakelarieva & Varadinova, 2013). Par contre, d'autres éléments (ex. le mercure Hg, le cadmium Cd, le plomb Pb) sont nocifs, pour les êtres vivants en s'accumulant dans les os et dans les organes au fil du temps, voire à des très minimes quantités, ils ne présentent aucun

processus métabolique su (Hesse et al., 2015). Les ETM inversement aux polluants organiques, ils ne sont pas biodégradables dans les rivières (Marijić et al., 2016).

Le Cu à des minimes concentrations est essentiel à tous les organismes. Cependant, à des grandes doses il devient nuisible en réalisant des échanges spécialement avec les composants de la membrane plasmique cellulaires (enzymes, acides nucléiques, etc.) (Lu & Yu, 2018).

Le Ni procède de deux types de minerais : des minerais sulfurés, extrait des sous-sols et qui indique plus que la moitié de la production mondiale et des minerais silicatés fréquemment utilisés en surface. Les origines primordiales anthropiques sont l'incinération des ordures, la combustion de fuel ou de charbon, la fabrication des différents batteries et alliages, etc. (Abdel-Satar & Goher, 2017). Dans les cours d'eau, ce métal à fortes doses peut avoir des impacts d'empoisonnement sur les organismes (Goher et al., 2014). l'intoxication au Ni et ses dérivés chez l'homme impact essentiellement le système respiratoire et causent des démangeaisons et irritations au niveau de la gorge et du nez , et parfois voire des cancers des voies respiratoires (Cheng et al., 2012).

Le Zn est un métal naturellement répandu dans la Terre. Les contributions anthropiques de Zn proviennent surtout des amendements agricoles, applications industrielles et minières (Saleem & Shah, 2015). Dans les systèmes fluviaux et à pH >8 , ce métal existe en particulier sous la forme neutre $ZnCO_3$. Alors qu'à pH <8 le Zn se présente principalement sous la forme cationique Zn^{2+} . Par ailleurs, à un pH très acide le Zn peut se complexer avec les sulfates SO_4^- ou se précipiter ayant la forme de sels sulfatés (Bhuyan et al., 2017). Comme la plus par des ETM, le Zn à des importantes doses peut présenter des caractères toxiques aux organismes. Pour l'homme il peut provoquer un déséquilibre gastrique suivi des nausées et des vomissements et si ce métal est inséré à hauts degrés au cours d'une longue durée, il déclenchera des dégâts au pancréas et une anémie, etc. (Benson et al., 2017).

Le Cd existant dans les colonnes d'eau, et pour des pH ne dépassant pas 8, se trouve à l'état dissous sous forme de Cd^{2+} (Rahman & Singh, 2016). Il est très rare et il fait partie des contaminants métalliques les plus toxiques, venant principalement des activités anthropiques. Cet élément est surtout utilisé dans la couverture des aciers contre la corrosion, la fabrication des batteries, l'altération des engrais phosphatés, etc. Le Cd provoque des mutations et des déséquilibres métaboliques chez les poissons (Goher et al., 2014), tandis que pour l'homme et à des niveaux élevés, il cause des douleurs articulaires, des troubles dans le système urinaire, une dysfonction des reins et une anémie... (Ishak et al., 2016).

Concernant le Cr, il est faiblement présent dans la nature. Il se présente dans les systèmes fluviaux sous nombreuses formes d'oxydation commençantes de -2 à $+6$ cependant, à des concentrations remarquables uniquement les composés trivalents sont plus stables et existent surtout en milieu hypoxique ou très acide. L'excès en ce métal provient essentiellement des rejets des tanneries (Zhang et al., 2017), textiles, Fabrication de l'acier... (Baysal & Akman, 2018). Pour l'homme le Cr trivalent est un oligo-élément essentiel pour la régulation de la sécrétion de l'insuline pancréatique (Filippini et al., 2018), pourtant sa toxicité 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 (Yoshinaga et al., 2018).

Le Pb est naturellement existant dans les cours d'eau à des faibles doses. Notamment, à des concentrations remarquables, ce métal peut être issu de plusieurs effluents industriels comme le recouvrement des câbles, les déchets des véhicules, la peinture intérieure, les céramiques artisanales, les cosmétiques traditionnels, le sol des aires de jeu extérieures et le tabagisme... (Wang et al., 2017) et (Wang et al., 2014). Dans le cas d'une exposition persistée, la dangerosité du Pb s'engendre dans la possibilité de causer des difficultés chez la femme enceinte, d'apparaître des troubles au niveau du système gastro-intestinal, la stérilité, l'anémie, tardivetés de croissance chez l'enfant et des troubles neurologiques et par conséquent des omissions et trous de mémoire, etc.(Etchevers et al., 2017).

III.4. Caractéristiques microbiologiques

La contamination bactériologique des eaux naturelles est essentiellement causée par les eaux résiduaires lixiviation du fumier, eaux usées traitées qui contiennent des résidus de matières fécales, d'urine et de sang... Les organismes pathogènes les plus fréquents sont, entre autres, Salmonella, Escherichia coli... Ces pathogènes sont à l'origine de certaines maladies comme la fièvre typhoïde, la dysenterie, les hépatites virales épidémiques, le choléra, etc. (Kotchi et al., 2011). Ces maladies peuvent être transmises par les aliments ou par contact direct. Généralement, les coliformes fécaux (CFCIM) qui sont des bactéries anaérobies, Gram négatifs, non sporulés et en forme de bâtonnets (Zhang et al., 2015), sont considérés comme les meilleurs indicateurs pour l'évaluation de la pollution fécale et de la présence des agents pathogènes d'origine hydrique responsables d'épidémies, ainsi de virus et de parasites dans les effluents d'égout et les effluents industriels (Divya & Solomon, 2016). En outre, sur lesquelles repose la législation marocaine de contrôle de la qualité globale des eaux superficielles étant donné comme micro-organismes indicateurs de contamination fécale

(B.O, 2016) et qui établit la nécessité d'être vérifié dans l'eau superficielle des rivières. En détail, la raison du choix de cette bactérie du groupe coliforme fécaux comme indicateur de contamination hydrique s'est basée sur les éléments suivants:

- elle existe dans les excréments des animaux à sang chaud, y compris l'être humain;
- elle est aisément détectable et quantifiable par des outils simples et économiquement durables, sur n'importe quel type d'eau;
- sa concentration dans l'eau contaminée reflète une relation directe avec le degré de contamination fécale de cette dernière;
- elle a la période de survie la plus importante chez la flore intestinale, parce qu'elle est moins exigeante sur le niveau nutritionnel;
- elle est davantage résistante aux (agents tensioactifs savon, lessive...) et aux désinfectants.

Il est évident qu'à nos jours plusieurs facteurs ont eu pour impact d'accroître de façon colossale les déversements d'eaux usées dans les cours d'eau naturelle. Ces rejets ont plusieurs effets néfastes sur le maintien de l'équilibre des caractéristiques du milieu aquatique. Entre autres, causant en premier lieu un risque environnemental présentant : pollution esthétique, organoleptique, chimique, métallique et microbienne.

IV. Risques environnementaux liés à la pollution des eaux superficielles de ruissellement

Il existe deux facteurs primordiaux de la pollution d'un cours d'eau; directes et indirectes.

Les facteurs directs impliquent les rejets urbains, agricoles et industriels, les catastrophes naturelles, les fuites d'huile les difficultés de traitement d'eaux d'égout et toutes les sources qui nettement débarquent les polluants en les colonnes d'eau (Hasan et al., 2016).

Les facteurs indirects sont compliqués d'identifier, parce qu'ils ne peuvent pas être marqués à un emplacement distinctif. Ils incluent le ruissellement qui comporte engrais, sédiment, les pesticides et des excréments des champs (Krysanova & White, 2015), fermes, sites de construction. Les bouchages, les colmatages (Afroz et al., 2016) et les problèmes de maintenance et de contrôle des réseaux d'assainissement peuvent aussi être des causes indirectes de la pollution des eaux superficielles.

Le développement de l'humanité dans les divers secteurs est malheureusement mené d'une exploitation intensifiée des ressources en eau, causant un changement de leurs propriétés

physiques, chimiques et biologiques (Yan et al., 2018) en y évacuant des matières insolubles ou dissoutes, capables de troubler la stabilité d'un cours d'eau et rendre son eau insalubre et inexploitable (Baccar, 2013).

À l'échelle mondiale, en 2014, l'OMS a déclaré que la pollution des eaux de surface augmente rapidement, suite à leur dégradation causée par la limitation des ressources hydriques (OREDD, 2014). L'urbanisation et l'industrialisation rapide, l'expansion de l'industrie minière et l'utilisation massive de produits chimiques dans les secteurs agricoles menacent, la qualité de l'eau de nombreuses rivières.

Les sources de pollution de l'eau pourraient être plus élevées dans les systèmes fluviaux en raison du changement révolutionnaire des activités terrestres. De plus, la politique industrielle du gouvernement accroît la complexité de la gestion des ressources en eau. Ces politiques sont axées sur la croissance économique, comme la transformation de l'activité agricole intensive en industrie lourde (Nannou et al., 2015). Également, les changements dans les activités d'utilisation des terres telles que le développement résidentiel.

Tous ces facteurs et plusieurs d'autres affectent considérablement la qualité de l'eau dans de nombreuses rivières.

Au Maroc, depuis les vingt dernières années, en pleine transition économique, politique et sociale, la trajectoire de développement s'est traduite par des impacts sur l'environnement (Benmalek & Lahrache, 2017).

Selon le rapport de la pollution des eaux au Maroc (2016), 80 millions de m³ d'eaux usées sont rejetés dans les oueds avec un taux de dépollution qui ne dépasse pas 40 %, et que 70 % de la pollution provient des huileries, papeteries et sucreries (Benmalek & Lahrache, 2017). Le Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole Maroc (2017), a également signalé que les volumes d'eaux usées rejetés atteindront 900 Mm³ / an à l'horizon 2020. Tandis que les responsables de l'Agence du Bassin Hydraulique Sebou ABHS en 2016, ont estimé le coût annuel induit par la pollution, dépassant les 3,5 milliards de dirhams MMDH (Benmalek & Lahrache, 2017). En ce qui concerne la surexploitation des nappes, le déficit annuel a atteint 100 millions de m³ dans la nappe de Saiss, contre 37 millions de m³ dans la nappe du Gharb et 12 millions de m³ dans la nappe de Maâmora (Idrissi, 2016).

Plusieurs études sur l'identification des sources de contamination dans de nombreuses rivières ont été menées au cours de la dernière décennie, montrant que la qualité de l'eau s'est détériorée avec diverses activités anthropiques, nous citons les plus récentes :

En 2012, Oufline et al. ont évalué l'impact de trois sources de pollution lixiviats, eaux usées et activités minières sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux de surface et des

eaux souterraines dans la région Nord de Marrakech. Ils ont indiqué que ces eaux avaient une qualité dégradée dans la région, en outre l'exploitation de L'analyse en composantes principales ACP a montré que, dans la zone d'étude, les effets des eaux usées et de la mine étaient dominés par ceux de la décharge (Oufline et al., 2012).

En 2014, Ahmed Khalil et al. ont exploité les systèmes d'information géographique (Jha et al., Tsige), comme outil pour l'élaboration des cartes de distribution géographiques des polluants, afin d'évaluer la pollution des eaux de surfaces et souterraines par les mines sur un site minier de Kettara abandonné au Maroc. Ils ont prouvé que ces eaux sont contaminées surtout par les SO_4^- rejetés dans la nature (Khalil et al., 2014).

Par ailleurs, en 2018, Ahmed Barakat et al. ont travaillé sur l'évaluation physico-chimique et microbienne de la qualité de l'eau de source pour l'approvisionnement en eau du Piémont de l'Atlas de Béni-Mellal (Maroc). En utilisant les calculs de l'indice de la qualité globale de l'eau IQE, ils ont montré que la plupart sites étudiés sont d'une qualité moyenne à bonne à part la qualité microbiologique qui est médiocre (Barakat et al., 2018).

Parmi les industries recensées ayant un impact de pollution sur les cours d'eau au Maroc, nous indiquons les sucreries qui rejettent leurs eaux résiduelles à des températures variant entre 40 et 57 °C et très chargées en matières organiques. Vu que, usuellement la demande biologique en oxygène DBO_5 de l'effluent rejeté varie entre 0,2 et 6,3 kg DBO_5/t de betterave traitée et 0,57 à 2,07 kg DBO_5/t de canne traitée. En effet, les bassins du Sebou et de l'Oum Er-Rbia sont les bassins les plus touchés par cette pollution.

À ce problème, s'ajoute l'agriculture qui induit des pertes riches en nutriments et de micropolluants (par lessivage ou érosion des sols) ; ceci aboutit à des dégradations, souvent préoccupantes, de la qualité des eaux de surface. Certains pesticides se caractérisent par leurs spectres de toxicité très étendue, leur bioaccumulation et leur persistance dans les différents milieux naturels et les chaînes alimentaires (Zhang et al., 2018). Ces influences anthropiques provoquent aussi, des concentrations élevées des ETM, de Hg, de coliformes et de charges de nutriments.

Également, les cimetières génèrent une pollution diffuse constituée de matières organiques, d'azote, de phosphore et de calcium. Dans certaines conditions, ils constituent un risque non négligeable de contamination, voire de pollution des nappes souterraines et des cours d'eau situés à leur proximité. Les eaux usées générées en milieu rural sont estimées à environ 500 000 m^3 /j, elles sont évacuées directement dans la nature. Ce tracas est un vecteur important d'agents contagieux, notamment les bactéries, virus et protozoaires, qui peuvent

être transmis par contact direct avec des eaux contaminées ou des boues polluées ou indirectement par ingestion de cultures contaminées, la chose qui induit des véritables risques environnementaux voire sanitaires.

Quant à la pollution accidentelle, nous mentionnons que les inondations et les sécheresses entraînent des changements dans la qualité de l'eau par dilution ou concentration de substances dissoutes. Ex. en 2017, Mahmoud Zemzami et al. ont traité la dynamique temporelle des précipitations à des échelles de temps mensuelles, dans un climat semi-aride ; en utilisant les transformées de Fourier et d'ondelettes. Ils ont trouvé que la série chronologique des précipitations est affectée par les périodes des pluies intenses et des inondations, qui se produisent après de longues périodes de sécheresse au Maroc, et qui ont des effets néfastes sur la qualité des eaux (Zemzami & Elkadiri, 2017).

La ville de Fès, depuis plusieurs années a contribué avec un volume annuel d'eaux usées atteignant 57 millions de m³/an, représentant ainsi 40 % de la pollution du bassin de Sebou, les pertes annuelles attachées à cette pollution ont été estimées à plus de 1 MMDH (ABHSF, 2015). Notre pays, dans le cadre de la Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement SNPE (RADEEF, 2014), a concouru activement et positivement à la réduction de la pollution causée par le rejet de ces eaux usées brutes ; en fait de détourner la situation, en inaugurant une station d'épuration d'eaux usées en fin Novembre 2014 (Steffen et al., 2017).

La STEP est située à une dizaine de kilomètres de la ville de Fès, précisément à 10 km du quartier Ain Nokbi, dans la localité d'Ain Kansara (Province de Moulay Yacoub). Cette station est la première du genre dans l'Afrique du Nord, qui a la possibilité d'avoir des impacts positifs sur le moyen Sebou, la santé de la population, l'irrigation et l'abreuvement des animaux, etc.

a-Avant la mise en marche de la STEP

Les rejets domestiques liquides et les effluents industriels (ex. Tanneries, Dinanderies, Teinture, Poterie, etc.) de la ville de Fès, non traités et déversés directement dans le système aquatique, ont causé une pollution sévère d'Oued Fès et Sebou. (Ex. Plusieurs huileries traditionnelles maâsras) représentent le foyer de pollution le plus menaçant. Quand bien même que, la ville de Fès bénéficie d'une station d'évaporation naturelle des marges depuis l'an 1997, situé à proximité de la route des Oudayas, qui a pour but d'évaporer 50 % des marges du quartier industriel Dokkarat, la capacité de traitement de cette station est restée insuffisante pour prendre en considération la totalité de ces rejets (ABHSF, 2011). Étant donné qu'il s'agit d'une activité saisonnière Novembre-Décembre-Janvier souvent allant

jusqu'au Avril (Idrissi, 2017), et répartie sur la quasi-totalité du bassin avec des concentrations marquées même aux alentours de Fès : Taounate, Aïn Taoujdate,... Ces rejets ont impacté le bon fonctionnement du réseau d'assainissement public et ils ont causé plusieurs arrêts de fonctionnement des stations de production d'eau potable des endroits de Kariat Ba Mohammed et Mkansa, durant la campagne oléicole.

En effet, la majorité des études réalisées sur la qualité des eaux de surface de la ville de Fès, avant le fonctionnement de la STEP, ont décrit que : les rejets liquides de cette ville ont causé une détérioration de leur qualité. Parmi ces études nous citons :

Dès 2004, Koukal et al. ont indiqué que les points étudiés, existants à Oued Sebou au près de l'aval d'Oued Fès, proches des lieux les plus peuplées et les plus industrialisées de la ville de Fès, sont terriblement touchées par la pollution organique provoquant en conséquence la pollution métallique, particulièrement en chrome, et l'eutrophication (Koukal et al., 2004).

En 2006, Derwich et al. ont travaillé sur l'effet de la qualité des eaux de surfaces de la ville de Fès sur la qualité métallique des eaux souterraines proches. Ils ont trouvé des fortes concentrations en métaux lourds dans les sites situés près de l'Oued Fès et Sebou (Derwich et al., 2008). Pareil à cette année, Talouizte et al. ont indiqué que l'irrigation des cultures maraîchères par les eaux usées de la ville de Fès cause des fortes altérations microbiennes, engendrée surtout dans l'évolution des bactéries et parasites sur les feuilles des laitues (Talouizte et al., 2008).

En 2010 Essahale et al. ont réalisé des analyses chimiques et bactériologiques de l'eau de la rivière Binlamdoune de la médina de Fès. Ils ont révélé la présence d'éléments toxiques provenant des tanneries et d'autres activités industrielles et une forte présence et hétérogénéité significative des formes et des structures de micro-organismes (Essahale, 2010). Également, dans cette année Derwich et al. ont évalué la qualité physicochimique des sites existants dans le Sebou amont entre ses deux confluences respectives avec l'Oued Inaouène et l'Oued Fès. Ils ont indiqué que ces eaux sont généralement impactées négativement par les rejets liquides de la ville de Fès. Tandis que les puits situés à proximité de celui-ci montrent des concentrations élevées en éléments indicateurs de pollution (Derwich et al., 2010).

En 2011, Perrin et al. ont quantifié l'effet du manque de traitement des eaux usées sur la qualité des eaux de surface d'Oued Fès et Sebou, dans un contexte hydrologique semi-aride. Ils ont prouvé que les eaux de ces affluents à l'Est de la ville de Fès sont menacées par une pollution sévère dépassant les limites de la norme marocaine des eaux de surfaces, notamment l'azote total NTK, le phosphore total PT et le chrome (Perrin et al., 2014). Aussi dans cette année, Hayzoun et al. ont analysé les apports anthropiques de la zone urbaine de

Fès sur la géochimie de l'eau des rivières Sebou et Fès. Ils ont montré des niveaux élevés d'ions majeurs, de carbone organique et de métaux traces trouvées dans Oued Sebou et l'aval d'Oued Fès, en raison des rejets d'eaux usées urbaines et industrielles non traitées et extrêmement polluées (Hayzoun et al., 2015).

En 2012, Hayzoun et al. ont évalué la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de surface d'Oued Fès, et d'Oued Sebou à l'amont et à l'aval du confluent de ces deux oueds. Ils ont montré la présence des niveaux de pollution bactériologiques et chimiques supérieurs aux normes marocaines et aux seuils recommandés par l'OMS (Hayzoun, 2014). Dans la même année, El Ouali Lalami et al. ont prouvé la présence d'une propagation microbienne considérable et quasiment continue (Lalami, 2014).

Aussi qu'une pollution chimique grave pour l'ensemble des puits et sources hydriques de la ville, ayant comme provenance les rejets agricoles, industriels et domestiques (Lalami et al., 2014).

En 2014, Hayzoun Hanane et al. ont caractérisé et quantifié la charge polluante urbaine et industrielle du bassin versant Sebou et ses sédiments, à l'Est de la ville de Fès. Ils ont prouvé l'existence des métaux (Cd, Cu, Pb et Zn) dans la fraction totale des sédiments de l'Oued Fès participant à la contamination des eaux de ce fleuve (Hayzoun et al., 2014).

À ce propos, les travaux aussi réalisés et plusieurs d'autres ont déclenché l'alarme d'alerte concernant l'état dégradé de la qualité des eaux du Sebou et de Fès résultant du développement urbain agricole et industriel irrespectueux des exigences environnementales. Ce qui a sensibilisé les décideurs de trouver une issue de secours pour traiter les eaux usées rejetées.

b-Après la mise en marche de la STEP

la RADEEF garantit l'organisation du réseau d'assainissement liquide de la ville de Fès avec un taux de raccordement de 99 % représentant 2493 km de collecteurs et le fonctionnement de la station de prétraitement localisée à Zenjfour qui acquiert et prétraite actuellement 75 % des eaux usées de l'ancienne Medina de la ville de Fès (Griffiths et al., 2017). Les 25 % des eaux usées restantes issues de Sahrij Gnaoua, Jnanates, Ain Nokbi, sont saisies par l'intercepteur Jnanates-Ain Nokbi. Les eaux usées issues de cette ville sont acheminées vers la STEP qui a une capacité de 1,2 million Equivalent-Habitant par jour, avec un débit dépassant les 120 000 m³/j permettant un abattement de la pollution à hauteur de 85 %. L'eau épurée, après avoir séjourné de 8 à 12 heures, sort de la station et rejoint l'Oued Sebou (SDAU, 2017). Le reste, des eaux usées (estimées à 70 000 m³/j) sont déversées directement dans l'Oued de

Sebou (RADEEF, 2014). Ceci est dû à la grande charge qui ne peut pas être traitée par voie biologique (El Allaoui et al., 2017).

En 2016, le Ministère de l'Urbanisme et de l'Aménagement du Territoire MUAT a annoncé que la situation des eaux de surface est critique surtout pour Oued Sebou qui reçoit des substances polluantes de sources domestiques, agricoles et industrielles. Les eaux classées de bonne qualité ne dépassent pas 20 % (MUAT, 2016).

Malgré les efforts déployés par les responsables dans ce domaine, il reste un autre problème, qu'a cité El Alaoui et al. (2016) suite à l'évaluation de l'impact des activités artisanales dans la période de l'Aïd Adha sur les effluents de la ville de Fès, ils ont montré que la pollution dans les effluents de la ville de Fès est de type persistant.

Généralement, comme il a cité Omor et al. dans la même année, elle est causée par des rejets industriels et artisanaux surtout les tanneries qui évacuent leurs effluents chargés en sulfures sans aucun traitement (Omor et al., 2017). Autant El Alaoui et al. ont indiqué que ces rejets présentent des concentrations élevées en matière organique, cyanure CN^- , demande chimique en oxygène DCO, Azote total NTK et Cr III dépassant les normes exigées par la station et en conséquence ont de grands effets néfastes sur l'environnement aquatique et sur le traitement biologique, avec les boues activées, de la STEP. En outre en certaines périodes (ex. trituration des olives) les effluents des huileries chargés surtout en polyphénols causent des arrêts prolongés de la station du Novembre allant jusqu'au Mars (El Allaoui et al., 2017).

Tout rejet des eaux usées dans les eaux de surface ou effort de prétraitement ou valorisation des eaux usées doit suivre et répondre aux directives marocaines des rejets des eaux usées (B.O, 2013).

V. Contexte juridique marocain des eaux de surface

Dans le cadre de la préservation des ressources en eau, le Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Énergie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau au Maroc et réalisant le recueil des textes législatifs et réglementaires en vigueur régissant les ressources en eau, a établi en 2016 une nouvelle loi sur l'eau 36-15 (B.O, 2016), pour consolider l'ancienne loi sur l'eau 10-95 (MDCEau, 2015). Le même recueil ministériel (n° 1276-01 2002), définit et fixe les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation.

La nouvelle loi de l'arrêté (n° 1-16-113 du 10 Kaada 1437 5 octobre 2016), publiée au Bulletin officiel (BO) n° 6506 du 30 Kaada 1438, conjointe du ministre de l'équipement et du Ministre chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement a apporté plusieurs réformes reposant principalement sur :

- la propriété générale de l'eau ;
- le droit de tous les citoyens d'accéder à l'eau ;
- le droit à un environnement sain et la bonne gouvernance traduite par la participation ;
- la gestion décentralisée des ressources hydriques...

Concernant notre étude, l'article 54 de ce recueil déclare qu'il est interdit de:

1. jeter des eaux usées ou des déchets solides dans les oueds à sec, dans les puits, abreuvoirs et lavoirs publics, forages, canaux ou galeries de captage des eaux. Seule est admise l'évacuation des eaux résiduaires ou usées domestiques dans des puits filtrants précédés d'une fosse septique;

2. effectuer tout épandage ou enfouissement d'effluents et tout dépôt de déchets susceptibles de polluer par infiltration les eaux souterraines ou par ruissellement les eaux de surface.

Tandis que l'article 1, de ce recueil décrit la norme marocaine relative aux eaux de surface basée sur la grille de qualité simplifiée (Tableau. 1), et dans l'article 2 il est déclaré qu'elle est appliquée seulement sur les eaux de surface qui subissent une influence de pollution. Cette grille donne cinq classes de qualité déterminée chacune par un amas de valeurs seuils que les divers paramètres ne doivent pas déborder (SEEE, 2008)

Afin d'indiquer la qualité physicochimique et microbiologique, chaque classe est éclairée par une couleur distinctive :

- Classe de qualité excellente : bleue
- Classe de qualité bonne : verte
- Classe de qualité moyenne : jaune
- Classe de qualité mauvaise : rouge
- Classe de qualité très mauvaise : violette

Tableau 1. Grille d'évaluation selon la norme marocaine des eaux de surface (B.O, 2016)

Grille d'évaluation	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Paramètres	excellente	bonne	Moyenne	mauvaise	très mauvaise
Température °C	<20	20-25	25-30	30-35	>35
Ph	6.5-8.5	6.5-8.5	8.5-9.2	<6.5ou>9.2	<6.5ou>9.2
Oxygène dissous mgO ₂ .L ⁻¹	>7	7-5	5-3	3-1	<1
Conductivité µs.cm ⁻¹	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
Turbidité NTU	<15	35-70	35-70	70-100	>100
DCO mgO ₂ .L ⁻¹	<30	30-35	35-40	40-80	>80
DBO ₅ mgO ₂ .L ⁻¹	<3	3-5	5-10	10-25	>25
Chlorures Cl ⁻ mg.L ⁻¹	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
Sulfate mg.L ⁻¹	<100	100-200	200-250	250-400	>400
setartiN mg.L ⁻¹	≤10	10-25	25-50	>50	-
Ammonium mgNH ₄ .L ⁻¹	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
Phosphore total mg.L ⁻¹	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
Azote total mgN.L ⁻¹	≤1	1-2	2-3	>3	-
Cuivre mg.L ⁻¹	≤0,02	0,02-0,05	0,05-1	>1	-
Zinc mg.L ⁻¹	<0,5	0,5-1	1-5	>5	-
Cadmium mg.L ⁻¹	≤0,003	≤0,003	0,003-0,005	>0,005	-
Plomb mg.L ⁻¹	≤0,01	≤0,01	0,01-0,05	>0,05	-
Nickel mg.L ⁻¹	≤0,02	≤0,02	0,02-0,05	>0,05	-
Chrome mg.L ⁻¹	≤0,05	≤0,05	≤0,05	>0,05	-
Coliformes fécaux /100 ml	≤20	20-2000	2000-20.000	>20.000	-

Cette grille entre dans le cadre du système national d'évaluation de la qualité des eaux de surfaces. Elle est considérée comme un des indices de développement durable. Ainsi, le Maroc contribue à la préservation des ressources hydriques par plusieurs efforts et stratégies.

VI. Stratégie de la dépollution des eaux de surface nationale et locale

Au niveau national, le Maroc s'est engagé depuis longtemps dans la voie de la maîtrise de ses ressources en eau pour un développement durable, à travers :

- l'élaboration du Plan national de l'eau PNE par la secrétariat d'État chargé de l'eau du ministère délégué responsable de l'Eau à travers le prolongement des orientations de la Stratégie nationale de l'eau présentée au Souverain le 14 avril 2009 à Fès (MDCEAU, 2017) ;
- l'établissement de l'Initiative Nationale de Développement Humain (Lindh, 2016), de la Stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement (OREDD), la Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) et, de même que la Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement (SNPE), le 30 juillet 2009 (SNDD, 2015);
- l'élaboration de la Charte Environnementale Nationale globale et du développement durable, en application des orientations royales du Discours du Trône du 30 Juillet 2010 (FEM, 2016) ;
- la mise en œuvre du Plan National d'Assainissement Liquide (PNAL, prévu sur la période (2005-2020), pour objectifs de traiter 60 % des eaux usées collectées et un taux de raccordement de 80 % au réseau sanitaire en zones urbaines (CFCIM, 2014).
- La consolidation de l'ancienne loi sur l'eau 10-95 à la suite de la nouvelle loi 36-agrécée en Novembre 2015 par le Ministère chargé de l'Eau (B.O, 2016) ;
- La construction de 135 importants barrages s'élevant à une capacité dans les environs de 17 Milliards de m³ et de nombreux milliers de puits et de forages captant les eaux souterraines (MMEM, 2016) ;
- La désignation de la politique d'évolution durable qui s'accorde à la démarche mondiale afin de préserver la terre et réduire la pauvreté, tout en impliquant de nouveaux domaines tels que l'utilisation durable, le changement climatique, la protection des ressources naturelles et l'innovation dans le domaine de la recherche scientifique (CESE, 2016) ;
- la réalisation de l'Engagement climat n°3 qui vise à économiser l'équivalent de la consommation d'eau de 1.2 million d'habitants d'ici (Lydec, 2016). Et dans le cadre de la Conférence des parties COP 22, 2016, il y'avait manifestation du projet de Contrat de la nappe de Saïss comme outil d'adaptation aux changements climatiques et de gestion intégrée, incluante et durable des ressources en eau, d'un coût de 4,5 MMDH. Ce nouveau contrat a pour visée de stabiliser la balance de la nappe, l'arrangement des débits des sources, lacs, etc. ;

- la création de plus de 36 associations actives concernant l'environnement établissant des activités de sensibilisation à la société et portant des éducations à l'environnement (MMEM, 2016) ;

Avec ces efforts, le Maroc au moyen de 66 stations de traitement et environ 100 STEPS opérationnelles réparties dans presque la totalité du royaume, est passé d'un taux de traitement des eaux usées de 5% en 2000 à plus de 70% en 2016. Également, il se rapporte à assurer à l'horizon 2020, un taux de collecte des ordures ménagères en milieu urbain dépassant les 85% (ONEE, 2017).

Au niveau de la ville de Fès, les pouvoirs publics, (conscients de la gravité de la situation notamment celle des eaux d'Oued Fès et Sebou) ont porté nombreux projets afin d'améliorer la qualité de ces cours d'eau. Parmi les projets réalisés, nous citons :

- la mise en œuvre de la station d'évaporation naturelle des margines dans la commune rurale Oulad Jamaâ depuis l'an 1997, située à l'extérieur de la ville de Fès, afin de soulager les eaux de l'Oued Sebou des rejets des huileries. Elle est constituée de deux bassins de séchage, recouvrant une superficie de l'ordre de 14 000 m² qui correspond à une capacité de réception de 40 000 tonnes. Les deux bassins reçoivent seulement 30% des margines produites durant les campagnes oléicoles (ABHSF, 2011) et (Idrissi, 2016);
- le déclenchement de la politique de délocalisation des dinanderies de la Médina, dès les années 2000(Ouazzani, 2015), source de pollution nocive à travers le rejet des éléments toxiques, vers la zone industrielle d'Ain Nokbi ;
- la réalisation de la station de déchromatation au quartier industriel Dokkarat qui est opérationnelle depuis l'an 2003, sur un terrain de 700m². Or, à travers un collecteur de 3 km de longueur, une capacité de traitement 50 m³/J moyennant un débit d'environ 12 m³/J d'effluents chromés, elle réduit la pollution produite par les tanneries utilisatrices du chrome dans le traitement des peaux des animaux, avec un rendement supérieur à 90% (Omor et al., 2017) et (Griffiths et al., 2017);
- la mise en marche de la station de prétraitement ZENJFOUR en 2004, au quartier Sidi Boujida, quant à réduire les effluents et les grands rejets solides par action de dessablage et dégrillage et pour alimenter l'usine hydroélectrique de Fès gérée par Office National de l'Électricité ONEE (Alami, 2018);
- la publication des Valeurs Limites des Rejets Spécifiques (VLSR), en octobre 2013 au bulletin officiel (B.O, 2013);

- la mise en marche de la station d'épuration des eaux usées STEP de Fès en fin Novembre 2014 (RADEEF, 2014);
- la réalisation du nouveau décret de la nouvelle loi sur l'eau 36-15 n °. 6494-67-94 d'août 2016 au bulletin officiel (B.O, 2016);

Parmi les projets prévus d'achever dans l'avenir et visant à améliorer la situation des ressources en eau dans cette ville (SDAU, 2017), nous mentionnons :

- l'élimination des points noirs d'eau pluviale dans le réseau d'assainissement ;
- l'achèvement du collecteur Bab Siffer ;
- l'achèvement de la couverture des oueds égouts Médina ;
- la réhabilitation de la station de relevage Doukkarat ;
- l'étude d'actualisation du plan directeur d'assainissement liquide de Fès ;
- la réalisation du collecteur Oued Miyit ;
- le déplacement du collecteur Sidi Brahim ;
- l'exécution du grand intercepteur oued Fès.

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

De notre côté, nous nous intéressons, d'une part, au suivi spatio-temporel de la qualité des eaux de surface urbaines et périurbaines, et la détermination des différentes altérations physico-chimiques et bactériologiques et de la qualité globale via le Système d'évaluation de la qualité globale des Eaux superficielles de ruissellement, mentionné «SEQ-Eau»; et d'autre part, à la répartition géographique de la qualité globale des eaux étudiées par l'exploitation des outils SIG afin de pouvoir les représenter et les corrélérer spatialement et statistiquement avec l'incidence des maladies à transmission hydrique qui sont la fièvre typhoïde et les hépatites virales épidémiques .

La méthodologie de l'évaluation globale de la qualité d'une eau de surface est ôtée fondamentalement des lois marocaines élaborées par la Direction des Ressources et la Planification de l'Eau au Maroc (MDCEau, 2016), (SEEE, 2008), (B.O, 2016) et (Errochdi et al., 2012). Elle a le bénéfice de prendre en compte collectivement nombreux paramètres dans la détermination de la qualité globale de l'eau, et résumer un notable nombre de données complexes sur la qualité de l'eau en un message aisé à saisir par le grand public, incluant les non-experts ou les décideurs, et les spécialistes du domaine. Le SEQ-Eau spécifie si la qualité de l'eau est excellente, bonne, moyenne, mauvaise ou très mauvaise, en s'appuyant sur le calcul de l'Indice Pondéré de Qualité Globale IPQG pour chaque site d'eau (Ben-Daoud et al., 2011).

À nos jours, il existe un certain nombre d'indices de qualité de l'eau basés sur différents indicateurs et méthodes d'agrégation utilisés dans le monde entier, tels que l'indice de qualité de l'eau de la National Sanitation Foundation (NSFWQI) des États-Unis ; l'indice québécois la qualité de l'eau élaborée par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement CCMEWQI (Ewaid, 2016) et (Hussein et al., 2017), 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 & Karim, 2014).

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 Ziz-Rhéris au Maroc. En proposant un nouvel indice de qualité des eaux fluviales utilisant la logique floue. L'indice flou proposé dans cette étude, combine des seuils prescrits d'indicateurs de qualité extraits principalement des lois marocaine et canadienne de l'eau. Ils ont démontré l'applicabilité 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 montré que l'indice flou fournissait des classifications rigoureuses par rapport à l'indice conventionnel dans respectivement 41% et 33% des cas pour les deux bassins. Ces exceptions notées sont principalement dues aux grandes disparités entre les différents seuils de qualité dans les deux normes, en particulier pour les coliformes fécaux et le phosphore total (Mourhir et al., 2014).

Les tests statistiques ANOVA et Bravais-Pearson ont été aussi appliqués pour le couplage entre ces techniques qui nous a servi pour établir des corrélations entre les résultats environnementaux et sanitaires.

VIII. Gestion informatique et géographique des données

VIII.1. Système d'information géographique SIG

Ces dernières années, la croissance rapide de l'utilisation du système d'information géographique (Jha et al., 2015) et de la collecte de données par divers organismes a donné lieu à de gigantesques données hétérogènes disponibles aujourd'hui.

Puisque, chaque organisation, structure, institut ou ensemble de personnes, collecte, traite et apporte plusieurs données. Beaucoup de fois, l'assemblage organisé de ces données, mène à des importantes informations ; et apporte une valeur ajoutée par rapport à la donnée elle-même (Moumen, 2016).

Parmi ces informations produites, l'information spatiale qui pourrait être obtenue par l'utilisation de divers outils tels que : GPS, Satellites, capteurs, etc., et la multiplication de leurs applications (Google Earth, OpenStreet Map...) facilitent l'intégration des informations

spatiales au sein des organisations (Lapedra et al., 2012). Ce constat positif encourage la multiplication des bases de données selon les cas d'usage et la localisation. Ces bases de données compliquent les tâches d'identification et d'exploitation des informations très importantes quand elles ne sont pas coordonnées.

L'utilisation courante des outils SIG, consiste à transformer des données géocodées en cartes géographiques. Les SIG fournissent des résultats efficaces lorsqu'il s'agit de données spatiales (où) et de données thématiques (quoi), mais le concept de temps dans le SIG, également connu sous le nom de SIG temporel, est relativement nouveau, mais en croissance rapide.

En effet, le chapitre 10 du texte législatif de la nouvelle loi sur l'eau 36-15, a été dédié au "Système d'Information sur l'Eau", ce qui clarifie et approuve mieux l'emploi de ce système et la dépendance entre ses acteurs.

Ainsi, l'article 129 de cette loi sur l'eau 36-15, montre que les Agences des Bassins Hydrauliques ABHs sont chargées de réaliser un système d'information sur l'eau au niveau des bassins versants, et que l'administration centrale est tenue de l'incorporation de ces divers systèmes dans toutes les régions, pour l'implantation d'un système d'information sur l'eau au niveau national, et mettre à dispositions des informations et données utilitaire pour la population et les divers acteurs.

Les outils SIG sont devenus un élément inséparable dans l'évolution de l'objet avec tous les changements qui se produisent dans le monde réel. Les exemples d'applications SIG temporelles ne sont pas limités. Quelques exemples incluent: les systèmes de transport qui changent sur une période de temps principalement en raison de l'amélioration et de la construction; la qualité de l'air, de l'eau et des sédiments, les catastrophes naturelles, le changement climatique, la géographie médicale pour la surveillance des risques sanitaires ; et les modes d'utilisation des terres, où l'évolution des activités et des pratiques relatives aux besoins humains entraîne des changements constants dans la gestion des terres....

Dans notre cas nous avons établi une base de données concernant la qualité des eaux superficielles de ruissellement, qui pourrait être utilisée avec le logiciel SIG, de type QGIS 2.8 Open source.

De nombreux scientifiques ont utilisé les SIG dans leurs travaux, par exemple :

En 2015, Aouragh et al. ont évalué le potentiel de recharge des eaux souterraines des plateaux du Moyen Atlas au Maroc, à travers l'élaboration des cartes topographiques, des cartes thématiques et des images satellitaires en utilisant la logique floue, le SIG et la télédétection. Ils ont montré selon la carte du potentiel des eaux souterraines, qu'environ 8% de la zone d'étude a été classée très prometteuse pour la recharge des eaux souterraines, 31% comme

élevée, 28% comme modérée, 17% comme faible et 16% comme très faible potentiel (Aouragh et al., 2017). D'ailleurs, Mohammadi et al ont exploité les techniques SIG afin de réaliser une carte de thématique de localisation des zones dans le but d'identifier les tronçons des sites humides en correspondance des facteurs de risque et d'emporter une planification parfaite et maximale avec une méthode écosystémique (Mohammadi et al., 2014). Alors que, Alinejad et al. ont favorisé d'accomplir l'évaluation spatio-temporelle de la quantité des ETM (Ni, Hg et Pb...) dans les réseaux fluviaux destinés à l'alimentation en eau de boisson du Comté à Iran, moyennant les moyens SIG (Alinejad et al., 2016).

En outre, les méthodes statistiques liées aux outils SIG sont au fur et à mesure utilisées pour analyser la répartition géo-temporelle.

VIII.2. Tests statistiques

VIII.2.1. Analyse et utilisation des données

L'analyse statistique appuie la prise des décisions concernant les résultats empiriques obtenus, elle se repose sur plusieurs calculs afin de déduire le risque d'erreur attaché à l'incertitude des observations ou des résultats obtenus en vérifiant l'hypothèse maintenue statistiquement et concordante à une problématique donnée.

Ces tests ont pour objectifs de :

- Préciser et caractériser le cadre exigeant de ces études,
- Confirmer si les différences existantes sont critiques et marquantes, selon un seuil déterminé ou non (significatives ou non significatives).

D'une manière essentielle, deux hypothèses H0 et H1 doivent être tenues en opposition pour tout test d'hypothèse.

- L'hypothèse nulle, représentée par H0, 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, désignée par H1, 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.

Suivant l'enchaînement de grandeur de l'hypothèse critique proposée, le test sera éprouvé significatif, très significatif ou hautement significatif. Étant donné que :

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

$0.1\% < \alpha < 1\%$: Différence t très significatif, couramment figuré par (**)

0.01% < α < 0.1% : Différence hautement significative, souvent symbolisée par (***) (Belhadj, 2017).

Les tests statistiques habituels sont nombreux, à savoir : le Test de normalité est employé quant à déterminer si plusieurs données sont parfaitement formalisées par une répartition normale des données et afin d'estimer la probabilité concernant l'existence d'une variable incertaine sous-jacente à cette distribution normale (Bienvenu *et al.*, 2017).

La comparaison d'une moyenne « observée » avec une valeur « attendue » est réalisée à l'aide du Test de Student. Tandis que, le jugement de deux variances observées est réalisé selon le Test de Fisher (Cui *et al.*, 2017). Pendant que le Test du χ^2 , qui s'utilise principalement pour comparer deux distributions observées (Boujeleben *et al.*, 2017). Néanmoins, les tests d'Analyse de la variance (ANOVA), sont les tests les plus employés dans l'évaluation de la qualité physico-chimique, bactériologique et métallique des eaux.

VIII.2.2. Analyse de la variance ANOVA

L'analyse statistique est réalisée en utilisant l'analyse de variance (ANOVA), par exploitation du logiciel IBM- SPSS (Version 19, SPSS Inc.) et Microsoft Excel Software. Qui a pour but de comparer entre les sites de prélèvement et l'égalité des moyennes de chaque paramètre mesuré au cours de la durée de l'étude.

L'ANOVA consiste à comparer entre nombreuses moyennes étudiées selon un plan expérimental précis. Elle se base sur une dissociation de la variance en une portion « claire » variance intergroupes et une portion variance globale (intragroupe- variance résiduelle), probablement répartie selon une loi normale. Ce test est surtout très employé en sciences de l'eau.

En 2015, Tampo *et al.*, ont exécuté le traitement statistique par ANOVA, de la qualité physico-chimique des eaux de l'affluent de Zio (Togo), pour marquer l'influence des activités anthropiques sur la qualité de ces eaux (Tampo *et al.*, 2015). Alors que, EL Allaoui *et al.*, (2017) ont évalué le degré, la nature et le comportement de différents paramètres physico-chimiques des effluents des sites les plus pollués de la ville de Fès via le test statistique bivarié ANOVA, afin d'identifier l'existence de différences entre les différents sites étudiés et les différentes campagnes d'échantillonnage (El Allaoui *et al.*, 2017).

La détermination de la relation entre les différentes variables est réalisée à travers plusieurs méthodes statistiques, dans notre travail nous avons utilisé le test de Student afin d'explorer statistiquement l'évolution de la qualité des eaux dans l'espace et le temps, et le test de Pearson pour analyser la relation entre la distribution géospatiale de la qualité des eaux

superficielles des différents sites étudiés et celle des taux d'incidence des maladies à transmission hydrique renforcées par des représentations cartographique via les SIG.

VIII.2.3. Corrélation de Pearson

La corrélation statistique est accomplie en exploitant le test de Pearson, au moyen de maniement du logiciel IBM- SPSS (Version 19, SPSS Inc.) et Microsoft Excel Software. Ce test, contrairement à la régression simple, ne propose pas d'identifier une variable dépendante et une variable indépendante, en se basant sur une source commune, une distribution uniforme et des comportements similaires doivent être attribués aux variables corrélées dont Le coefficient calculé de corrélation de Pearson (r) donne une idée sur les relations possibles entre les variables étudiées. Il a pour but de déterminer l'absence ou la présence d'une relation linéaire significative entre les variables, afin d'évaluer la relation entre les variables de la qualité de l'eau et l'incidence des maladies à transmission hydrique.

Ce test est amplement employé dans les sciences de l'eau et les risques sanitaires, par exemple :

En 2017, Lui Buyun et al. ont analysé les associations des perturbateurs endocriniens environnementaux de bisphénol A (BPA), F (BPF) et S (BPS) et l'exposition à l'obésité chez les adultes américains, en déployant des corrélations de Pearson avec les poids des échantillons et la régression logistique pour estimer les odds ratios (OR) de l'obésité générale ou abdominale en fonction des concentrations urinaires en BPA, de BPF et de BPS. Ils ont prouvé que Les concentrations urinaires des trois bisphénols étaient significativement corrélées les unes avec les autres; les coefficients de corrélation de Pearson étaient de 0,27 entre BPA et BPF ($p < 0,0001$), 0,33 entre BPA et BPS ($p < 0,0001$) et 0,20 entre BPF et BPS ($p < 0,0001$). (Lui et al., 2017).

En 2016, Ahmed Barakat et al. ont évalué la variation spatiale et temporelle de la qualité de l'eau de la rivière Oum Er Rbia et son principal affluent, oued El Abid, par utilisation de méthodes statistiques multi variées y compris la corrélation de Pearson et l'analyse de la composante principale ACP. Ils ont montré des changements relativement spatiaux et saisonniers dans la qualité de l'eau de surface, qui sont des indicateurs de contamination par les pluies et les rejets d'eaux usées urbaines (Barakat et al., 2016).

Pendant la même année, Mahmoud Nacr et al. ont ausculté la relation entre les variations spatiales des propriétés physiques et chimiques d'un drain agricole près de la ville de Borg El-Arab, Alexandrie en Egypte, en utilisant le coefficient de corrélation de Pearson. Il ont prouvé que la salinité avait une forte corrélation avec le total des solides dissous (TDS)

($r = 0,999$, $p < 0,001$) et Cl^- ($r = 0,807$, $p = 0,016$), alors que, le pH est considérablement affectée par la température ($r = 0,674$, $p = 0,067$).

VIII. Conclusion

Suite à cette analyse synthétique des différentes réalisations à l'échelle internationale, marocaine et au niveau de la ville de Fès, il est évident que l'évaluation de la qualité et le suivi spatio-temporel des eaux superficielles les plus polluées de la ville de Fès sont d'une grande importance pour conquérir plus d'informations sur l'état actuel de ces eaux.

De même, l'étude bibliographique montre l'importance des moyens statistiques dans le domaine de l'évaluation de la qualité des eaux. Le SEQ-eau permet d'évaluer la qualité des eaux superficielles et de comparer leur évolution à travers le temps, surtout avant et après les efforts étatiques vis-à-vis la réduction de la pollution des eaux de surfaces de la ville de Fès. Le système d'information géographique SIG relie entre les résultats du suivi et l'emplacement géographique (Jha et al., 2014), ce qui sert d'avoir une cartographie visuelle facile. Les tests ANOVA renforcent et simplifie la prise des décisions statistiques sur la base des résultats expérimentaux. Alors que la corrélation via les SIG sert à identifier les éléments critiques et dominants, afin de vérifier si les mêmes zones polluées connaissent, par durées parallèles, des taux élevés d'incidence de la fièvre typhoïde et des hépatites virales épidémiques.

Pour cette raison, notre travail, consiste à évaluer l'impact de la qualité des eaux de surface sur la distribution spatio-temporelle de ces maladies. La méthodologie est décrite d'une manière détaillée, dans le chapitre qui se suit.

CHAPITRE 2 : METHODES D'ETUDE TECHNIQUES ET EXPERIMENTALES

I. Introduction

Le présent chapitre a pour objectif essentiel de décrire les différentes approches et techniques utilisées pour :

- la délimitation de la zone d'étude et la détermination des sites de prélèvement des échantillons d'eaux de surface étudiées ;
- la caractérisation des eaux de surface et le suivi spatio-temporel de leur qualité ;
- l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface étudiées par la méthode SEQ-Eau;
- la répartition géographique de la qualité globale des différents sites par l'exploitation des outils cartographiques SIG ;
- et enfin, le traitement statistique des différentes données.

Pour ce faire, nous avons commencé par une délimitation de la zone relative aux visées de cette étude.

II. Détermination de la zone d'étude

La détermination de la zone d'étude, qui renferme les eaux de surface existant dans la partie Nord-Est du bassin Fès-Sais, duquel Oued Fès et Sebou forment les principales artères, scrutées les plus menacées par les activités anthropiques et par conséquent les plus polluées a eu lieu à la suite de nombreuses réunions entre l'équipe de recherche du laboratoire LIEME, le laboratoire LERCSC et les responsables de la station d'épuration des eaux usées à la RADEEF. En outre, sur la base des résultats des travaux antérieurs décrivant l'état critique de la qualité de l'aval d'Oued Fès arrivant jusqu'au Sebou. Tous les travaux consultés dans le chapitre de la synthèse bibliographique ont confirmé que ces ruisseaux représentent la qualité la plus dégradée par rapport aux autres affluents de la ville.

De ce fait, nous avons ciblé les eaux de surface du Nord-Est de la ville de Fès, dans un premier temps, au niveau de la localité périurbaine Ain Alkansera nommée (zone A) et dans un deuxième temps, au niveau de la zone urbaine de la ville de Fès désignée (zone B).

Au niveau de la zone urbaine de la ville de Fès, nous avons effectué un diagnostic approfondi, sur les différents arrondissements et communes de la ville de Fès en concertation avec 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), la station de traitement des eaux usées STEP, l'Office National de l'Électricité ONEE, la Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Électricité de Fès RADEEF, etc.

La zone identifiée la plus touchée par les activités industrielles et anthropiques et à partir des données environnementales et sanitaires recensées est celle existante à l'arrondissement El Mérinide et appartenant à la zone urbaine B.

La démarche et les illustrations graphiques réalisées des différentes informations collectées : la situation actuelle du réseau d'assainissement, le nombre de populations pour chaque commune et arrondissement et enfin nombre et type des industries existantes) sont décrites d'une façon détaillée, dans le chapitre qui se suit (Chapitre III de la partie A).

-Zone A : localisée dans la commune rurale d'AL Kansara (province de Moulay Yacoub) (Figure. 3), à proximité de la STEP, des visites sur le terrain ont permis d'identifier le nombre de points d'eau et leur environnement proche sur l'ensemble du bassin versant de Sebou et Oued Fès et des rejets directs des eaux usées épurées de la STEP. Les échantillons d'eau ont été prélevés à divers endroits de la zone d'étude afin de qualifier et quantifier leur pollution.

-Zone B : cette zone renferme les affluent urbanistiques scrutés les plus pollués de la ville Fès, dont le choix s'est basé principalement sur l'emplacement géographique ; de sorte d'impliquer le maximum des divergents apports anthropiques (industries, agglomération populaire, agriculture et rejets des ordures...). Ceci d'une part, et d'autre part selon la répartition spatiale des différents arrondissements afin de pouvoir corréler les données environnementales avec ceux épidémiologiques.

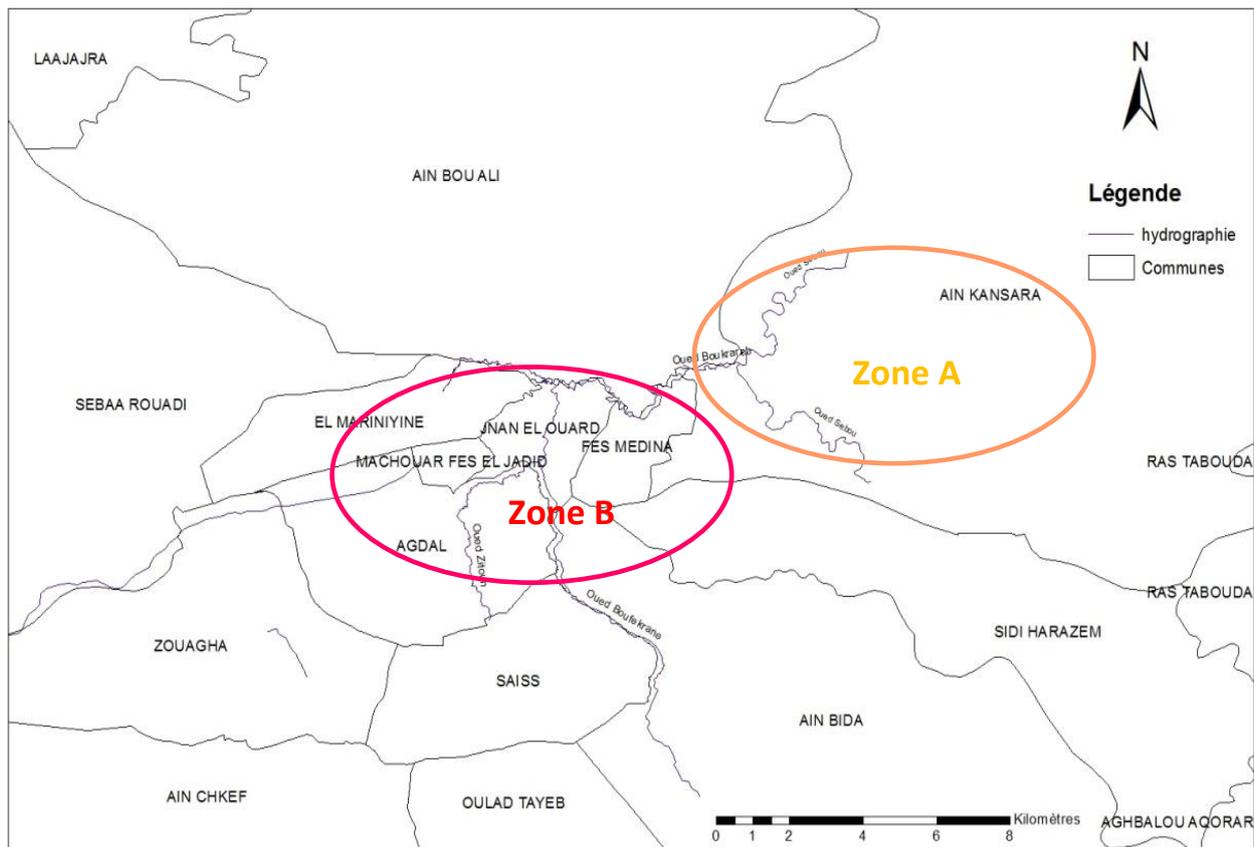


Figure 3. Représentation géographique des zones d'étude A et B

III. Méthode d'échantillonnage et d'analyse physico-chimique et bactériologique

III.1. Méthodologie d'échantillonnage

En vue de réaliser une évaluation spatio-temporelle de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de surface, dans la zone A périurbaine de la ville de Fès ; nous avons procédé à un échantillonnage composite spatial et indépendant des stations que nous allons définir par le diagnostic. Cette technique consiste à mélanger des échantillons ponctuels prélevés en trois points ou plus répartis également sur la longueur de la zone à caractériser, des volumes d'eau égaux ou pondérés, que nous avons étudié selon le profil transversal du cours d'eau de la zone en question (Gay et al., 2006) (Dennis & Oullet, 2013). Ceci a été réalisé sur la base de l'Arrêté définissant la grille de qualité des eaux de surface (B.O, 2016) exigeant ainsi ce type d'échantillonnage. Les prélèvements ont été effectués dans des conditions hydrologiques stables une fois par saison (automne, hivernale, printanière et estivale), durant deux années 2015 et 2016 pour tous les sites d'échantillonnage.

Pour la Zone B, à cause de la charge polluante diversifiée venant des différentes activités anthropiques de la ville de Fès, nous avons pareillement réalisé un échantillonnage composite

spatial durant toute la période d'étude. Les prélèvements ont été effectués dans des conditions hydrologiques stables une fois par mois, dont un échantillon par station et ceci, à titre de onze campagnes mensuelles de prélèvement d'eau durant l'année 2017 (excepté le mois 8); dont nous avons commencé les trois premiers mois par une caractérisation de six sites d'échantillonnage du 17/01/2017 au 17/03/2017, après nous allons évalué mensuellement que le site qui va être identifié le plus pollué et le plus vulnérable aux maladies à transmission hydriques.

Au cours de la même année, nous nous sommes focalisés sur deux mois de la période de trituration des olives qui atteint le maximum surtout aux mois Novembre et Décembre (Idrissi, 2017), dont nous allons effectuer des prélèvements hebdomadaires pour le site qui va être identifié le plus pollué au niveau de la zone B.

III.2. Technique de prélèvement

Le prélèvement a été effectué manuellement en plongeant directement un récipient de 1 litre de volume (consistant à la température, la lumière, l'humidité et hermétique) dans l'eau, à environ 20 cm sous la surface de l'eau. Ce type de prélèvement consiste, pour les analyses physico-chimiques, à :

- rincer trois fois les bouteilles d'échantillonnage, avec l'eau de robinet, ensuite deux fois avec de l'eau purifiée et finalement trois fois avec de l'eau de rivière avant la collecte des échantillons ;
- sélectionner les points dépendant de la médiane, l'endroit où l'eau est parfaitement homogène avec une fluctuation raisonnable ;
- déterminer le type de l'échantillonnage, et prélever périodiquement dans des conditions climatiques stables ;
- mélanger bien les échantillons en agitant pour garantir l'homogénéité ;
- mettre tous les échantillons dans un réfrigérant à basse température (4 °C) pour le transporter au laboratoire à l'abri de la chaleur et de la lumière (Rodier et al., 2009).

III.3. Technique de conservation

Afin d'éviter toute altération des eaux ainsi prélevés, nous avons étiqueté les flacons en mentionnant la date de prélèvement, la station, le type d'échantillonnage, etc.

Juste après prélèvement, le pH, la température, la conductivité électrique et l'oxygène dissout ont été mesurés. Par la suite, nous avons réparti l'échantillon en plusieurs flacons et conservé les échantillons destinés à l'analyse des éléments azotés, par ajout de quelque gouttes d'acide

sulfurique concentré dans des flacons en polyéthylène de 500 ml. Or, les échantillons consacrés à la détermination des ETM (Cr, Cd, Pb,...) ont été fixés, dès le prélèvement, par addition d'acide nitrique concentré dans des flacons en polyéthylène de 250 ml, dont le pH ~ 1 pour les conserver jusqu'au jour de la réalisation des analyses chimiques. Tandis que les flacons en polyéthylène de 1 l ont été réservés pour les paramètres non fixés (Ben Abbou, 2013). Tous les flacons ont été étiquetés en mentionnant la date de prélèvement, la station, le type d'échantillonnage et le type d'analyse, puis mis dans un réfrigérant à 4°C pour les transporter au laboratoire.

La conservation et l'analyse des échantillons prélevés ont été pratiquées en respectant les normes AFNOR, édictées par Rodier (Rodier et al., 2009).

III.4. Description des techniques analytiques

III.4.1. Paramètres physicochimiques

Les paramètres physiques mesurés in situ du site de prélèvement d'eau ont été effectués à l'aide d'une mallette multi paramètres de terrain HI 98 194, dont la sonde est calibrée avant chaque campagne. Ils concernent la mesure du pH, de la température T, de la conductivité électrique CE et de l'oxygène dissous OD.

Les autres paramètres chimiques, à savoir la DCO, la DBO₅, le NTK et le PT, etc. ont été réalisés au niveau du laboratoire. Le tableau 2 rassemble toutes les techniques standardisées d'analyses employées. pendant ce travail selon les normes Afnor édictées par Rodier (Rodier et al., 2009).

Nous notons que les analyses des ETM ont été analysées par ICP-AES (Spectrométrie d'Émission Atomique Couplée à un Plasma Induit) au Centre de l'Innovation de l'université sidi Mohammed Ben Abdellah Fès.

Tableau 2. Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques (Rodier, 2009)

Paramètres physico-chimiques	Méthodes / Appareillages	Unité
pH	pH Type Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	
OD	Oxymètre Type Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	mg d'O ₂ .L ⁻¹
CE	Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	µs.cm ⁻²
T	Mallette multi sondes paramétriques HI 9829	°C
TU	Turbidimètre Type HACH-Modèle 2100P	NTU
DCO	DISTILLATEUR "PRO-NITRO M", "PRO-NITRO S" SEMI-AUTOMATIQUE ET "PRO-NITRO A" AUTOMATIQUE.	mg d'O ₂ .L ⁻¹
DBO ₅	Système Velp capteur de pression 6D gamme PV2000.	mg d'O ₂ .L ⁻¹
PT	Méthode spectrométrique UV- visible au molybdate d'ammonium indice de classement T 90-023.	mg.L ⁻¹
NTK	Distillateur Kjeldhal "PRO-NITRO A- Dosage de l'azote Kjeldhal 4002430 : méthode après minéralisation au sélénium indice de classement T90110.	mg.L ⁻¹
NO ₃ ⁻	Méthode spectrométrique UV- visible avec l'acide salicylate de sodium NFT 90-040.	mg.L ⁻¹
NH ₄ ⁺	Dosage par la méthode spectrométrique UV- visible automatique. Norme NF EN ISO 15587-2/NF EN ISO 11885.	mg.L ⁻¹
Analyse des métaux (Zn, Cu, Cr III, Ni, Pb, Cd)	NF 11 885, Analyse par Spectrométrie d'émission atomique ICP AES Ultima 2 – JobinYvon, après minéralisation dans l'eau régale.	mg. L ⁻¹

III.4.2. Paramètres bactériologiques

Les analyses bactériologiques ont été réalisées le même jour des prélèvements par dénombrement des bactéries indicatrices de la contamination fécale CF. Pour les deux zones A et B, nous avons réalisé des analyses sur les coliformes fécaux qui constituent un signe de la pollution bactérienne globale selon la grille de qualité marocaine globale des eaux de surfaces (B.O, 2016). Tandis que pour les salmonelles, elles ont été recherchées juste dans la zone B au niveau du site PK le plus pollué afin de corroborer l'impact de leur présence, dans cette zone, sur le taux de l'incidence de la fièvre typhoïde.

L'indicateur de comptage des bactéries de la contamination fécale CF est réalisé par la méthode du Nombre le Plus Probable NPP à plusieurs tubes de fermentation, en utilisant des tableaux statistiques spéciaux (Mac Crady) ;

Les échantillons d'eau utilisés pour les tests bactériologiques ont été prélevés conformément au protocole décrit ci-dessous.

- L'échantillonnage a été effectué à l'aide des flacons en verre borosilicaté soigneusement prénettoyés avec de l'eau distillée.
- Les flacons nettoyés et rincés ont ensuite été stérilisés dans une autoclave à 120 °C et mis sous pression à 120 kg / cm² pendant 30 minutes.

Toutes les analyses ont été répétées trois fois pour s'assurer de la fiabilité des résultats.

Pour la recherche des salmonelles, elle a été réalisée dans le Laboratoire Régional de Diagnostic épidémiologique et d'Hygiène du Milieu LRDEHM, Fès.

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

L'évaluation de la qualité des eaux s'est basée sur le Système d'Évaluation de la Qualité globale des Eaux superficielles, mentionné "SEQ-Eau". Cette méthode consiste à transformer, pour chacun des paramètres analysés, les concentrations mesurées sous la base des calculs mathématiques en Indice pondéré de Qualité globale IPQG et en Indice d'Altération IA, pour huit types d'altérations et pour chacun des sites d'eau (Ben-Daoud et al., 2011). Le SEQ-Eau spécifie si la qualité de l'eau est excellente, bonne, moyenne, mauvaise ou très mauvaise. Il se remporte en quatre stades.

Stade 1, consiste à définir des altérations au nombre de huit à partir des paramètres les plus recommandés (SEEE, 2008):

- 1-température des eaux ;
- 2-acidification traitée par le pH des eaux ;
- 3-matières organiques et oxydables composées de l'O₂ dissous, de la DBO₅, de la DCO et de NH₄⁺ ;
- 4-matière phosphorée caractérisée par le PT ;
- 5-nitrates déterminés par les NO₃⁻ ;
- 6-minéralisation qualifiée par la CE ;
- 7-particules en suspension déterminées par la turbidité ;
- 8-microorganismes définis par les CF.

Stade 2, est destiné à l'identification de L'IPpa par pondération, appuyée sur la distribution d'un poids fluctuant entre 0 et 100, aux divers paramètres physicochimiques et

bactériologiques analysés selon leur priorité dans la pollution de l'eau (Équation 1) (SEEE, 2008).

$$IP_{pa} = \left[\frac{I_s - I_i}{b_s - b_i} \right] \times (b_s - pa) S^2 = \frac{\sum (x_i - x)^2}{N} \quad \text{Équation 1}$$

Avec :

IP_{pa} : Indice pondéré du paramètre analysé ;

I_i : Indice inférieur ;

I_s : Indice supérieur ;

b_i : borne inférieure ;

b_s : borne supérieure ;

pa : paramètre analysé.

Stade 3, vise à calculer l'Indice pondéré pour chaque altération IP_a . Cet indice s'emporte en calculant seulement la moyenne des valeurs des indices pondérés des différents paramètres caractérisant ladite altération. En ce qui concerne les altérations qui sont évaluées par un seul paramètre, leur indice d'altération reste le même que celui de pondération, un exemple de calcul est schématisé dans la figure 4.

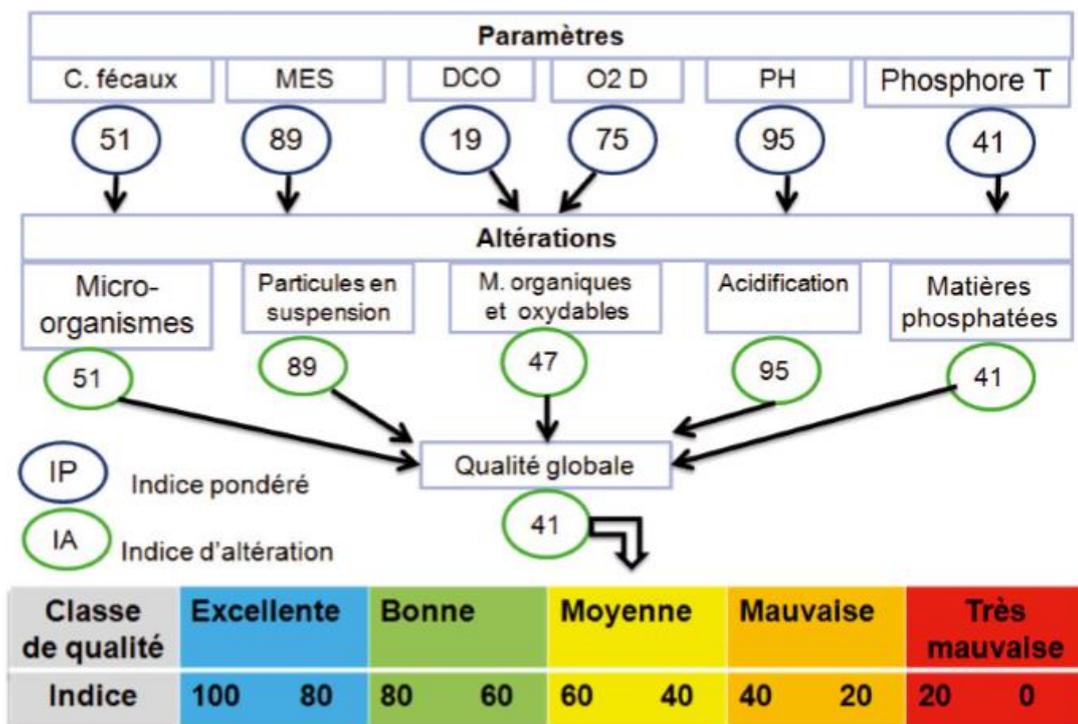


Figure 4. Méthodologie de l'identification de la qualité globale d'un site à partir du SEQ-eau et de valeurs mesurées (Ben-Daoud et al., 2011)

Stade 4, l'Indice pondéré de Qualité globale IPQG de chaque station d'eau échantillonnée est défini en choisissant l'indice d'altération le plus bas, obtenu sur l'ensemble des altérations considérées. Après, nous concordons à cet indice la classe de qualité convenable dans la grille d'évaluation de la qualité globale des eaux superficielles (Tableau. 3).

Tableau 3. Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface (MDCEau et al., 2015)

N° Altération	Classes de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
	Indices	100 80	80 60	60 40	40 20	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					
	O₂ dissout (mgO₂.L⁻¹)	7 - 10	5 - 7	5 - 3	3 - 1	<1
	DBO₅ (mgO₂.L⁻¹)	0,5 - 3	3 - 5	5 - 10	10 - 25	>25
	DCO (mgO₂.L⁻¹)	1,5 - 30	30 - 35 0	35 - 40	40 - 80	>80
	NH₄⁺ (mgNH₄.L⁻¹)	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 2	2 - 8	>8
4	Matières phosphorées					
	PT (mg.L⁻¹)	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
5	Nitrates					
	NO₃⁻ (mg.L⁻¹)	< 10	10 - 25	25 - 50	> 50	-
6	Minéralisation					
	CE 20 °C (µS/cm)	100 -750	750 -1300	1300 -2700	2700 -3000	3000 -7000
7	Matières en suspension					
	TU (NTU)	< 15	15 - 35	35 - 70	70 - 100	> 100
8	Microorganismes					
	CF/100mL	≤20	20-2000	2000-20.000	>20.000	-

Dans notre travail, avec la grande quantité de données mesurées, nous avons tenté d'avantager le système d'évaluation de la qualité des eaux, moyennant les outils SIG via un assemblage SIG-SEQ-eau. Ce couplage nous a facilité la saisie et le contrôle des données des résultats

d'analyses. Il nous a aussi permis d'avoir des représentations cartographiques spatio-temporelles claires précisant les différents classements de la dégradation de la qualité des eaux superficielles des différents sites étudiés.

V. Méthodes d'analyses informatiques

V.1. Système d'information géographique

La représentation des résultats de l'évaluation spatio-temporelle des eaux de surface sous forme des cartes thématiques par SIG, nous a permis de visualiser et répartir géographiquement les grands types d'altérations des eaux superficielles (acidification, matière organique et oxydable, microorganismes, etc.), ainsi que les taux d'incidences de la fièvre typhoïde et des hépatites virales sur un espace bien déterminé (sites de prélèvement).

L'utilisation des résultats obtenus et des données recensées demande une préparation. Leur saisie dans le système informatique nécessite une étude préliminaire pour les classer selon l'objectif de l'étude.

Cela a été effectué en rassemblement les coordonnées géographiques avec les différentes analyses dans un tableau Excel (les calculs concernent : les indices d'altération et de pondération, la densité populaire et les taux d'incidences). Ce tableau est transformé ensuite en fichier CSV lisible par le logiciel QGIS 2.8 afin de réaliser des cartes et avoir une distribution spatio-temporelle de la qualité des eaux analysées et une répartition de l'incidence des maladies à transmission hydrique étudiées.

Dans le domaine de SIG, on utilise plusieurs catégories de système de coordonnées pour localiser un point ou plusieurs points dans un espace. Dans cette étude, nous avons utilisé le GPS de l'application Google MAPS.

Dans le système cartésien, l'unité utilisée est le kilomètre (km) ou le mètre (m). Néanmoins, dans le domaine de système de coordonnées géographiques, c'est l'unité DMS (Degrés, Minute, Seconde) qui est utilisée. L'exploitation des 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 $34^{\circ}02'13''$ N et longitude $4^{\circ}59'59''$ O →

$[34 + (02/60) + (13/3600)]$, c'est : 34.0369 ; alors que la longitude vaut $[(4 + (59/60) + (59/3600)]$, c'est : -4.99972 en degré décimal.

Finally, the georeferenced data were superimposed on a cartographic background of Google Maps with the objective of producing thematic maps. These maps will be analyzed and interpreted in order to study the spatio-temporal evolution of water quality, as well as the spatial correlation between global water quality and hydric diseases in the prefecture of Fès.

V.2. Analyse de la variance (ANOVA)

To compare, among the alterations concerning each of the sites studied and the averages of each of the ensemble of variables used, we employed a test of analysis of variance with two factors of classification in a fixed model. This test consists of comparing the averages of several parameters from sample data (BenAli, 2015) (Equation 2)

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

Avec :

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

N : degré de liberté.

This test was performed with the help of the software (IBM — SPSS Version 19, SPSS Inc.), in order to make a comparison between the eight alterations of the evaluation of water quality variables (dependent or explained) with regard to the two elements : station and time variables (independent or explicative).

VI. Conclusion

In this chapter, we presented the experimental conditions and the different techniques followed to evaluate the spatio-temporal quality of surface waters in the North-East of the city of Fès.

Then we detailed the methodologies used for the evaluation of the quality by the Global Water Quality Index (SEQ-Eau), using the QGIS 2.8 and SPSS 19 software.

In the next chapter, we will give the results of the diagnostic realized for the collection of different information concerning this problem.

CHAPITRE 3 : ÉTAT DES LIEUX DES OUEDS PARCOURANT LA VILLE DE FÈS

I.Introduction

Pour clarifier davantage les problématiques rencontrées dans notre travail, ce chapitre décrit la méthodologie du diagnostic réalisé. Plusieurs acteurs ont été concertés, à citer : 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), la Station d'Épuration des eaux usées STEP, la Régie Autonome de distribution d'Eau et d'Électricité de Fès RADEEF, l'Office National d'Eau et d'Électricité ONEE, etc. Ceci dans le but de pouvoir décrire les différentes informations recensées, ayant un lien avec les facteurs en risque de l'évolution de la dégradation des eaux de surface à savoir la croissance démographique, l'état du réseau d'assainissement, le nombre et les types des industries et une description des zones utilisant les eaux des oueds dans l'irrigation. Dans ce chapitre, l'analyse de ces données recensées est réalisée selon les outils SIG.

II. Population

En s'étalant sur une superficie de 100 km², la préfecture de Fès compte parmi les grandes agglomérations du Maroc. À présent, elle abrite une population dépassant un million d'habitants. En effet, selon le Recensement général de la Population et de l'Habitat de 2014, elle a atteint 1,150 million d'habitants et actualisée, sur la base de traitement des données recensées auprès de la Délégation de la préfecture de Fès et de la Direction Régionale de la Santé (DRS), à 1,186 million habitants en 2016.

Le développement des habitants augmente le besoin en logement et cause l'implantation de plusieurs quartiers sous-équipés à la périphérie de la ville (Ex. SahrijGnaoua, Jenanates, ...). De même, il évolue différemment le peuplement. La répartition géographique de la population au niveau des différents arrondissements de la ville, pour l'année 2017 est représentée dans la figure 5.

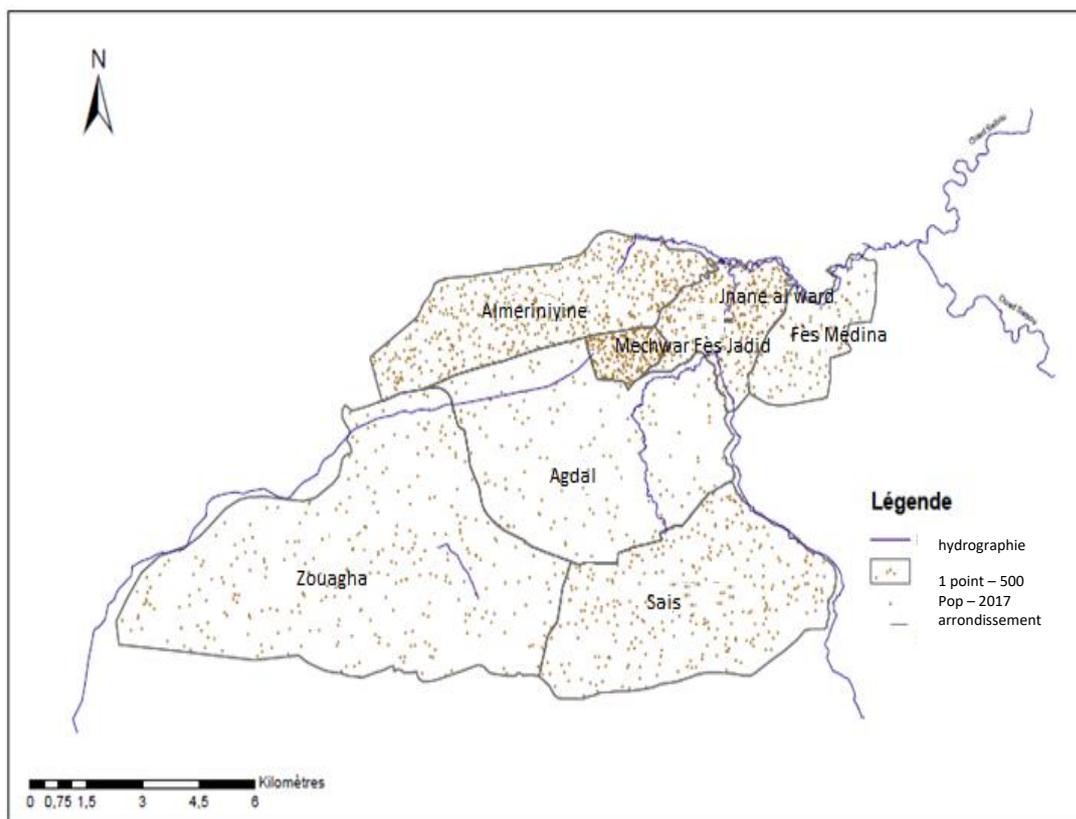


Figure 5. Répartition géographique de la population de la ville de Fès au niveau des différents arrondissements (2017)

Cette représentation nous montre que les arrondissements les plus peuplés sont surtout localisés au Nord-Est de la ville.

Outre l'accroissement de la population, la région de Fès a connu une élévation des activités artisanales, industrielles et agricoles.

III. Situation des industries existantes

L'ensemble des rejets venant d'un emploi de l'eau autre que domestique sont qualifiés des effluents industriels. Les activités industrielles sont consommatrices d'énormes quantité d'eau. Corollairement, ces eaux employées sont évacuées polluées, chargées en éléments chimiques, en éléments phytosanitaires, en ETM et surtout en composés minéraux, organiques et inorganiques, etc.. Si elles ne sont pas épurées dans une station de traitement, elles donneront lieu à une pollution physico-chimique et bactériologique des milieux hydriques et naturels.

Il est souvent suggéré que la distance qui fractionne les sites d'arrangement et de réutilisation nécessite d'être au minimum équivalent à 8 km (distance franchie en un jour d'écoulement à l'étiage par une rivière de plaine), précisément au moins d'auto-épuration (Rodier, Legube, & and Merlet, 2009).

La préfecture de Fès représente un pivot industriel essentiel rassemblant de nombreux secteurs. La fourchette marquée de la situation des unités industrielles montre le vieillissement des activités manufacturières dans la ville. Les primordiales industries installées dans Fès regroupent : l'agroalimentaire (boissons, huileries, levureries, conserveries...), tanneries, textile, dinanderies..., auxquelles se joignent les différentes activités artisanales (poterie, céramique, ferronnerie...). De même, la cartographie SIG est exploitée afin de répartir dans l'espace les données, recensés auprès du HCP de Fès, sur la majorité des industries qui sont définies comme problématiques, à cause de leur grande charge polluante (Figure. 6).

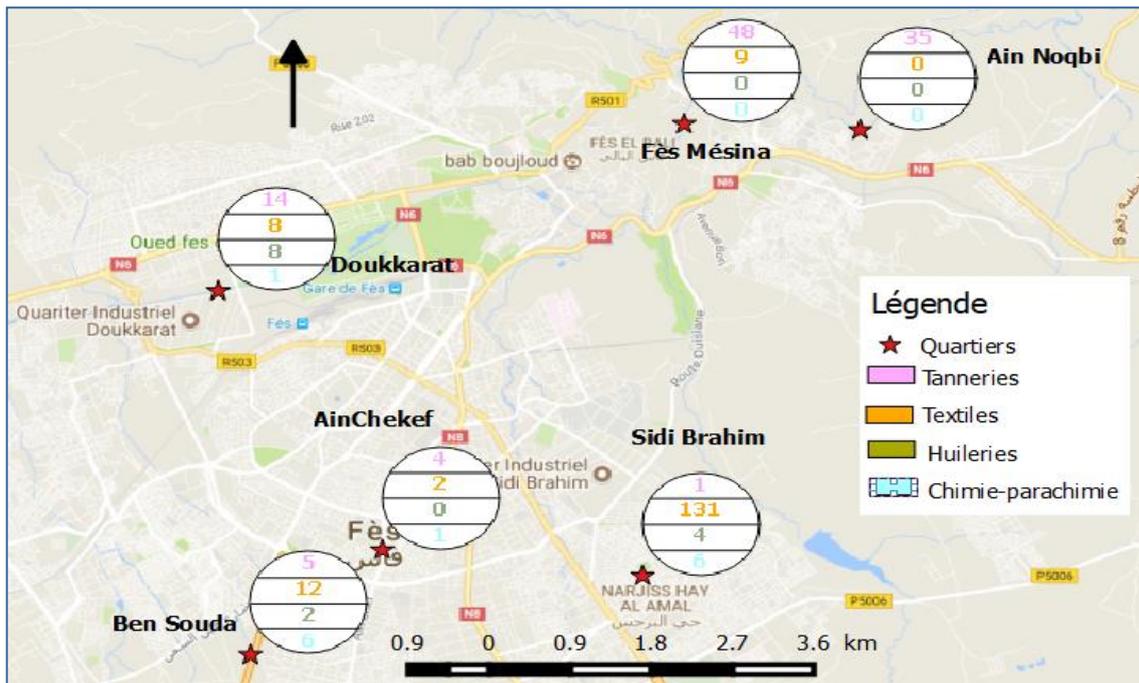


Figure 6. Répartition géospatiale des principales industries au niveau de la ville de Fès (2016), recensées auprès de la HCP

Cependant, les Tanneries : sont installées principalement dans trois quartiers industriels : Dokkarat, Ain Nokbi et Fès Médina. Leurs effluents sont chargés en produits dégradables (protéines, graisses) et espèces chimiques, principalement en chrome. Les eaux usées provenant des rejets des tanneries du quartier Ain Nokbi sont évacuées directement à l'Oued Sebou (EL ALLAOUÏ, 2018).

Concernant les dinanderies, une des activités artisanales répandues dans la médina de Fès et le quartier industriel Ain Nokbi, leurs rejets contiennent le chrome, le cuivre et les cyanure,...

Les Huileries provoquent une pollution organique provenant essentiellement des margines riches en polyphénols peu dégradables. Leurs rejets dans les ruisseaux emportent une chute de l'oxygène dissous, ce qui détruit totalement la faune et la flore aquatique.

Les Textiles sont également considérés comme des activités polluantes en raison de leurs effluents toxiques contenant des tensioactifs, des colorants, des métaux et divers polluants organiques.

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

IV. État des lieux des réseaux d'assainissement liquide

La ville de Fès adopte un réseau d'assainissement liquide de type unitaire conçu selon le mode d'évolution de la ville, notamment ancien à l'interne de la Médina. Il est constitué de 2050 kms de collecteurs de différents diamètres et matériaux allant de 300 à 1600 mm, néanmoins, toutes les extensions de réseau sont réalisées en pseudo-séparatif, de sorte que les eaux de ruissellement des voiries soient directement véhiculées vers les oueds traversant la ville.

Avant la mise en marche de la STEP, les eaux usées (domestiques, industrielles et pluviales) étaient évacuées directement à l'Est de la ville dans l'Oued Boukhareb (Figure. 7).



Figure 7. Rejet direct des eaux usées dans l'oued Boukhareb avant la plantation de la STEP (AMARTI, 2013)

Actuellement, toutes les eaux usées de la ville convergent à l'aide du collecteur d'extension pour être pompées de l'amont de la ville à l'aide de la station de pompage, vers la localité Ain Nokbi où se trouve la STEP (Figure. 8). Les observations sur le terrain; nous ont permis de déterminer qu'après le traitement des eaux usées par la STEP, les eaux usées épurées sont

déversées dans l'Oued Tghat avant la jonction Sebou-Fès. De ce fait, L'exutoire final de l'ensemble de ces eaux usées épurées est l'Oued Sebou, en aval du confluent Sebou-Fès.

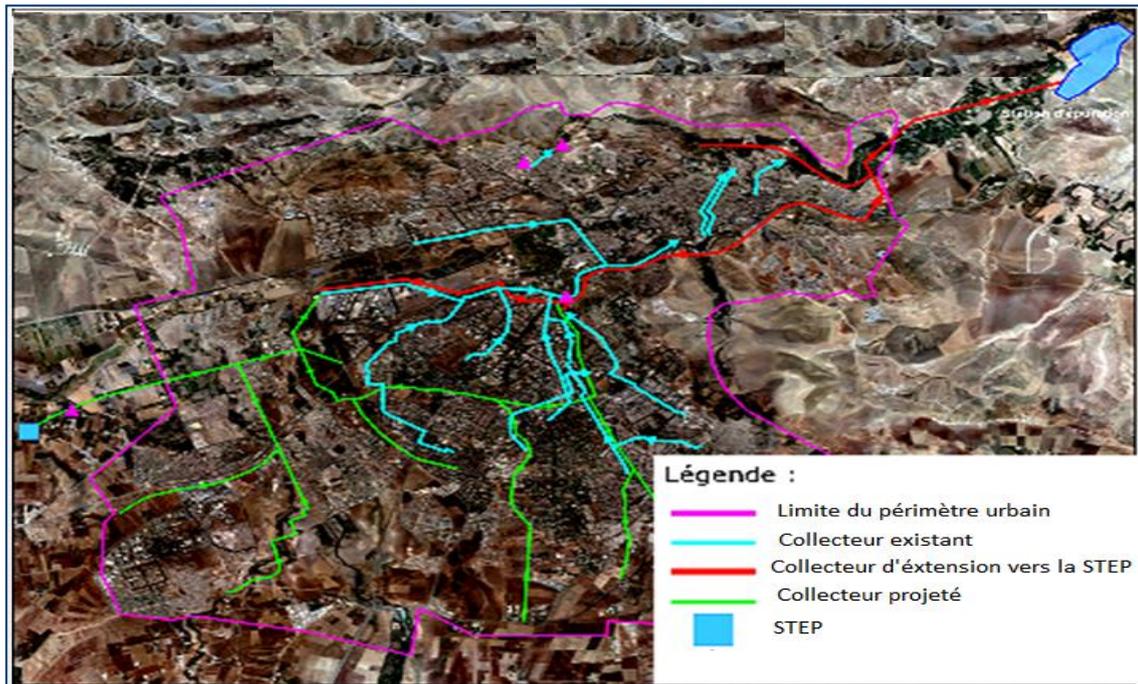


Figure 8. Réseau principal d'assainissement liquide de la ville de Fès, extension vers la STEP (ASUF)

Ce réseau est structuré en quatorze bassins versants urbains où les eaux usées et pluviales sont acheminées vers l'Est-Nord de la ville (écoulement qui est favorisé par la topographie de la ville). Ces bassins sont : (bassin Massira, wifaq, Sidi Brahim, SehrijGunawa, Nord, Ouest, Sud, Jnanat, Villa, Myit, My Abdellah, Sifer, grand Intercepteur, et Boufkrane). Quelques collecteurs d'eaux usées existants déversent dans les oueds qui traversent la ville et dont certains sont devenus des égouts à ciel ouvert (EL ALLAOUI, 2018).

Les accès faciles et directs aux cours d'eau favorisent leur utilisation comme des points d'éjection des ordures et autres déchets causant des odeurs nauséabondes, des débordements des eaux usées et la prolifération des insectes et rongeurs. Le secteur de l'assainissement liquide de la ville de Fès a connu une évolution importante ces deux dernières décennies, avec la prise en charge de sa gestion par la RADEEF. Des travaux considérables ont été réalisés aussi bien pour la réhabilitation des collecteurs existants que pour le renforcement et l'extension des réseaux de collecte.

V. Terres agricoles irriguées par les eaux usées

En plus des activités industrielles, la ville de Fès est caractérisée par l'existence des terres agricoles vastes et fertiles existant même dans ALkansara. Parmi les zones agricoles au niveau de la ville de Fès, nous citons : Bensouda, Zouagha, Ras EL MA... Ces zones sont

favorables à toutes sortes de cultures, notamment les céréales et les légumineuses. Généralement c'est autour des eaux polluées des cours d'eau que les sites de maraîchage sont créés par des populations pauvres des zones périurbaines et /ou immigrantes des campagnes. La pratique de l'utilisation de toutes sortes d'eaux usées (eaux usées urbaines ou industrielles) s'y opère de manière non planifiée et non contrôlée dans les activités d'agriculture urbaine et périurbaine, incluant l'arrosage des légumes consommables à l'état cru (la salade en particulier), tout en ignorant les normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation. Les localités Zouagha et Fès Médina (constituant au moins les deux tiers de la population) consomment massivement les produits de ces secteurs (Lalami et al., 2014). La figure 9 nous montre une photo de la zone El Merja.



Figure 3. Zone agricole El Merja au niveau de la ville de Fès

Les cultures issues de ces champs sont vendues dans le marché El Merja. D'après l'image satellitaire, cet endroit est localisé entre Oued Himmer et Oued El Mahraz constituant ainsi un convergent entre le quartier Doukaratt et le district Ain kadous.

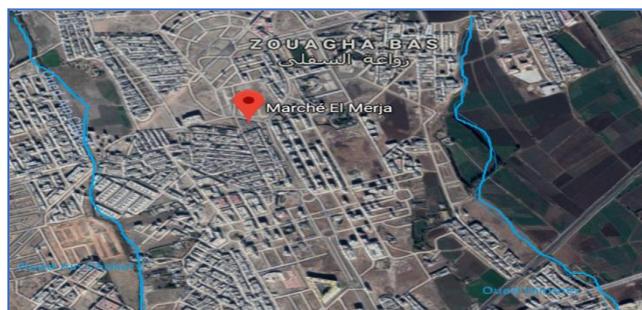


Figure 10. Localisation de la zone Al Merja au niveau de Fès

Concernant l'aval d'Oued Fès rejoignant Oued Sebou, d'après les visites des lieux et la littérature (Françoise et al., 2014), les terres agricoles irriguées par les eaux de ces cours d'eau sont localisées à la zone rurale Al Kansara et sont représentées dans la figure 11.

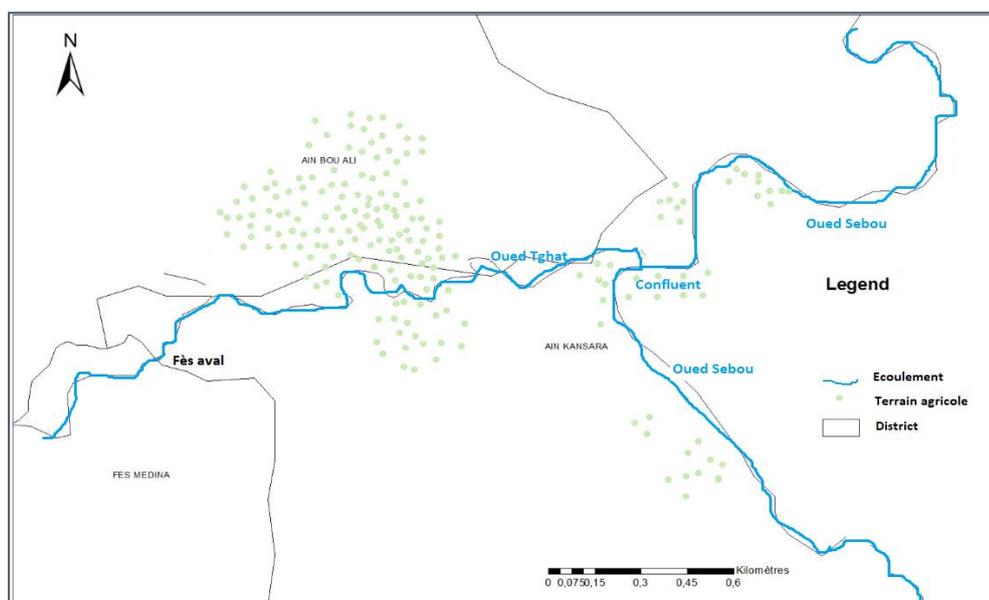


Figure 11. Localisation des zones irriguées par les oueds Fès et Sebou

VI. Étude de terrain

Les eaux des cours d'eau, étant à ciel ouvert, parcourent des quartiers urbains ou périurbains. Au moment de leurs écoulements, les citadins et les riverains l'emploient pour différents usages, mais principalement pour l'irrigation des cultures maraîchères et céréalières. Pour cela, afin d'avoir une idée sur les différentes utilisations des eaux brutes à 10 km de la ville, une concertation de quelques riverains aux alentours des sites étudiés a été effectuée (Tableau. 4).

N.B. La zone rurale Al Kansara est peu résidée, pour cette raison nous n'avons pu concerter que quelques paysans.

D'après les observations sur le terrain durant les campagnes de notre étude, et d'après les réponses de ces quelques riverains, concernant la zone A, les eaux des oueds s'utilisent dans plusieurs usages, concernant toute sorte de culture de légumes ou maraîchères (Ex. laitues, épinards, persils, herbes aromatiques, piments, carottes, poivrons, pastèques, etc.), ou de petits fruits cultivés proche de la terre (Ex. tomates cerises, ...). La chose qui peut causer des effets néfastes sur la qualité des cultures et sur la santé de la main d'œuvre, lors de la manipulation et a priori sur la santé des gens consommant les aliments crus.

Tableau 4. Résultats des Concertations avec quelques riverains de la zone rurale ALkansara

Exploitants	Assolement et élevage	Technique d'irrigation et pratique d'élevage	Usage de l'eau	Impact sur les cultures et l'élevage	Impact sur la santé
1	blé, pastèque, melons	Irrigation par les eaux de l'Oued	abreuvement des animaux et irrigation	melons et pastèques de faible saveur	Ses enfants âgés moins de 12 ans ont souffert de diarrhées et de vomissement. Ils ont été soignés au Centre de Santé Omar IDRISSE à Fès.
2	Céréales, Fèves, aubergine, tomates et quelques vaches	Pas d'utilisation de l'Oued	Aucun usage de l'Oued et utilisation de l'eau du puits pour l'abreuvement des animaux	Bon rendement	Il considère que l'eau de l'oued est d'une qualité dégradée et ne convient pas à l'irrigation
3	Fève, tomate Menthe, artichaut piments, pommes de terre	Irrigation par les eaux de l'Oued	Abreuvement du troupeau, irrigation, lessive et usage domestiques	Apparition d'un jaunissement au niveau des tomates Le Fève n'atteint pas sa bonne maturation	Observation des problèmes de peaux sur les mains (irritation, allergie) constatation des maladies au niveau de leurs bétails, mais ne peuvent se prononcer sur les causes. leur bétails sont suivi par un infirmier vétérinaire.
4	Bétail, maraîchage et fourrage	Aucune utilisation des eaux de l'Oued	Utilisation de l'eau de puits	Il révèle que les eaux de l'Oued sont de mauvaise qualité en été	Ils considèrent que les eaux de l'Oued sont de mauvaise qualité en été, et elles causent l'insuffisance rénale et des kystes
5	blé, Haricot	Irrigation par les eaux de l'Oued	Aucun problème	Les eaux de l'oued sont riches de nutriments	Aucune déclaration

Pour la zone B ces eaux s'utilisent parfois pour le lavage des voitures, arrosage du terrain Golf, la baignade, la vaisselle lors des piqueniques, l'abreuvement des animaux, etc.). Ceci menace négativement la santé humaine.

VII. Détermination et description des sites de prélèvement

Après la synthèse des informations et données par les différents acteurs et d'après la littérature bibliographique, nous avons réalisé, dans un premier temps, une évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux de surface d'Oued Fès aval; rejoignant Oued Sebou dans la zone rurale Al Kansara: nommée **zone A** au niveau de cinq stations.

Ensuite, nous avons réalisé une caractérisation des eaux de surfaces, au niveau de six stations du bassin urbain de la ville, scrutées les plus menacés aux principaux facteurs de pollution, à cause de leur localisation dans les principales zones industrielles ou près des champs agricoles de la ville ; ceci dans le but d'avoir une idée sur la qualité physico-chimique et bactériologique de ces affluents.

Enfin, après le traitement des données sur les taux d'incidence de la fièvre typhoïde et les hépatites virales (Partie B : Chapitre III), nous avons décidé d'évaluer spatiotemporellement la qualité physicochimique, bactériologique, métallique ainsi que la recherche des Salmonelles du site localisé au quartier Ain Kadous de l'arrondissement Al mérinides, au Nord-Est de la ville ; désignée **zone B**.

VII.1. Sites de prélèvement de la Zone A

Les cinq stations ont été choisies de manière à inclure le plus possible les dissimilaires pressions anthropiques (industries, agglomération, agriculture, rejet des eaux épurées...), existants et environnant le ruisseau. Les emplacements géographiques de ces points sont montrés dans la figure 12.

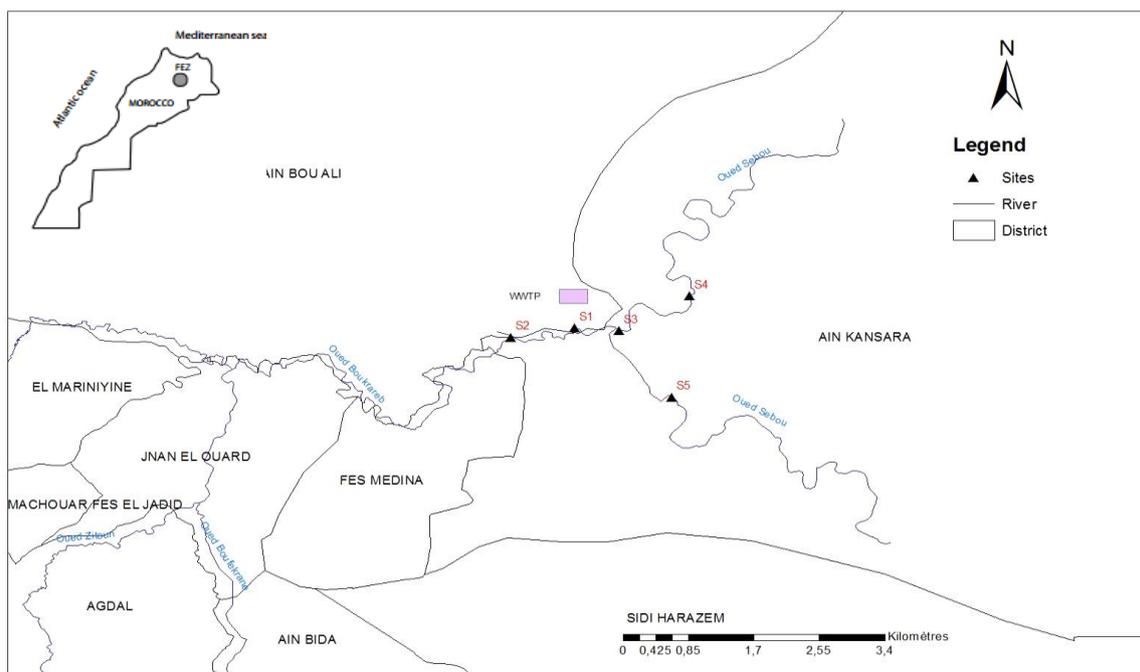


Figure 12. Localisation géographique des sites d'échantillonnage de la zone d'étude A, dans la rivière Sebou et Fès

La description de la situation des cinq sites étudiés est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5. Coordonnées géographiques des cinq sites d'échantillonnage

Code sites	Localité Cours d'eau	Coordonnées géographiques	
		Longitude (d ° m's")	Latitude (d ° m's")
S1	<p>Oued Fès aval, avant la STEP.</p> <p>D'après El Allaoui et al. (2016) une grande partie des effluents du collecteur 1200 en amont de la STEP, rassemble les eaux urbaines et industrielles en provenance de l'ancienne médina, est déversée directement à l'Oued Sebou. Ces effluents sont considérés comme les plus pollués au niveau de la ville et nécessitent un prétraitement avant de les relier à la STEP de la ville de Fès. (EL ALLAOU, 2018).</p>	4 ° 55' 50,0" O	34 ° 04' 49,0 "N
S2	Oued Fès aval, après la STEP et avant la confluence (Oued Sebou-Fès)	4 ° 56' 13,8" O	34 ° 04' 43,1 "N
S3	Confluent (Oued Sebou-Fès).	4 ° 55' 13,9" O	34 ° 04' 34,3 "N
S4	Oued Sebou à 7 km en aval de la confluence (Oued Sebou-Fès).	4 ° 54' 53,1" O	34 ° 04' 49,0 "N
S5	<p>Oued Sebou à 2 km en amont du confluent (Oued Sebou-Fès), au niveau du pont Portugais. Les eaux superficielles de cette zone sont pompées et traitées par l'ONEP, afin d'assurer une partie d'alimentation en eau potable (AMARTI, 2013).</p> <p>N.B. La grande partie des eaux destinées à l'alimentation en eau potable est assurée par des ressources souterraines 70 %).</p>	4 ° 55' 04,0" O	34 ° 04' 10,2 "N

Ces cinq sites de prélèvements du tableau 5 sont illustrés dans la figure 13.



S1



S2



S3



S4



S5

Figure 13. Photos des cinq points d'échantillonnage, zone A

VII.2. Sites de prélèvement de la Zone B

VII.2.1. Caractérisation physico-chimique et bactériologique

Comme il est déjà mentionné, nous avons débuté, tout d'abord par une caractérisation des eaux superficielles au niveau de la ville de Fès. Le choix des sites s'est basé principalement sur leur emplacement géographique ; de sorte qu'ils impliquent le maximum des divergents apports anthropiques (industries, agglomération, agriculture et rejets des ordures...). Ceci d'une part; et d'autre part, selon la répartition spatiale des différents arrondissements ; afin de pouvoir corrélérer les données environnementales avec ceux épidémiologiques. Ces stations sont montrées dans la figure 14.

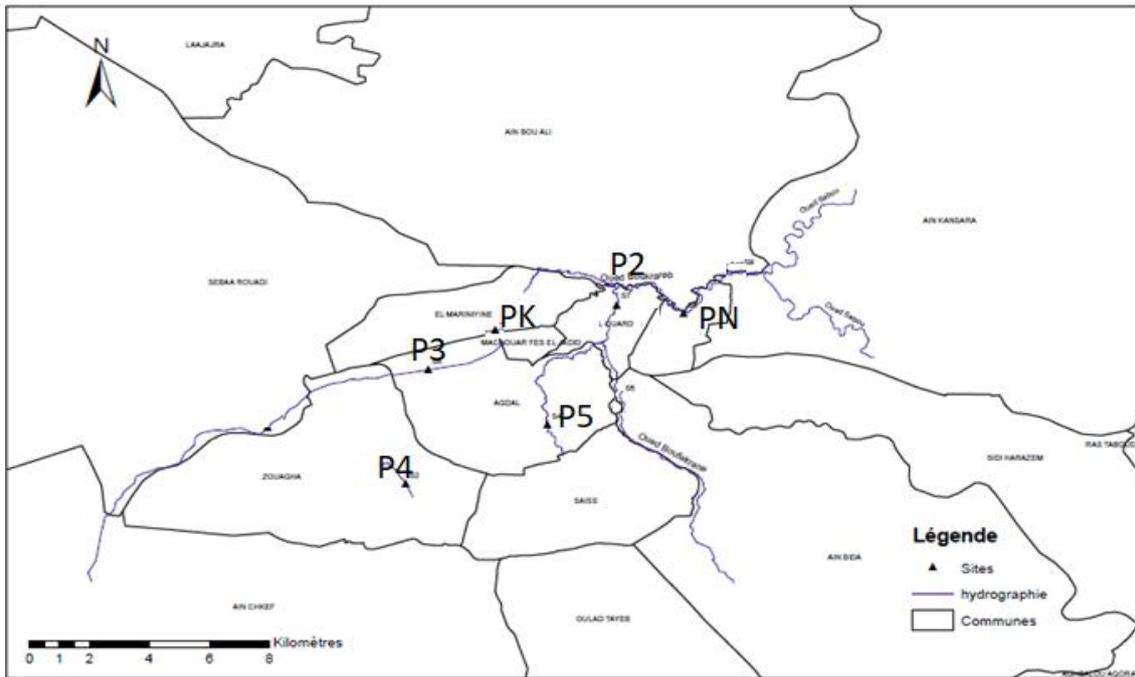


Figure 14. Localisation géographique des sites d'échantillonnage de la caractérisation physicochimique et bactériologique

La description de la situation des six sites étudiés est présentée dans le tableau 6.

Tableau 6. Coordonnées géographiques des cinq sites d'échantillonnage de la zone A

Code sites	Localité Cours d'eau	Coordonnées géographiques	
		Longitude (d ° m's")	Latitude (d ° m's")
PN	Affluent situé au quartier Ain Nokbi précisément à l'arrondissement Jnane El Ward ; connu par le nom d'Oued Tghat	4 ° 93'13.8" O	34 ° 07' 71,2 "N
P2	Affluent situé à l'arrondissement Fès Médina précisément au quartier Sidi Boujida, au voisinage du Pont ben tatou. Le point étudié est localisé à Oued Fès célébré par l'appellation Oued Zhoune à côté de la station de prétraitement Zenjfour. Aux alentours de ce point, il existe des activités humaines et agricoles.	4 ° 97'12.8" O	34 ° 01' 03,2 "N
P3	Ce point est situé au quartier Dokarat, dans l'arrondissement Agdal.	5 ° 01' 35,9" O	34 ° 02' 49,2 "N
P4	Ce point existe à l'arrondissement Zouagha, au niveau d'Oued Ain Smen existant au quartier Ben souda et proche du quartier Zouagha. La zone est connue par des exploitations agricoles avoisinant l'Oued. Tant, par le lavage des légumes. Au niveau de cet affluent, lors de la majorité des campagnes de prélèvement nous avons remarqué l'apparition d'une mousse.	5 ° 03' 98" O	34 ° 00' 20,2 "N
P5	Ce point est situé au quartier Sidi Brahim, exactement à l'arrondissement Saiss. Il est connu par le lavage de plusieurs types de véhicules.	4 ° 59' 27,3" O	34 ° 01' 46,5 "N
PK	Arrondissement Mérinides, Quartier Ain Kadous Cet affluent est connu par l'appellation Oued Al Jawaher. Il se situe à proximité du Palais Royal et du terrain Golf , et l'abattoire sur la route Ain Kadous. Il s'agit d'une zone sauvage sans aucune activité agricole ou industrielle sauf des travaux de construction.	4 ° 35' 30,0" O	34°02' 71,0 "N

Les six points de prélèvements sont illustrés dans la figure 15.

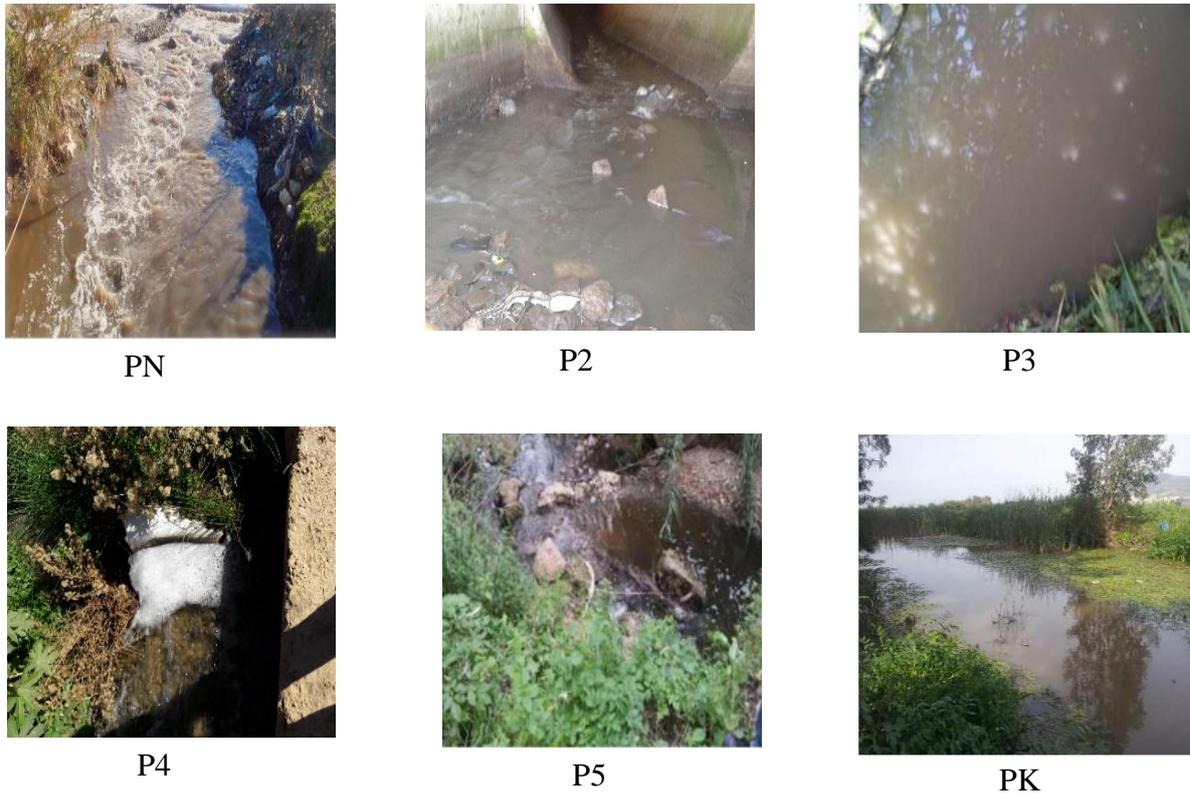


Figure 15. Photos des six points d'échantillonnage de la zone B

VII.2.2. Évaluation spatio-temporelle

Après la caractérisation de la pollution des six sites choisis, nous avons délimité le suivi de l'évolution spatiotemporelle de la qualité des eaux pour le site PK du quartier Ain Kadous. Le choix s'est fondé sur les résultats du traitement des données épidémiologiques des taux d'incidence, de la fièvre typhoïde et des hépatites virales épidémiques (Partie B : Chapitre III). Pour cette raison, nous avons renforcé notre évaluation par la recherche des Salmonelles et l'analyse des ETM.

La description de ce point est montrée dans le tableau 6 et la figure 15.

VIII. Conclusion

Le diagnostic réalisé nous a permis de mieux comprendre l'état des lieux du réseau d'assainissement et la localisation des différentes industries par rapport à la rive des cours d'eau. Ainsi que les différents problèmes existant, l'évolution rapide de la population dans certaines zones et les différents usages importants des eaux des oueds par les riverains, notamment pour l'irrigation des cultures maraîchères et l'élevage, surtout des ovins et des bovins. Tout ceci nous a renforcé à enrichir nos informations; facilitant ainsi la description des résultats de l'évaluation de la qualité des eaux.

CHAPITRE 4 : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DE LA VILLE DE FÈS

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des différents résultats des tests expérimentaux réalisés, pour identifier la qualité des eaux de surface de la ville de Fès, sur les campagnes d'études 2015, 2016 et 2017, successivement pour la zone périurbaine A (située à la commune rurale d'Aïn Kansara) et la zone urbaine B (au Nord-Est de la ville de Fès).

Pour ce faire, nous avons, dans un premier temps, effectué un suivi spatio-temporel des résultats des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité des eaux analysées des 11 sites de prélèvement, suite à la norme marocaine des eaux de surface d'une rivière, Avec une présentation de l'évolution de la qualité des eaux de surface de la zone A ; selon la littérature et les résultats ainsi obtenus, avant et après la mise en marche de la STEP et tous les efforts étatiques environnementaux et sanitaires déployés.

Ensuite, nous avons exploité tous les résultats pour déterminer la qualité globale de ces eaux par le Système d'Évaluation de la Qualité SEQ-Eau en le traitant, sous forme des cartes thématiques, spatialement moyennant les techniques SIG ; après avoir déterminé toutes les altérations possibles. Enfin, ces résultats ont été validés statistiquement à l'aide de l'ANOVA.

Les résultats de ce travail ont fait l'objet de deux publications parues dans le journal JMES indexé dans SCOPUS:

-N. Idrissi, F.Z. Elmadani, N. El Allaoui, M. Ben Abou, M. Taleb, S. Berrada, A. Omor, C. Nejjari, K. El Rhazi, Z. Rais. (2017). Geospatial assessment of the surface waters and identification of the incidence of typhoid fever: correlation via the tools GIS. *J. Mater. Environ, Sci.*, 5(S7) : 621-634.

-Idrissi N., Elmadani F.Z., Rais Z., Taleb M., (2018). Assessment of the physicochemical and bacteriological quality of Oued Fez and Sebou River downstream of Fez after the launch of the wastewater treatment plant, and its impacts on health, Morocco. *J. Mater. Environ, Sci.*, 9(S1) : 213-227.

II. Évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux de surface de la zone A

Préalablement, les résultats du suivi spatio-temporel des paramètres évaluant la qualité des eaux de la zone A, pendant 2 années 2015 et 2016 et pour les 5 sites d'échantillonnage, ont

été ajustés à la norme marocaine des eaux de surface (B.O, 2016) et sont représentés dans les figures (16 à 27).

En second lieu, les valeurs moyennes, obtenues durant la période 2015-2016, des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été représentés graphiquement et traitées selon le SEQ-Eau, afin de pouvoir déterminer les classements de la qualité globale des sites étudiés et les représenter spatialement par utilisation des SIG. Il est à mentionner que pour cette zone A, précisément à la zone rurale AlKansara, les paramètres physico-chimiques étudiés dans le but d'acquérir des données sur les caractéristiques de cette eau sont au nombre de dix, à savoir : T° ; pH; OD; CE ; TU; DCO; NH_4^+ ; NO_3^- ; DBO₅; Pt et une analyse bactériologique concernant la recherche des CF.

Ensuite, nous avons représenté les résultats de la qualité globale bactériologique et physicochimique selon les saisons, pour la période 2015-2016.

Enfin, nous avons cartographié et traité statistiquement les résultats du suivi de la qualité globale durant toute la période d'étude, dans le but d'identifier les paramètres influant l'altération des eaux (facteur temps, emplacement géographique, ...).

II.1. Suivi Spatio-temporel des paramètres de la qualité des eaux de surface de la zone A

Les figures 16 à 27 représentent les résultats du suivis spatio-temporel de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface de la zone A.

II.1.1. Température (T°)

L'analyse des résultats révèle que les valeurs des températures (Figure. 18) des eaux de surface de la zone A, durant l'année 2015, sont comprises entre 17,27 °C et 26,11 °C comme extrêmes minimum et maximum, et entre 16,1 °C et 25,7 °C pendant l'année 2016. En été cette température atteint son maximum au niveau des sites S1 et S2 ; qui est jugée favorable au développement de bactéries, de parasites, de larves de moustiques et d'autres germes microbiens.

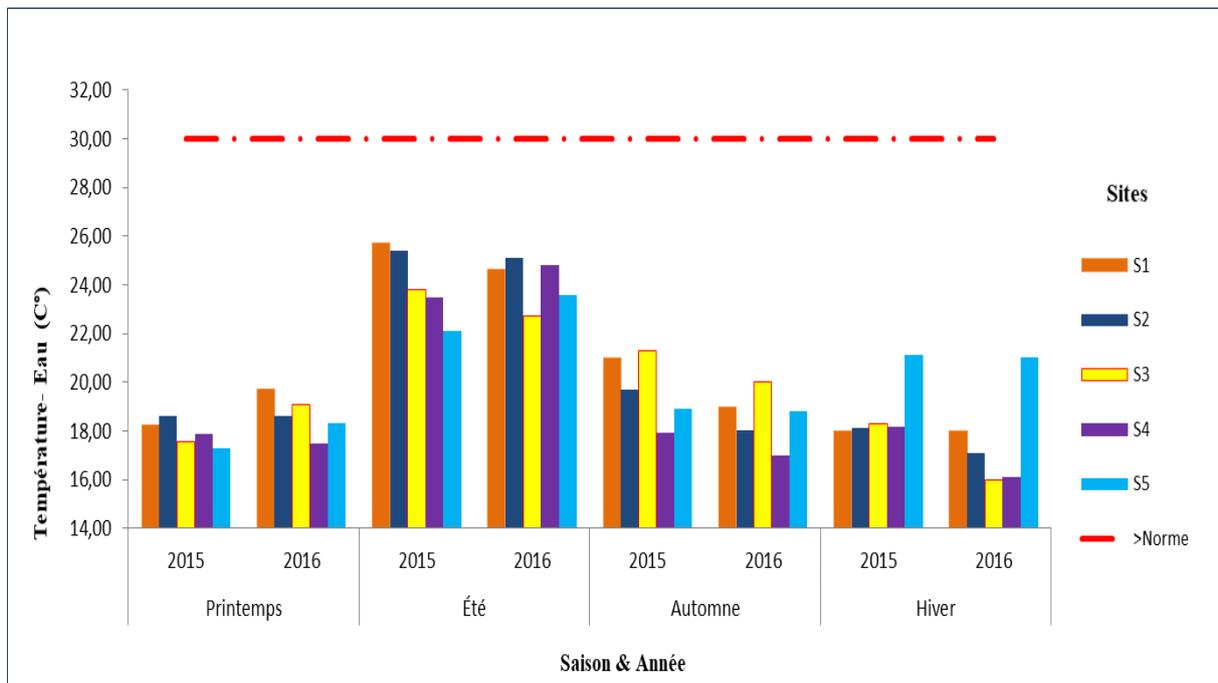


Figure 16. Évolution spatio-temporelle de la température des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.2. pH

D'après la figure 17, le pH est compris entre 6,47 et 9,29 au cours de l'année 2015 et entre 6,5 et 8,6 pendant l'année 2016. Il varie d'un site à un autre et d'une saison à une autre. En particulier en automne et hiver où le pH atteint son maximum, notamment au niveau du site 1. D'après EL ALLAOUÏ et al. en 2018, ces saisons sont caractérisées par une forte activité artisanale, surtout après la fête de l'Aïd Al Adha dès le début du mois d'octobre de l'année 2016 (EL ALLAOUÏ, 2018).

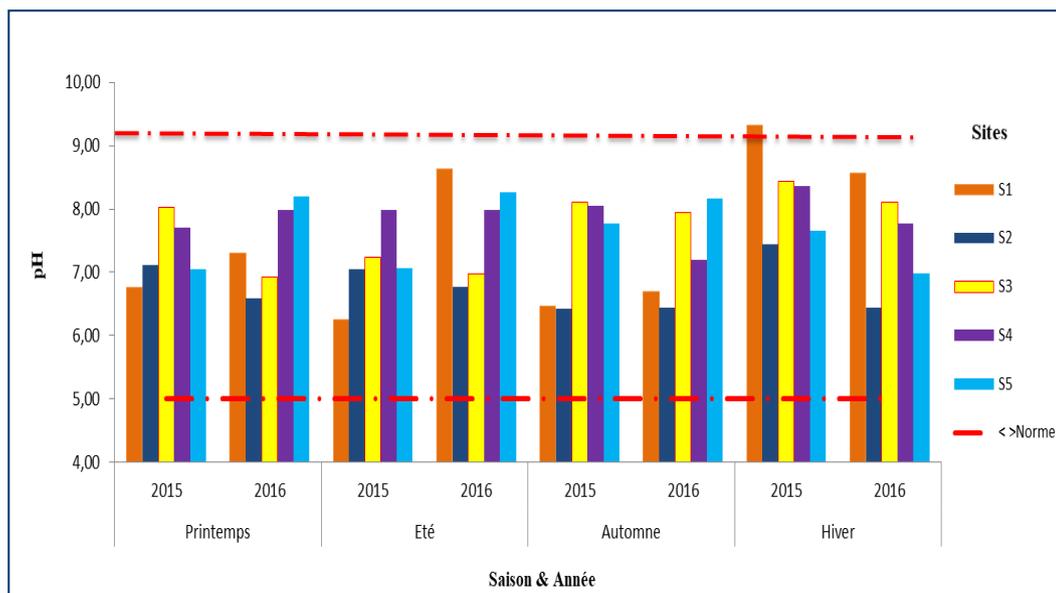


Figure 17. Évolution spatio-temporelle du pH des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.3. Oxygène dissout (OD)

La figure 18 présentant la variation de l'oxygène dissout nous a permis de constater que ce paramètre augmente de la station 1 à la station 5 pendant le printemps des deux années avec une légère augmentation pour l'année 2016. En été il est presque constant à l'exception des sites S4 et S5 qui ont enregistré de grandes élévations. Le site S5 s'est caractérisé par les valeurs les plus élevées de l'OD pour les 2 années arrivant jusqu'à $6,9 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Les sites S1 et S2 représentent les valeurs les plus faibles de l'OD variant entre $2,6$ et $2,9 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$.

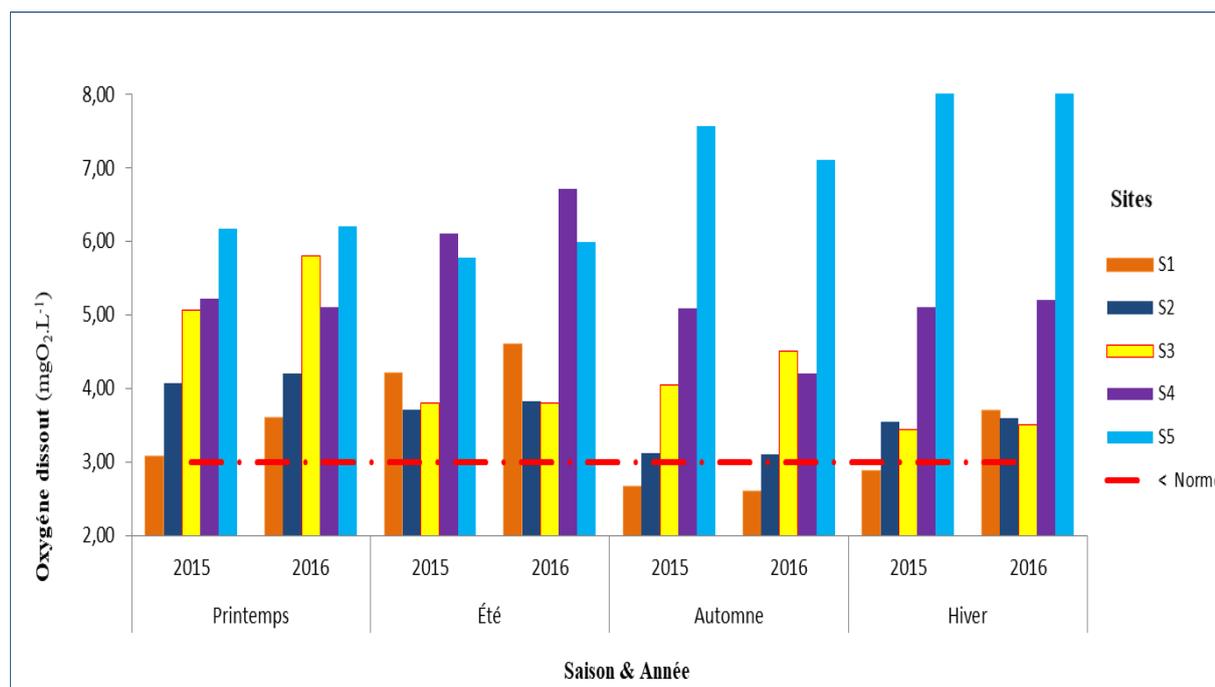


Figure 18. Évolution spatio-temporelle de l'oxygène dissout des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.4. Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (Figure. 19) est généralement d'une mauvaise qualité pour les sites S1 et S2. Elle atteint son maximum pendant les saisons hivernale et estivale des deux années 2015 et 2016, avec un excès continu au niveau du site S1. Ceci indique une minéralisation excessive de ces eaux attribuée à la présence des rejets des effluents industriels principalement aux saisons automnales où l'activité artisanale atteint son maximum.

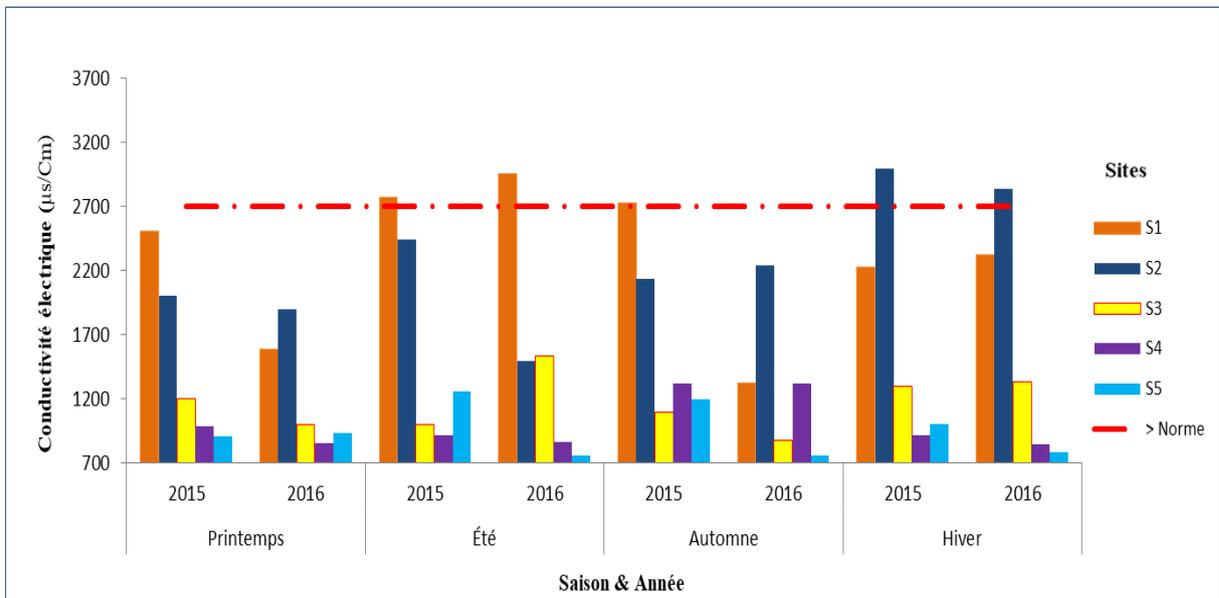


Figure 49. Évolution spatio-temporelle de la conductivité électrique des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.5. Turbidité (TU)

Les résultats de la figure 20 mentionnent que la turbidité est élevée principalement aux trois premiers sites durant toutes les saisons pour les deux années 2015 et 2016, excepté le site S5. Ceci semble être due à la forte charge des eaux de la zone A en particules en suspension (PES), qui peut varier selon le cours d'eau, en fonction de la nature des terrains traversés, de la saison et des types et quantité des rejets. Les teneurs élevées en PES peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, causer les dépôts de boues et le colmatage des fonds et limiter alors le développement de la vie aquatique.

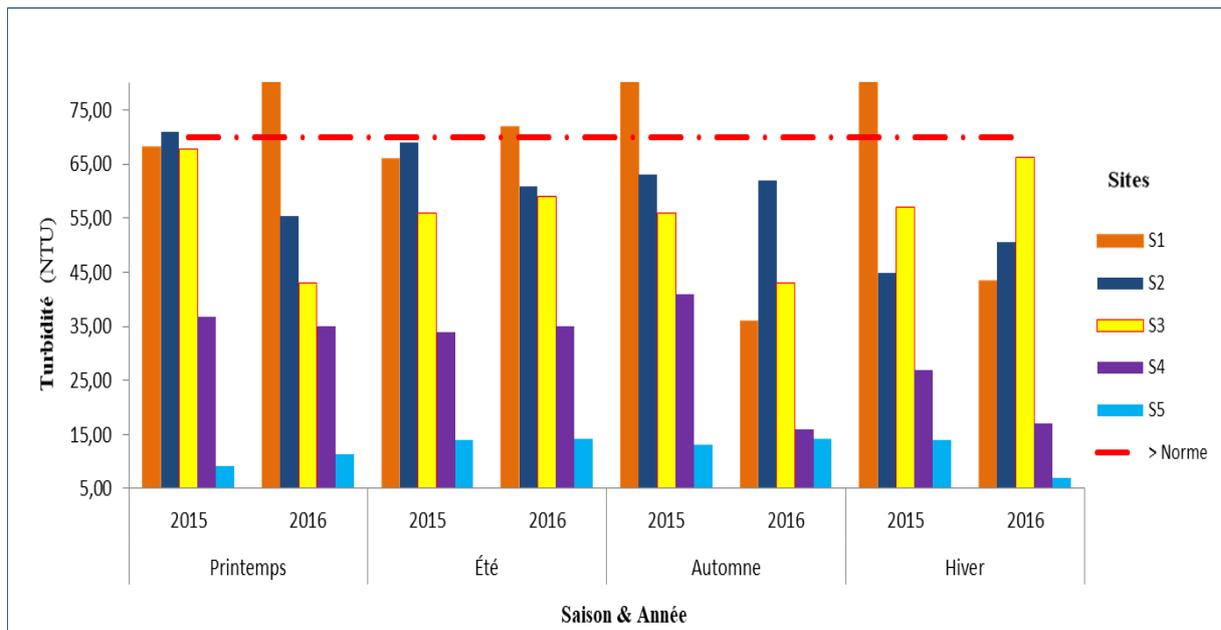


Figure 20. Suivi spatio-temporelle de la turbidité des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la mesure de la quantité d'oxygène suffisante pour oxyder chimiquement tous les éléments, soient d'origine minérale ou organique. Ce paramètre permet d'évaluer la quantité de matière organique ou réductrice existante dans les eaux.

Au cours des années 2015 et 2016 (Figure. 21) nous avons observé des écarts importants au niveau de la DCO. Elle varie entre 254 mg O₂.L⁻¹ au niveau du S1 et 19 mg O₂.L⁻¹ pour le S5. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans le site S1 en été pour les 2 ans et pour le site S3, uniquement pour l'été de l'année 2015. Ces augmentations sont probablement liées aux activités oléicoles pratiquées suite à la génération des effluents riches en margines qui culminent des composés phénoliques, azotés, des sucres, des acides organiques, et des pectines augmentant ainsi leur charge organique et minérale. Ces valeurs sont élevées par rapport aux directives marocaines sur la classification des eaux de surface qui ne dépassent pas 35 mg O₂.L⁻¹ (B.O, 2016).

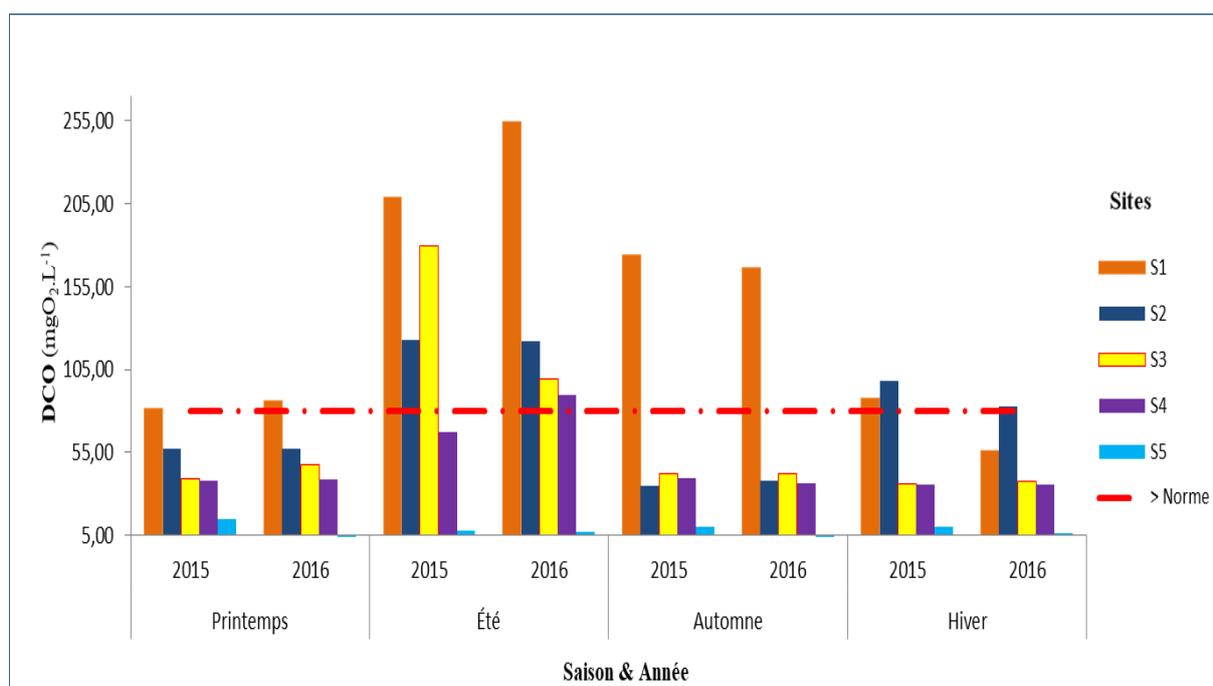


Figure 21. Évolution spatio-temporelle de la demande chimique d'oxygène des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.7. Demande biologique en oxygène (DBO₅)

L'analyse spatio-temporelle du paramètre DBO₅ (Figure. 22) pour les deux années et pour les différentes saisons a montré une pollution énorme par la matière biodégradable des sites S1, S2 et S3 en été des deux ans. De même, pour le site S1 en automne et S2 en hiver des deux années 2015 et 2016, se caractérisent par le phénomène d'eutrophisation. Les sites S4 et S5 sont dénotés les moins pollués, voir absence de ce type de pollution. Ceci pourrait être

expliqué par le fait que ces eaux surtout au niveau des deux premiers points sont riches en matières organiques à cause de leurs proximités aux terrains agricoles ainsi que les rejets industriels pollués.

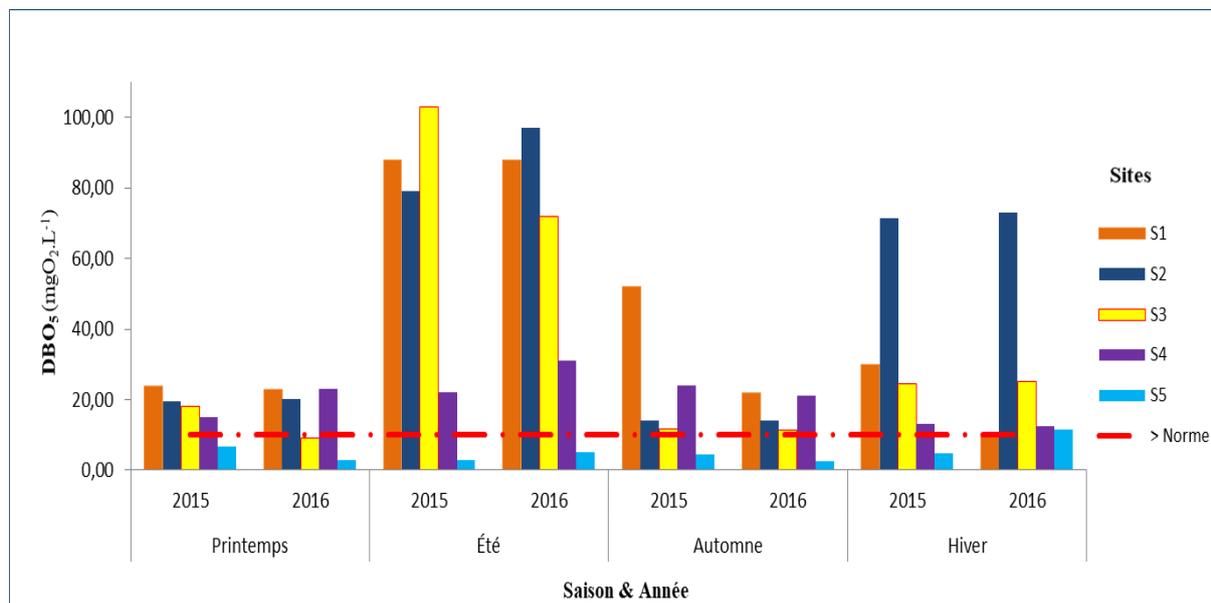


Figure 22. Évolution spatio-temporelle de la demande biologique d'oxygène des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

- Rapport DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ permet d'évaluer la biodégradabilité d'une eau usée, c'est à dire la faculté de la transformation de la matière organique en matière minérale, admissible par le milieu naturel. Selon la valeur de ce rapport, les eaux peuvent être classées en trois catégories.

- Pour les eaux originaires d'un effluent à dominante domestique, ce rapport est généralement compris entre 2 et 3 ;
- pour les effluents originaires des industries agroalimentaires, il varie entre 1,5 et 2, ce qui traduit une meilleure biodégradabilité ;
- enfin, lorsqu'il est supérieur à 3 cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable.

Les résultats obtenus de ce rapport durant les différentes saisons de la période d'étude 2015-2016 (Figure. 23), montre les valeurs moyennes du ratio DCO/DBO₅ pour le site S1, au cours des quatre saisons des deux années, sont supérieurs à 3 ; proviennent des effluents à provenance industrielle. Le rapport diminue notablement en suivant l'écoulement des eaux d'un site à autre ; et il atteint son maximum de 7,6 durant l'automne au niveau du S1.

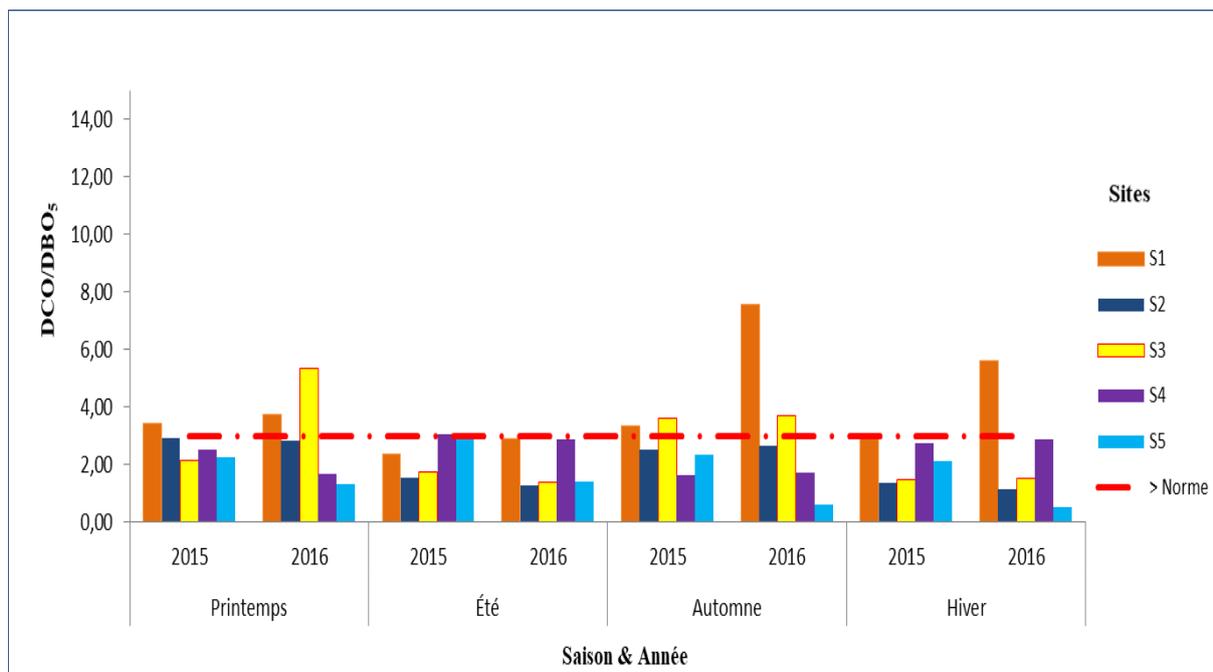


Figure 23. Évolution spatio-temporelle du rapport (DCO/DBO₅), de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.8. Ions nitrates (NO₃⁻)

Pour les nitrates (Figure. 26), pendant presque toutes les saisons et les 2 ans, les eaux de surface de la zone A sont chargées en nitrates, excepté les sites S3, S4 et S5 en hiver. Le site S1 présente des valeurs maximales en ces ions en automne 2015 et 2016; alors que, le S2 a atteint des concentrations élevées, en cet élément, en été de l'année 2015. Ceci est probablement dû à L'abreuvement du bétail et aux activités agricoles au niveau de cette zone.

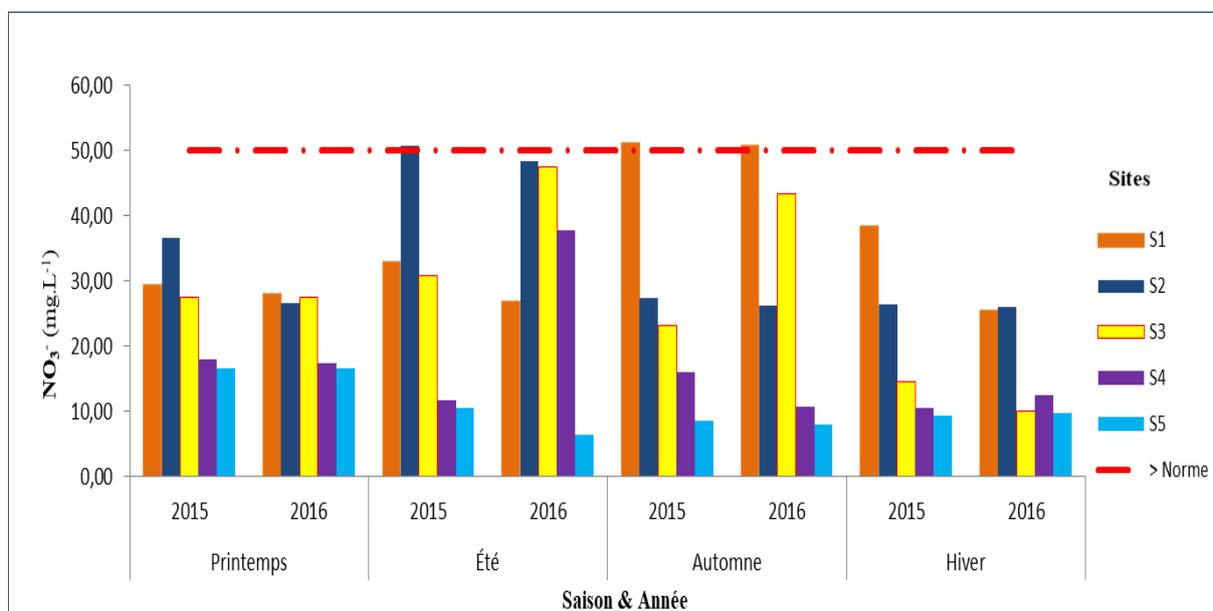


Figure 24. Évolution spatio-temporelle des ions nitrates des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.9. Ions ammonium (NH_4^+)

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et le sol. Elle provient également de l'excrétion et de la réduction des déchets des organismes vivants, ainsi que de la biodégradation, en plus des origines domestiques, industrielles et agricoles. Cet élément est présent à faible taux dans les sites S4 et S5 (Figure. 25). Tandis qu'en été de l'année 2015, les sites S1 et S3 ainsi que celui de S2 en hiver et S2 en automne de l'année 2016 sont les plus chargés en ces ions ; indiquant, de ce fait une contribution importante des apports anthropiques de l'oued Fès.

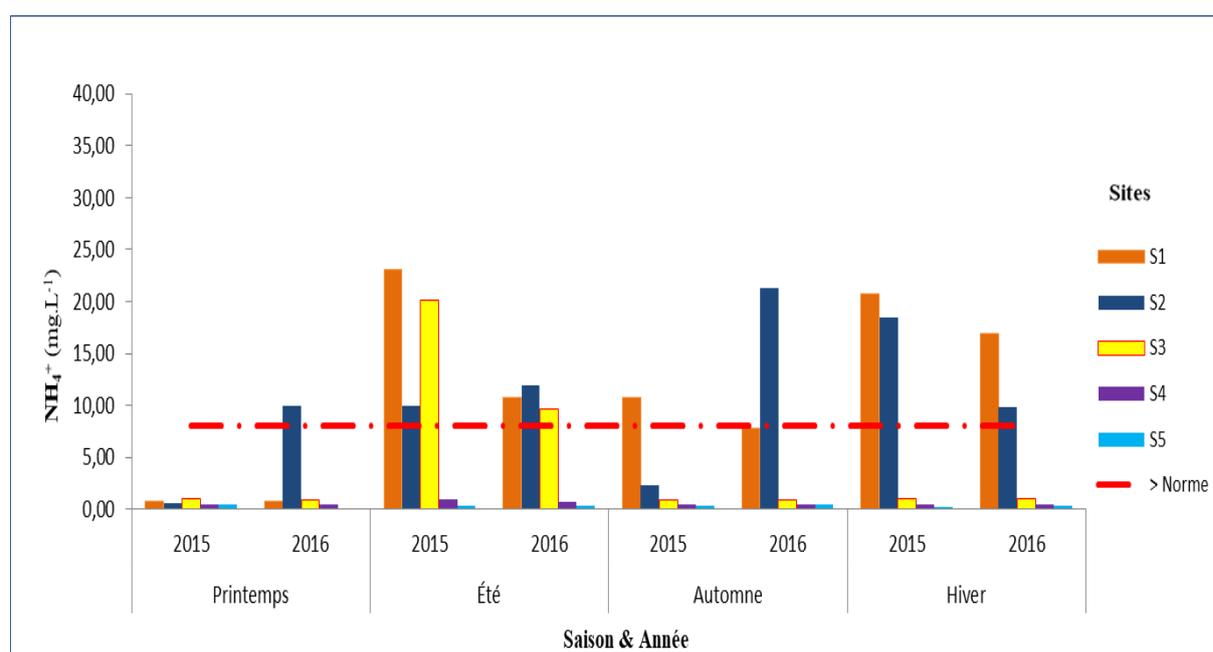


Figure 25. Évolution spatio-temporelle des ions ammoniums des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.10. Phosphore total (Pt)

Le phosphore total contenu dans les eaux de surfaces peut être d'origine naturelle (produits de décomposition de la matière organique, lessivage des minéraux) mais, à l'heure actuelle, leur présence dans les eaux semble être le résultat des apports industriels ou agricoles (engrais phosphatés, pesticides) existants à l'Est de la ville de Fès.

Le dépouillement des résultats obtenus (Figure. 26) signale que le site S1 est riche en Pt en été et pendant les 2 ans avec une valeur maximale de $4,31 mg.L^{-1}$. Les sites S2 et S3 sont d'une charge à moindre degré que le site S1. Les sites S4 et S5 sont les moins pollués par le phosphore total. Ceci est fort probablement expliqué par la présence excessive des activités anthropiques.

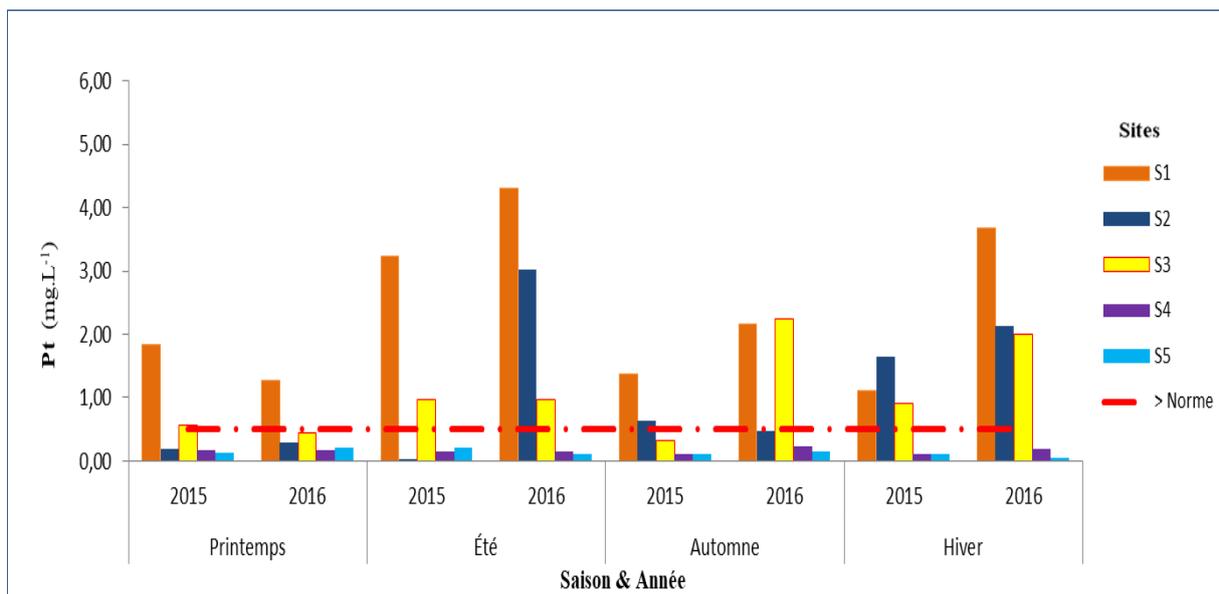


Figure 26. Évolution spatio-temporelle du phosphore totale des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.1.11. Coliformes fécaux (CF)

Les coliformes fécaux (Figure. 27) apparaissent en été, avec une forte charge microbienne favorisé par l'augmentation de la température durant cette saison, dans tous les sites à part celui de S5 pour les deux années 2015 et 2016. La saison de l'hiver se caractérise aussi par une prolifération bactérienne des CF très élevée, qui peut être due principalement aux rejets des déchets des moutons égorgés au cours de cette période (rejets du sang, excréments de panse...) et des phénomènes suscités, avec une valeur maximale de $1,151 \cdot 10^6$ UFC/100mL au niveau du site S1 Ce qui montre clairement que l'oued Fès participe gravement à la pollution fécale d'Oued Sebou.

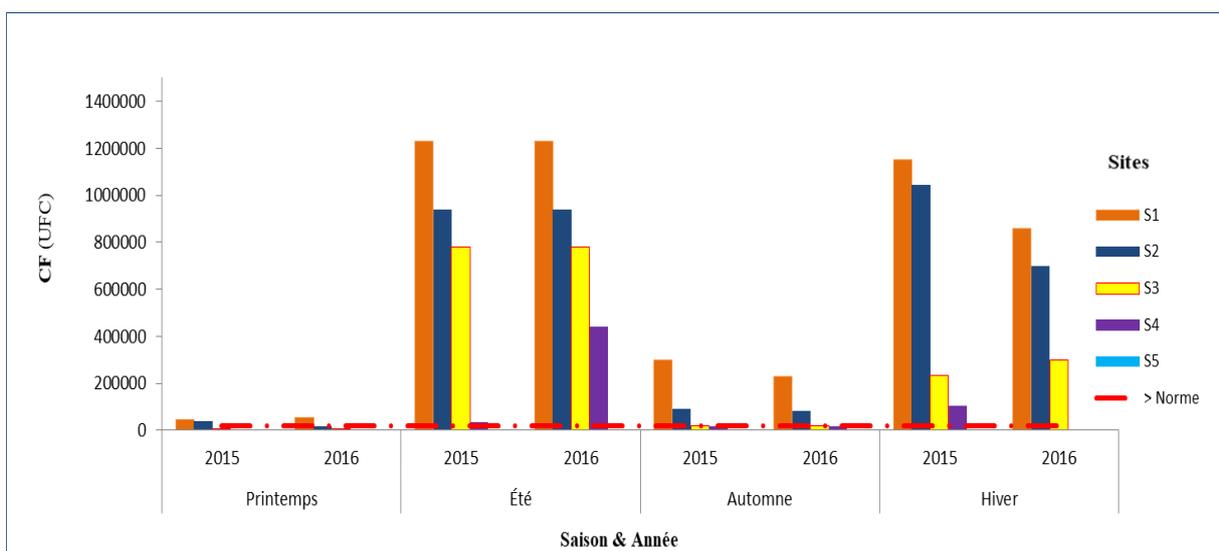


Figure 27. Évolution spatio-temporelle de la température des eaux de la zone A pour les années 2015 et 2016

II.2. Représentation de la moyenne des Paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux de surface de la zone A

Les résultats des valeurs moyennes ainsi que des écarts type des différents paramètres physicochimiques et bactériologiques caractérisant les eaux de surface de la zone A, durant toute la période d'étude 2015-2016, sont représentés graphiquement dans la figure 28.

Le dépouillement des résultats représentés dans la figure 28 montre que :

Les valeurs moyennes de la température, durant la période d'étude globale 2015-2016, sont comprises entre 19,4 °C et 20,4 °C comme extrêmes minimum et maximum enregistrés au niveau de l'Oued Sebou, et 19,3 °C et 20,5 °C comme extrêmes minimum et maximum enregistrés au niveau d'Oued Fès.

Le pH le plus faible, des valeurs moyennes obtenues, varie entre 5,5 et 6,5 pour S1 et S2 en particulier en automne et hiver.

Les valeurs moyennes de l'oxygène dissous sont comprises entre 3,1 mg O₂.L⁻¹ comme valeur minimale et une élévation remarquable de 6,9 mg O₂.L⁻¹ au niveau de la station S5, comme valeur maximale.

La DCO représente des écarts importants au niveau. Elle varie entre 173 mg O₂.L⁻¹ au niveau du S1 ; et 19 mg O₂.L⁻¹ pour le S5, elle atteint des valeurs moyennes maximales entre 144 et 219 mg O₂.L⁻¹, ces augmentations de température accompagnent celles du climat très chaud de la région

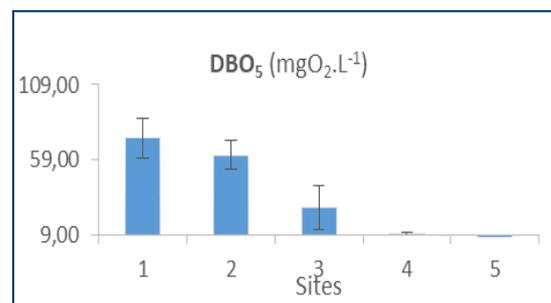
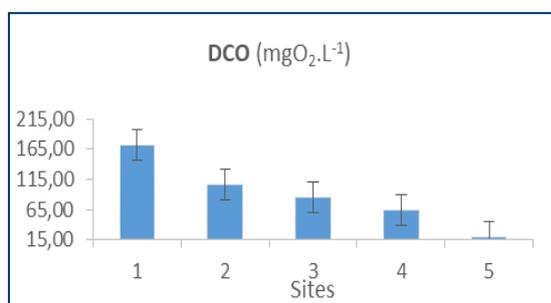
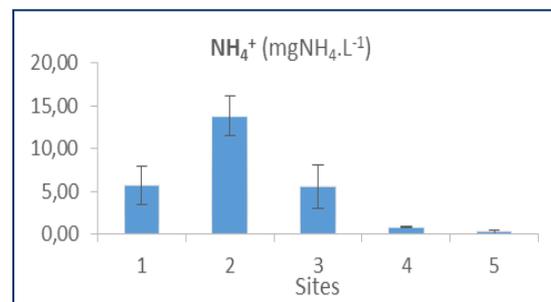
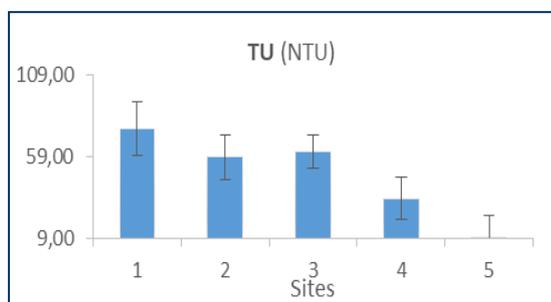
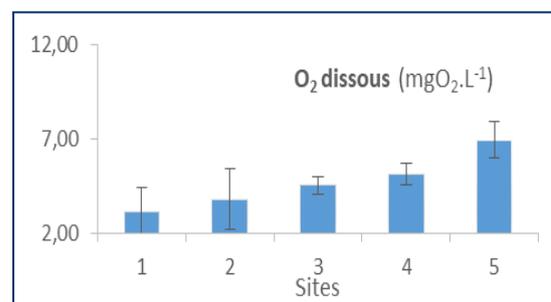
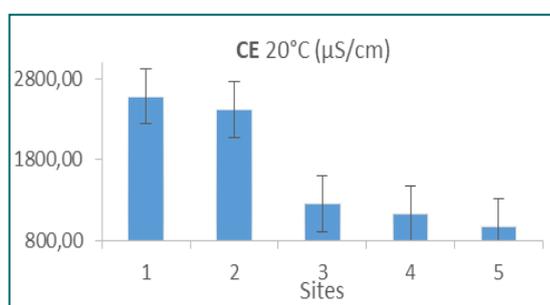
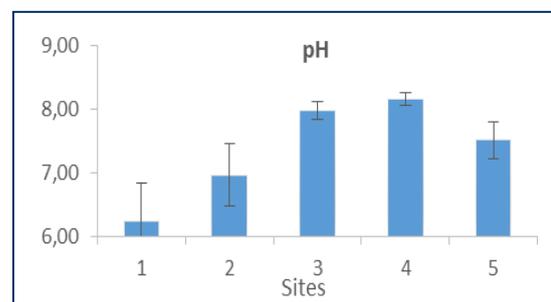
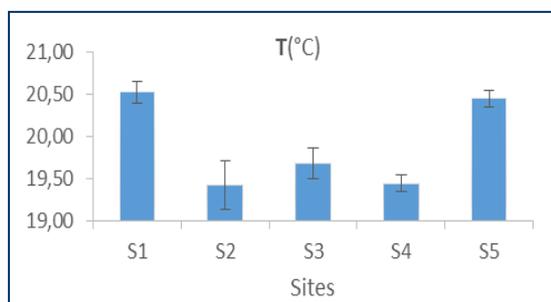
La DBO₅ a dénoté un maximum de 70 mg O₂.L⁻¹ au niveau du S1, Les valeurs moyennes de très mauvaise qualité sont enregistrées à l'égard des trois premiers sites, durant les deux années 2015 et 2016 avec un maximum de 122 mg O₂.L⁻¹.

Les ions ammoniums sont présents à faible taux dans les sites S4, S5 avec une valeur maximale arrivant à 20,5 mg NH₄.L⁻¹.

Les valeurs moyennes de la TU obtenues, fluctue entre 77 NTU comme valeur maximale au niveau du S1 et 9 NTU comme valeur minimale au niveau du S2 ; durant toute la période d'étude 2015-2016.

Les valeurs moyennes du PT obtenues, durant la période totale d'étude 2015-2016, sont comprises entre 2,01mg.L⁻¹ et 0,1 mg.L⁻¹ comme extrêmes minimum et maximum. Ce paramètre est d'une très mauvaise qualité.

Les valeurs moyennes du NO_3^- sont comprises entre $13,1 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ comme valeur minimale et une élévation remarquable de $34,1 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ au niveau de la station S5, comme valeur maximale.



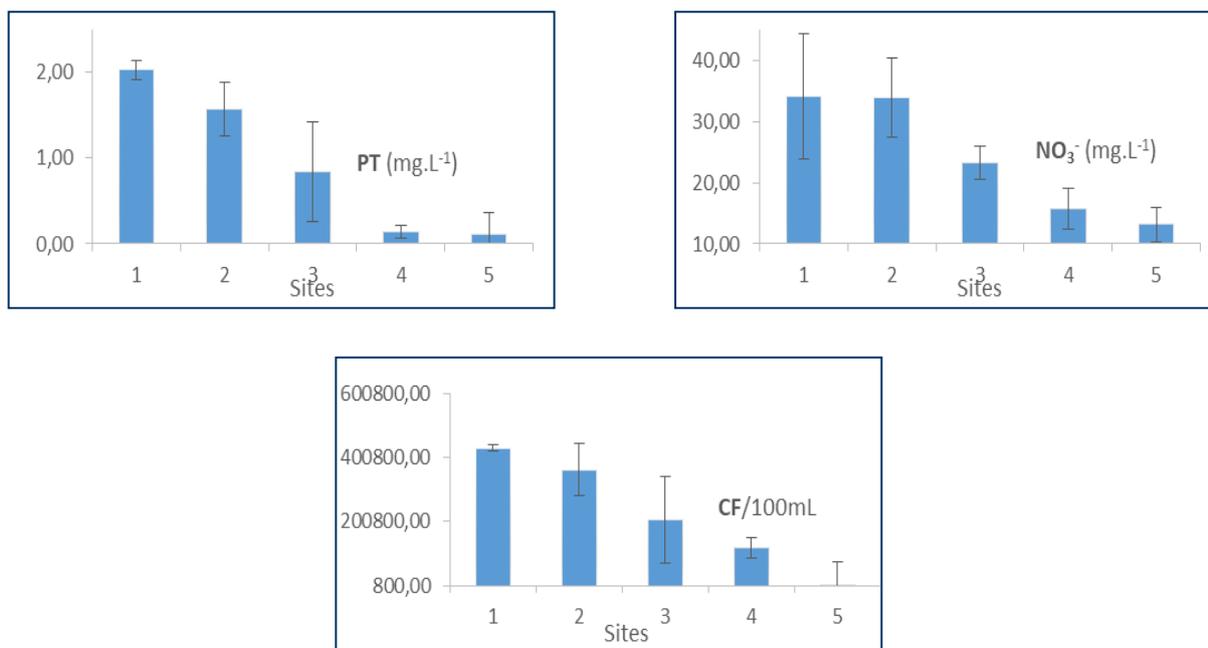


Figure 28. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques évaluant la qualité des eaux pour les deux ans 2015 et 2016

La valeur moyenne maximale de la conductivité électrique arrive à $2740 \mu\text{s cm}^{-1}$ et à 922 comme valeur moyenne minimale.

Les valeurs moyennes des CF durant toute la période d'étude 2015 et 2016 atteignent un maximum d'une valeur dépassant les normes de 6 à 5 fois. La qualité la plus dégradée est enregistrée durant les saisons estivales avec une valeur de $4,330 \cdot 10^5 \text{ UFC}/100 \text{ ml}$.

La représentation des valeurs moyennes pour la période d'étude 2015 et 2016 au niveau des différents sites montre clairement que le point S5, non mélangé avec les eaux d'Oued Fès, représente une bonne qualité. Or, les points S1 et S2 sont les plus pollués par la majorité des paramètres.

Ces valeurs moyennes des paramètres de la qualité, physicochimique et bactériologique des eaux de la zone A, sont convertis en indices d'altération afin de pouvoir déterminer la qualité globale des eaux et la représenter spatialement sur des fonds cartographiques selon la norme marocaine des eaux de surface, pour chaque site et pour les différentes saisons.

II.3. Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des différentes altérations

II.3.1. Évaluation de la qualité saisonnière de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de la zone A

II.3.1.1. Saison printanière

Même en présence des conditions climatiques stables, la qualité globale (QG) bactériologique est classée d'une mauvaise à moyenne qualité au niveau de la totalité des sites. Par contre la qualité physico-chimique est d'une qualité principalement moyenne à part le S1 qui est très pollué.

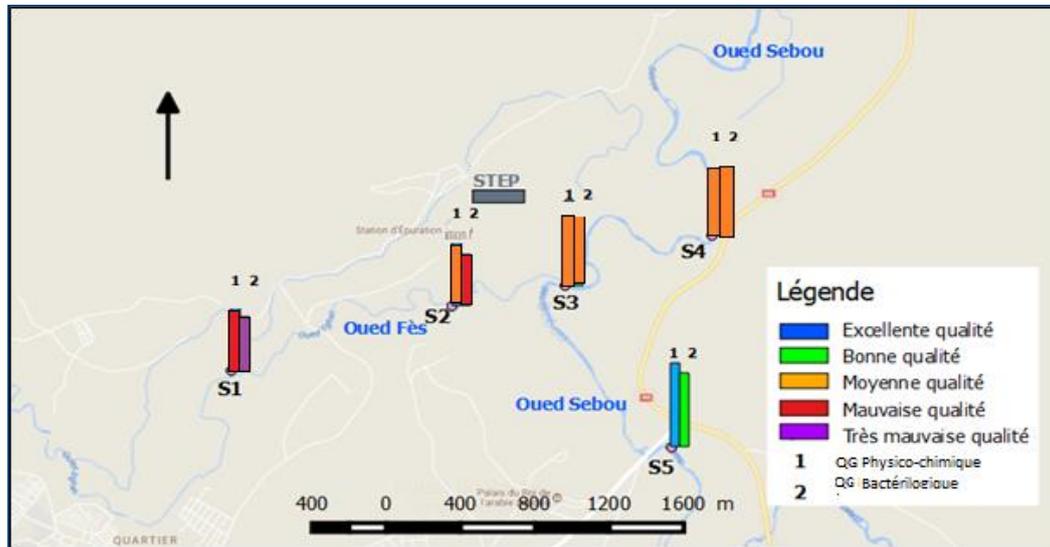


Figure 29. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique pour les printemps de la période 2015-2016

II.3.1.2. Saison estivale

La qualité est dégradée davantage en été surtout sur le plan bactériologique, du fait que tous les sites sont classés de très mauvaise qualité. Sur le plan physico-chimique, la qualité des eaux s'améliore au S4 après l'abouchement de l'affluent Tghat avec l'Oued Sebou.

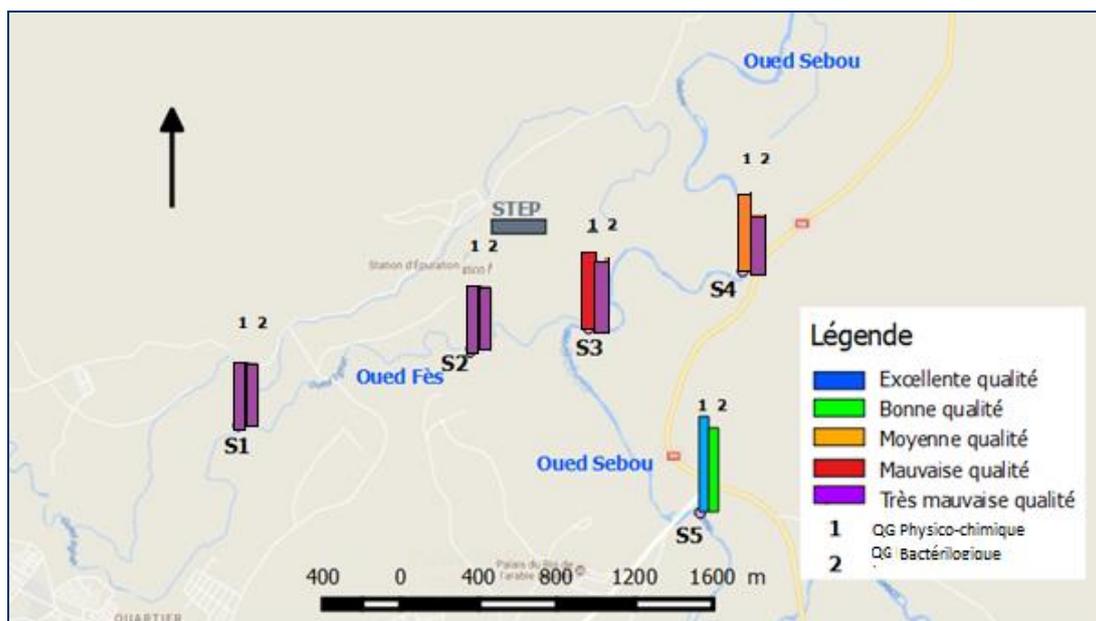


Figure 30. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des étés de 2015-2016

II.3.1.3. Saison automnale

Pendant cette saison, les activités artisanales sont en pleine action ; selon la figure 31, la qualité physico-chimique est d'une mauvaise qualité au niveau des sites S1 et S2, tandis que pour le S3 et S4 elle est d'une moyenne qualité.

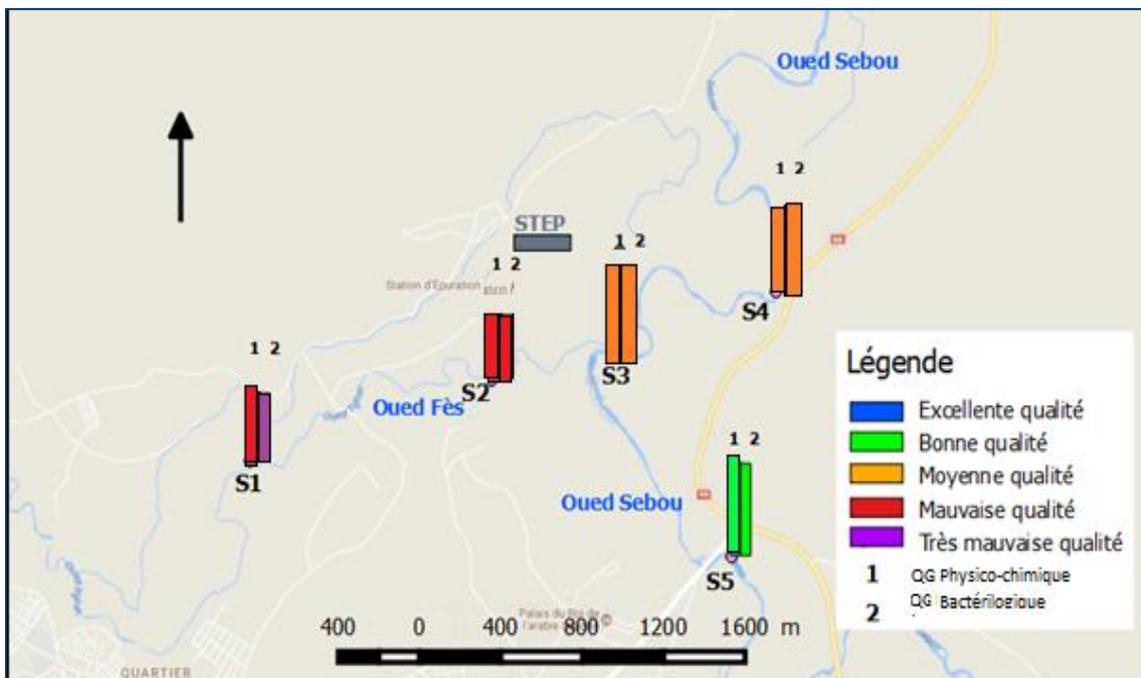


Figure 31. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des automnes des deux années 2015-2016

II.3.1.4. Saisons hivernales

La qualité bactériologique durant cette saison est de très mauvaise à mauvaise qualité au niveau du S1 et S2, ceci pourrait être expliqué par la présence des résidus du sang des animaux abattus, ainsi que les débris de panse et elle s'améliore en suivant le flux, étant donné que les eaux a potentiellement subissent une auto-épuration naturelle au cours de l'écoulement des eaux, la qualité physico-chimique des eaux est classée alternativement de mauvaise à moyenne tout au long du ruissellement des eaux. Pour la qualité bactériologique, l'évolution de la qualité des eaux nous montre que le site S1 est moins dégradé que le site S2. Normalement la pollution de ces eaux persiste et même augmentent en parcourant la voie de l'écoulement du flux des eaux vers l'Oued Sebou. Cette diminution de la contamination microbienne est probablement due à la sensibilité des CF aux faibles valeurs de pH, ainsi qu'à l'action antimicrobienne exercée par les composés (phénoliques, tanins et acides gras).

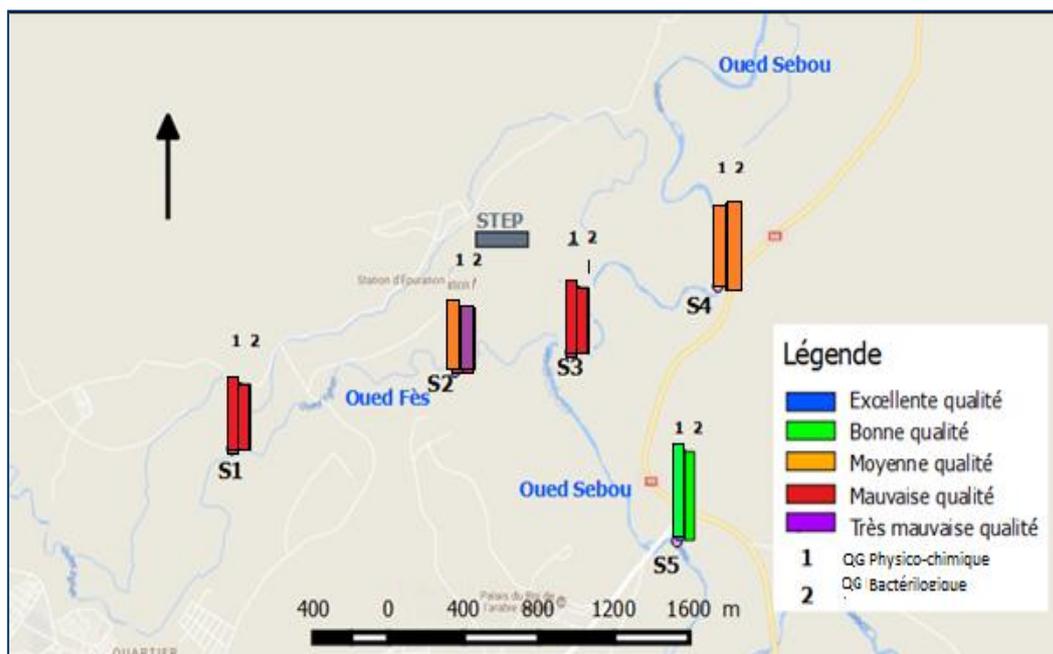


Figure 32. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des printemps de 2015-2016

La contamination remarquable au niveau du S2 révèle fortement une contamination fécale ancienne aux intermittentes. En effet, durant cette période la STEP connaît des arrêts prolongés (du novembre allant jusqu'au mars), à cause des effluents des huileries très chargés en margines (AgriMaroc, 2017). C'est ainsi que l'Oued Fès reçoit les rejets bruts d'eaux usées.

Il paraît clairement que, d'après la distribution géographique et saisonnière des différentes altérations étudiées, durant la période d'étude 2015-2016, que la dégradation de la qualité s'accroît surtout lors des saisons estivales, après vient l'hiver (même en présence des basses températures et du facteur de dilution), ensuite l'automne et enfin le printemps qui est d'une moyenne qualité.

II.3.2. Indices de pondération et d'altération des eaux de surface de la zone A

Les indices de pondération et d'altération concernant l'évaluation de la qualité des eaux durant la période d'étude 2015 et 2016 sont représentés dans le tableau 7 ; selon l'approche SEQ-eau.

Tableau 7. Résultats des moyennes des indices d'altération et de pondération durant la période 2015-2016

Altérations	Sites	S1	S2	S3	S4	S5
	Indices	100 80	80 60	60 40	40 20	20 0
	Ip & Ia					
(1) Température	$I_{a1}=I_{pT}$	80,6	81,3	85,4	81,8	80,8
(2) Acidification	$I_{a2}=I_{p_{pH}}$	50,5	48,3	67,8	80,2	68,6
(3) Matières organiques et oxydables	$I_{p_{OD}}$	39,4	47,4	60,6	76,6	82,0
	$I_{p_{DBO_5}}$	16,5	30,9	28,7	42,9	81,5
	$I_{p_{DCO}}$	17,5	30,3	30,7	43,2	74,3
	$I_{p_{NH_4^+}}$	42,5	21,1	44,0	60,1	69,1
	$I_{a3} = (I_{p_{3+}} + I_{p_{4+}} + I_{p_{5+}} + I_{p_{6+}}) / 4$	29,0	32,4	41,0	55,7	79,1
Matières phosphorées	$I_{a4}=I_{p_{PT}}$	30,8	43,8	40,6	74,0	76,5
(5) Nitrates	$I_{a5}=I_{p_{NO_3}}$	51,0	54,4	57,6	70,9	64,6
(6) Minéralisation	$I_{a6}=I_{p_{CE}}$	48,7	46,3	63,0	70,7	72,6
(7) Particules en suspension	$I_{a7}=I_{p_{TU}}$	41,6	46,3	48,8	66,2	83,9
(8) Microorganismes	$I_{a8}=I_{p_{CF}}$	16,9	21,5	30,5	52,3	72,1

Subséquentement à la représentations des valeurs moyennes obtenues des différents paramètres, les valeurs moyennes des indices d'altération de la qualité des eaux de surface, obtenues selon la méthode SEQ-Eau et classées suivant la norme marocaine des eaux de surface (B.O, 2016), pour la période d'étude des deux années 2015 et 2016. Ces résultats sont représentés sur un fond cartographique en se basant sur l'emplacement géographique des différents sites.

II.3.2.1. Altérations 1 et 2 : Température et acidification

L'altération de la température (Figure. 33) montre qu'il n'y a pas de variation entre les 5 sites étudiés; classant la qualité de ces eaux dans la plage de bonne qualité. Cependant, elle est jugée favorable au développement des coliformes fécaux et d'autres microorganismes nuisibles à la santé,

L'acidité représentée dans la figure 33 est d'une moyenne qualité pour les deux premiers sites localisés au niveau d'oued Tghat. Et d'une bonne à excellente qualité pour les eaux d'oued Sebou.

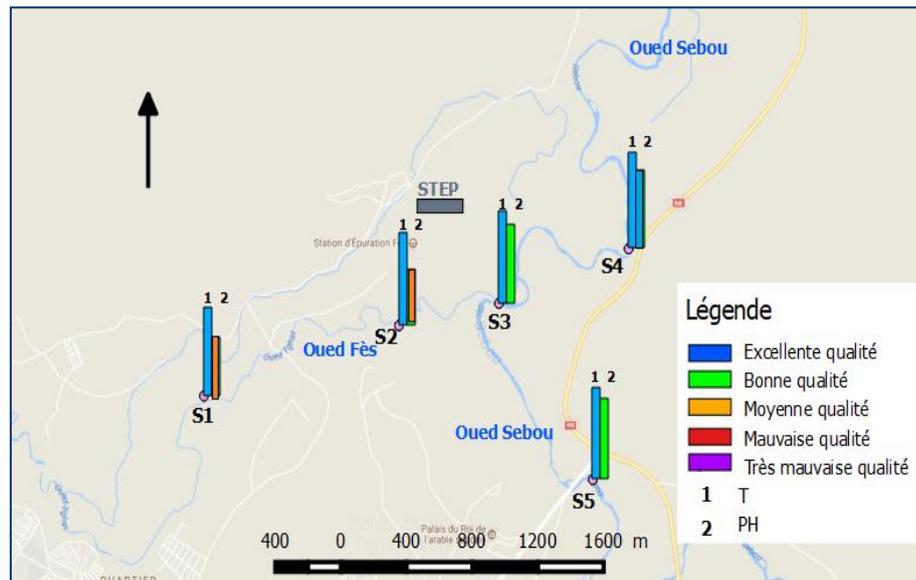


Figure 33. Évolution spatiale des deux altérations (acidification et température), pour la zone A et durant la période d'étude 2015 et 2016

II.3.2.2. Altération 3, 4 et 5 : Matières organiques et oxydables, particules en suspension et microorganismes

Les résultats de l'altération de la matière organique et oxydable MOO, dans la figure 34 nous ont montré que la qualité des eaux de l'oued Tghat subit une dégradation allant de l'Oued Fès aval jusqu'au Oued Sebou en aval de la confluence, avec une qualité mauvaise au niveau de site S1, le plus proche de l'agglomération du quartier Ain Nokbi. À l'exception du site S5 localisé à Oued Sebou (amont confluent Sebou-Fès) qui représente une bonne qualité car il n'est pas mélangé avec les eaux polluées d'Oued Fès. Cette altération est classée principalement d'une moyenne à mauvaise qualité ; comprenant ainsi l'ensemble des concentrations mesurées pour : OD, DBO₅, DCO et NH₄⁺.

Dans notre travail ladite altération des particules en suspension PES est présentée par la mesure de la turbidité. D'après la figure 34, elle est classée d'une moyenne qualité dans la majorité des points de prélèvement. Les teneurs élevées en cette altération peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous, causer les dépôts de boues et le colmatage des fonds et limiter alors le développement de la vie aquatique.

Quant à l'altération en micro-organismes est classée d'une très mauvaise qualité au niveau du site S1 et d'une mauvaise qualité dans la totalité des points existants au niveau d'Oued Fès et le point S4 existant à oued Sebou (aval confluent) ; seulement le S5 qui est de bonne qualité.

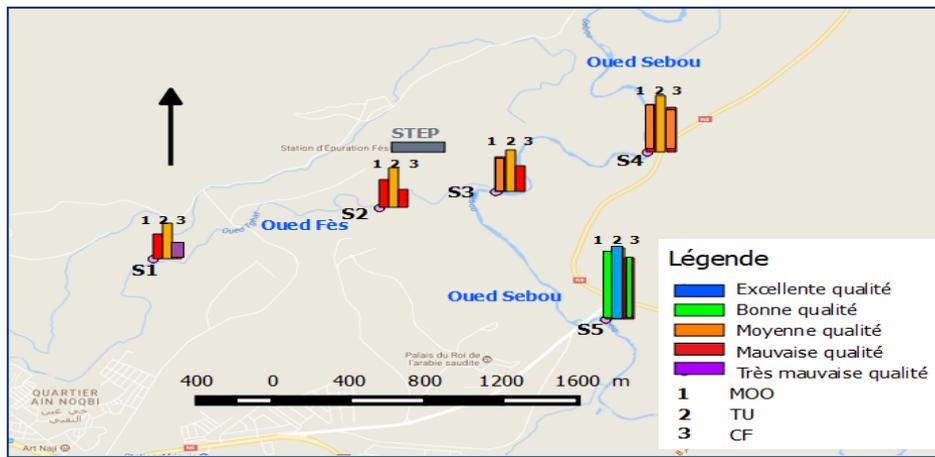


Figure 34. Représentation spatiale des altérations (MOO, PES et microorganismes) pendant la période d'étude 2015-2016

II.3.2.4.3 Altération 6, 7 et 8 : Matières phosphorées, Nitrates et Minéralisation

L'altération de la matière phosphorée (Figure. 35) est d'une mauvaise à moyenne qualité au niveau des trois premiers sites. Ceci est fort probablement expliqué par la présence excessive des activités agricoles ; l'enrichissement des eaux en nutriments en raison de l'épandage excessif des fertilisants minéraux (azotés et phosphorés) et organiques (fumier, lisier, boues de stations d'épuration...).

L'altération des ions nitrates (Figure. 35) est particulièrement d'une moyenne qualité, surtout au niveau des trois premiers sites, positionnant ces eaux dans la gamme de moyenne qualité.

La minéralisation (Figure. 35) des eaux étudiées est classée d'une moyenne à mauvaise qualité pour les sites existants à oued Tghat. Toutefois les sites appartenant à oued Sebou sont d'une bonne qualité durant la période d'étude totale des deux années 2015 et 2016.

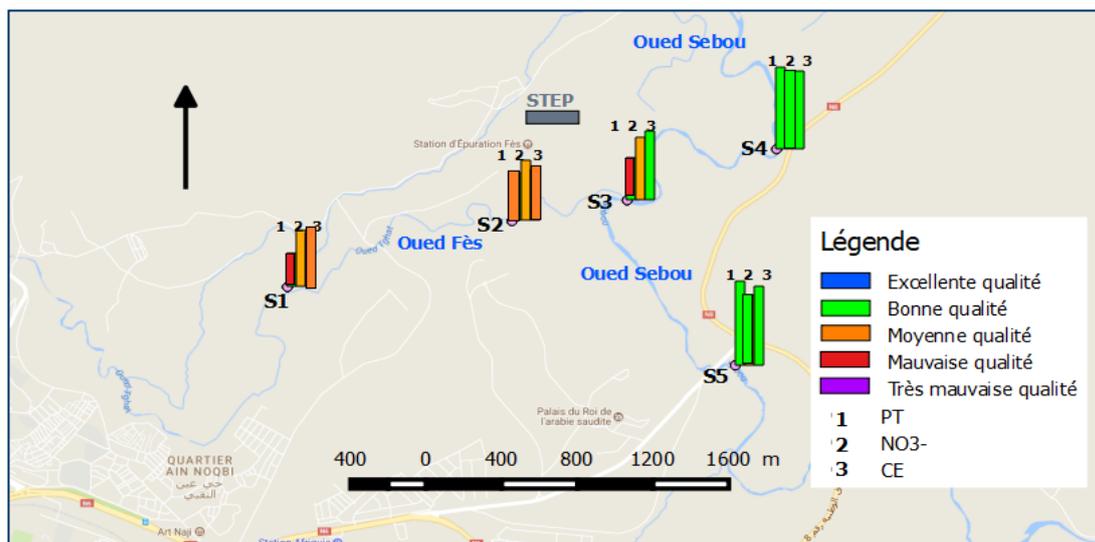


Figure 35. Évolution spatiale des trois altérations (matière phosphorées, nitrates et minéralisation), pour la zone A et durant la période d'étude 2015 et 2016

L'évaluation des différentes altérations montre clairement que les trois premiers sites renfermant les eaux d'Oued Fès connue par Oued Tghatt contiennent des quantités élevées des éléments azotés et phosphorés, à cause de la présence des activités anthropiques impactant ces points d'eau ; il ne faut pas oublier l'apport des eaux usées épurées par la STEP en azote et en phosphore. Tout cela peut conduire à l'eutrophisation du milieu récepteur (Oued Sebou) qui se traduit par la production d'une biomasse algale excessive et déséquilibrée, ainsi qu'une hypoxie sévère qui résulte de la dégradation de cet excès de matière organique. De même la minéralisation de la matière organique provoque une chute du pH. Il peut également être influencé par les précipitations acides, l'activité biologique et les rejets industriels.

Le site existant à l'amont d'Oued Sebou est dans la majorité du temps de bonne qualité ce qui explique que les eaux d'Oued Tghat en prévenance de la ville de Fès dégradent gravement la qualité des eaux d'Oued Sebou lors de leur réunion.

II.3.3. Évaluation de la qualité globale des eaux de surface de la zone A

Le SEQ-Eau nous a permis de faire une évaluation de la qualité globale des eaux au niveau de chaque station, durant toute la période d'étude des deux années 2015 et 2016 pour la zone A, en tenant compte des cinq sites étudiés et représentés dans la figure 36. Les valeurs moyennes calculées des indices d'altération les plus faibles, concernant la qualité physicochimique et bactériologique, représentent la qualité globale des eaux.

- Le S1 est considéré clairement, d'après le suivi de l'évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux, le site le plus pollué sur le plan bactériologique. Sur le plan physico-chimique, il est catégorisé de moyenne qualité.
- Le S2, contenant aussi les eaux usées épurées par la STEP; est d'une mauvaise qualité bactériologique et physico-chimique.
- Le S3, qui est le point de convergence, est dilué avec les Eaux d'Oued Sebou ; il est considéré de moyenne qualité physico-chimique et de mauvaise qualité bactériologique.
- Pour le S4, localisé à Oued Sebou (aval confluent) et mélangé avec les eaux d'Oued Tghatt, il est d'une qualité physico-chimique modérée et d'une mauvaise qualité bactériologique.
- Pour le S5, la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux au niveau de ce site, localisé à Oued Sebou amont, est parfaitement de bonne qualité. Les eaux de S5 ne sont pas mélangées avec les eaux d'Oued Tghatt (affluent de provenance de la ville de Fès).

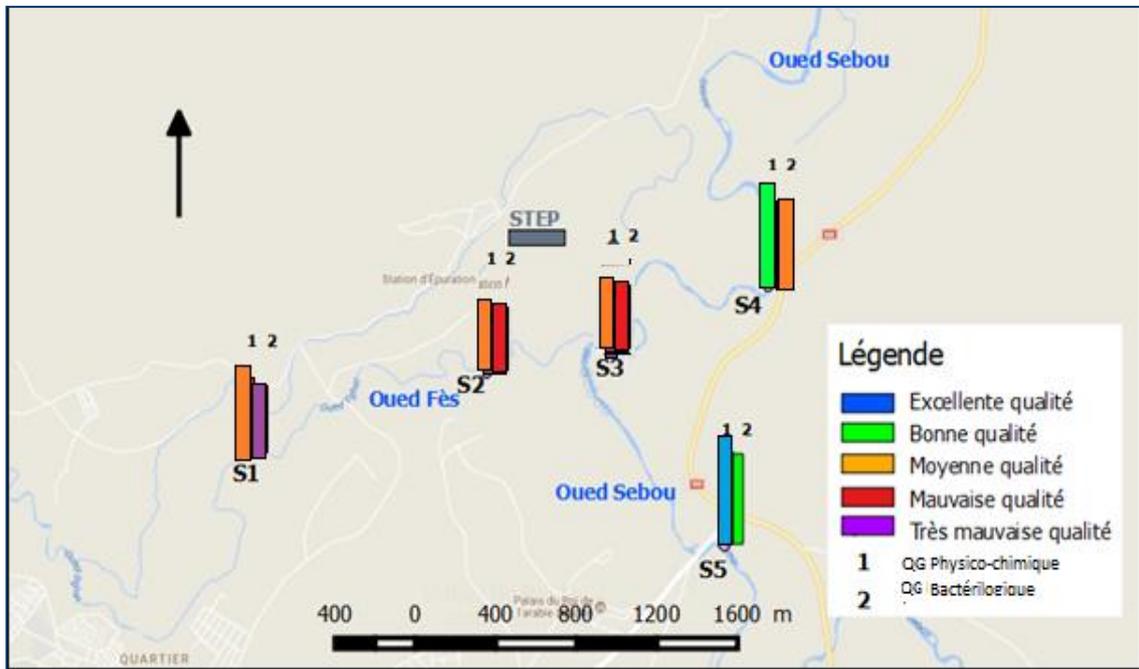


Figure 36. Répartition géographique de la QG physicochimique et bactériologique des eaux de surface étudiées de la zone A, pour la période 2015-2016

Globalement, l'évaluation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique nous montre que l'Oued Fès est d'une moyenne qualité, cela n'empêche qu'il est plus pollué que l'Oued Sebou, et dégrade même la qualité de ce dernier en des kilomètres après leur jonction au niveau du point S3 qui reste aussi pollué. Cependant pour le S4, il est d'une bonne qualité ceci est dû probablement suite à son mélange avec les eaux d'Oued Sebou et de son autoépuration naturelle.

Pour la qualité bactériologique, elle reste médiocre classée de très mauvaise qualité pour la majorité des stations.

Subséquentement, dans l'ensemble selon le SEQ-eau on peut classer ces eaux dans la gamme de moyenne qualité physico-chimique, et de mauvaise qualité bactériologique qui ne répondent pas aux directives marocaines sur la classification des eaux de surface (B.O, 2016).

II.4. Conformité des résultats des différents paramètres pour les eaux destinées à l'irrigation

Parmi les usages importants des eaux de surface, et qui ont un impact direct sur la santé, l'irrigation des aliments. Surtout ceux consommés crus (Ex. laitue, menthe, persil, artichauts, melon, pastèques...), pour cela nous avons traité ces résultats obtenus selon la norme de la qualité des eaux destinées à l'irrigation de l'arrêté conjoint du Ministre de l'Équipement et du Ministre chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de l'Habitat et de l'Environnement n°1276-01 des 10 Chaâbane 1423 consolidé par la loi sur l'eau 36-15 (B.O, 2016).

Selon le Tableau 8, les points étudiés, excepté le site S5, sont très contaminées au niveau bactériologique elles ne sont pas conformes pour l'irrigation des aliments consommés crus, conformes pour l'irrigation et peuvent causer des risques environnementaux et sanitaires. Sur le plan physico-chimique, les nitrates et le taux de minéralisation dépassent les normes surtout pour les deux premières stations.

Tableau 8. Résultats de la qualité des eaux à AIKansara (2015-2016), selon la norme marocaine de la qualité des eaux destinées à l'irrigation

Paramètres \ Sites	S1	S2	S3	S4	S5	Normes
T°	20,5	19,4	19,7	19,4	20,5	35
pH	6,2	7,0	8,0	8,2	7,5	6,5-8,4
SO ₄ ²⁻ (mg.L ⁻¹)	228,5	156,4	86,6	18,9	11,6	250
NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	34,2	33,9	23,3	15,8	13,1	30
CE 20°C (µS./cm)	2580,0	2415,0	1260,0	1129,5	973,8	1200
Turbidité (NTU)	76,5	58,9	62,3	33,8	9,9	100
CF/100mL	429049,5	362420,5	205760,5	117664,0	954,3	<1000

D'après ces résultats, il est clair que la STEP a rencontré des difficultés concernant la grande charge diversifiée et complexe des eaux usées en provenance de la ville de Fès, car la qualité d'Oued Fès est clairement impactée par des apports anthropiques très nocifs pour le milieu naturel causant ainsi la pollution d'Oued Sebou. Les images satellitaires des figures 37 et 38 renforcent nettement nos conclusions.



Figure 37. Image satellitaire montrant la jonction d'Oued Tghatt avec l'Oued Sebou



Figure 38. Un ZOOM sur le confluent S3 (Oued Sebou et Fès) et leur écoulement ensemble

Ces deux représentations montrent clairement le changement de la couleur des eaux d'Oued Sebou après son abouchement avec les eaux d'Oued Tghat.

Afin de confirmer les résultats aussi obtenus, nous avons procédé à une analyse statistique moyennant l'ANOVA.

II.5. Analyses statistiques (ANOVA)

L'analyse de la variance nous a servi pour éclaircir et interpréter l'ensemble des données de la qualité des eaux, en évaluant les mesures redondantes dans l'environnement, permettant ainsi la classification et le regroupement des paramètres polluants selon leurs origines, en atteignant un petit nombre de facteurs sous-jacents sans perdre les informations. Des tests similaires ont été effectués par Amaal en 2017.

Les tests statistiques (ANOVA) à un seul critère de classification effet station d'une part et effet de la saison d'autre part, sur la répartition des différentes altérations, ont été menés pour étudier la variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Tout d'abord, nous avons analysé l'évolution de chaque altération en fonction du temps. Ensuite, nous avons étudié la variation de ces altérations en fonction des sites. Le tableau 9 présente les résultats du test analytique bi-varié, modèle fixe appliqué à chacune des 11 variables mesurées au cours de la totalité de la période étudiée durant les deux années 2015 et 2016.

L'analyse de la variance ANOVA a pour but de comparer entre les sites de prélèvement et l'égalité des moyennes de chaque paramètre mesuré pendant la période de l'étude. Autrement dit, cette analyse permet d'identifier l'existence des différences entre les sites étudiés et les différentes campagnes de prélèvements.

Tableau 9. Analyse de la variance ANOVA des altérations physico-chimiques et bactériologiques physico-chimiques des cinq sites en fonction du temps

Altération	Sites				Temps			
	M.S	F	P value summary	Significant	M.S	F	P value summary	Significant
(1) Température	126,907	1,378	0,248 ns	Non	2349,825	2349,825	P<0.0001 ***	Oui
(2) Acidification	2316,628	11,022	,0002***	Oui	338,252	338,252	,0001***	Non
(3) Matières organiques et oxydables	13261,250	317,363	P<0.0001 ***	Oui	334,577	334,577	0,240 ns	Non
(4) Matières phosphorées	5951,250	330,363	0,000 ***	Oui	1,429	1,429	0,626 ns	Non
(5) Nitrates	4205,000	228,463	0,00 *	Oui	100,820	100,820	0,895 ns	Non
(6) Minéralisation	3808,800	290,017	0,00**	Oui	,242	,242	0,892 ns	Non
(7) Particules en suspension	3808,800	395,017	P<0.0001 ***	Oui	7,220	7,220	0,951 ns	Non
(8) Microorganismes	64808,800	228,463	0,000 ***	Oui	2349,825	2349,825	0,932 ns	Non

Facteur site a plus d'influences que le facteur temps

$p > a = 0,05$: (ns) différences non significatives 5AVEC UNE ERREUR DE 5%

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

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

$p < a = 0,001$: (***) différences très hautement significatives CA VEUT DIRE 100%

VRAI

F: valeur F de Fisher ; M.S : moyenne quadratique

La valeur de P indique la probabilité du test Fisher; qui est un rapport des deux variances inter et intragroupe, l'hypothèse nulle est vraie quand $P < 0,05\%$ (Xiao *et al.*, 2012).

Les résultats des moyennes quadratiques appliqués à l'étude des variations spatio-temporelles des paramètres physico-chimiques et bactériologiques nous permettent d'observer que les moyennes quadratiques (M.S) du facteur site de tous les paramètres sont supérieures à celle du facteur temps. Ce qui révèle l'existence des différences très hautement significatives ($P < 0.0001$) entre les cinq sites de prélèvement pour presque toutes les altérations analysées à savoir : MOO, Particules en suspension, matière phosphorée, microorganismes, etc. Leur variation est entre hautement significative et juste significative. Cependant, pour la température, nous pouvons accepter l'hypothèse nulle (valeur $P = 0,24$), car la variance caractérisant l'erreur due à une erreur de modèle est bien inférieure à l'erreur expérimentale. Donc ce paramètre varie de façon non significative avec les sites d'échantillonnage. Par contre, il varie d'une façon très hautement significative avec le temps ($P < 0.0001$).

Nous concluons que le facteur site a plus d'influence sur chacun des paramètres étudiés que le temps, puisque la moyenne quadratique de tous les paramètres du site est supérieure à celle du temps. La plupart des paramètres varient considérablement avec les sites d'échantillonnage et le temps. En effet, les eaux superficielles des cinq sites de prélèvement de la zone A n'ont pas les mêmes origines ni les mêmes activités anthropiques. La température est hautement corrélée avec le temps puisqu'elle ne dépend que du climat de la région. Les résultats ainsi obtenus corroborent ceux de Cristovao et al. (2016).

III. Evaluation de la qualité des eaux de surface de la zone B

Nous rappelons que pour la zone urbaine B correspondant aux eaux de surface parcourant les quartiers (Sidi Brahim, Ain Kadous, Ain Nokbi, Doukarat, Zouagha et Sidi boujida), nous avons identifié six sites estimés pollués suite aux résultats du diagnostic qui sont respectivement PN, P2, P3, P4, P5 et PK.

III.1. Caractérisation de la qualité des eaux superficielles au niveau de la zone urbaine B de la ville de Fès

III.1. 1. Suivi spatio-temporel des paramètres physicochimiques et bactériologiques

Pour les six sites nous avons effectué une caractérisation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques pendant trois mois (janvier, février et mars), avec une évaluation spatiale de la qualité globale des différentes altérations des résultats d'analyse des différents paramètres par l'outil SIG. Ensuite nous avons réalisé un suivi spatio-temporel mensuel du site PK.

Les résultats de la caractérisation des eaux de surface des six stations de la ville de Fès, pendant un suivi de 3 mois sont répertoriés sous forme d'histogramme ci-dessous (Figure. 39).

L'examen des résultats obtenus de cette figure montre que la température des eaux de surface des six points est entre 15.05 et 21.1°C, elle ne dépasse pas la norme marocaine des eaux de surface qui est de 30°C (B.O , 2016).

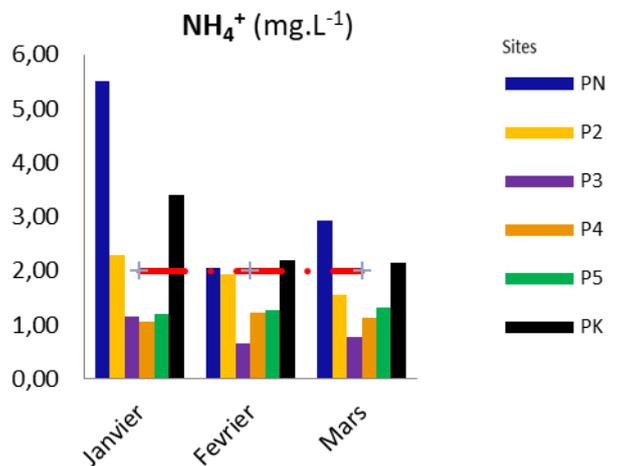
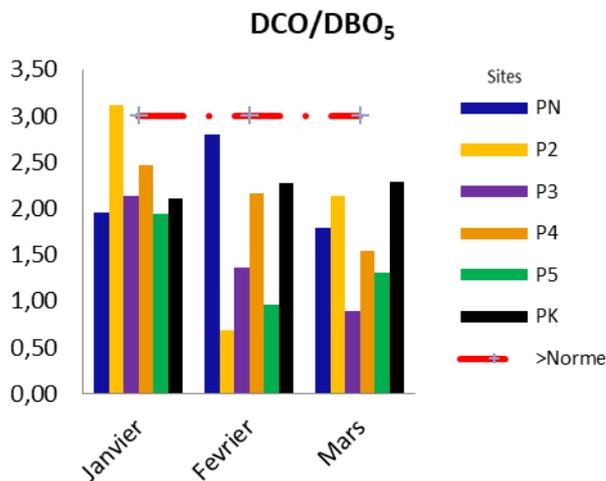
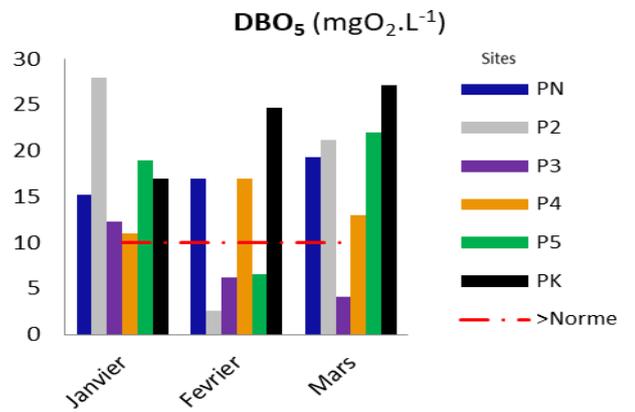
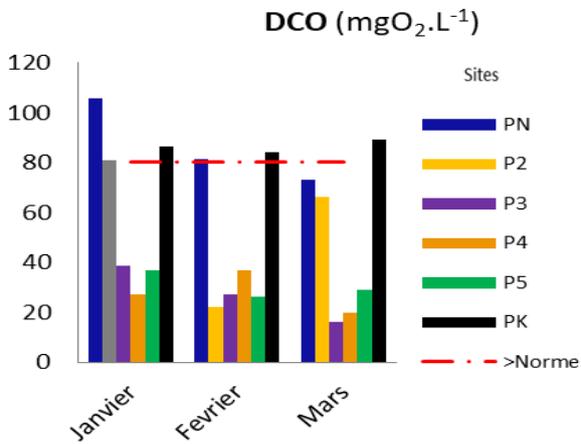
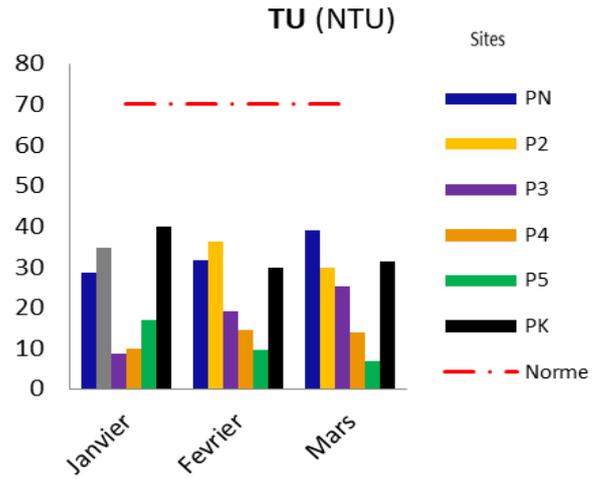
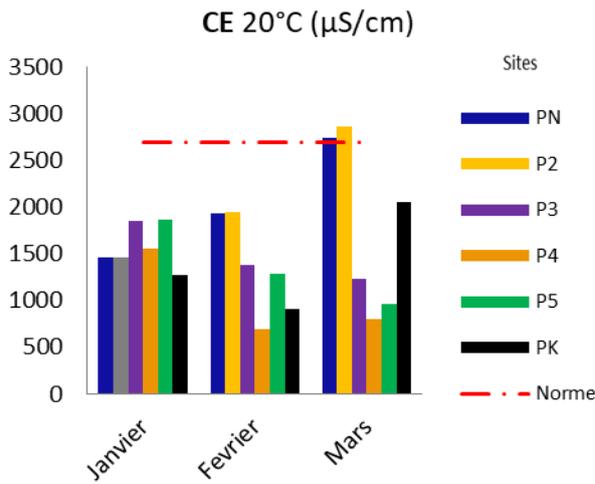
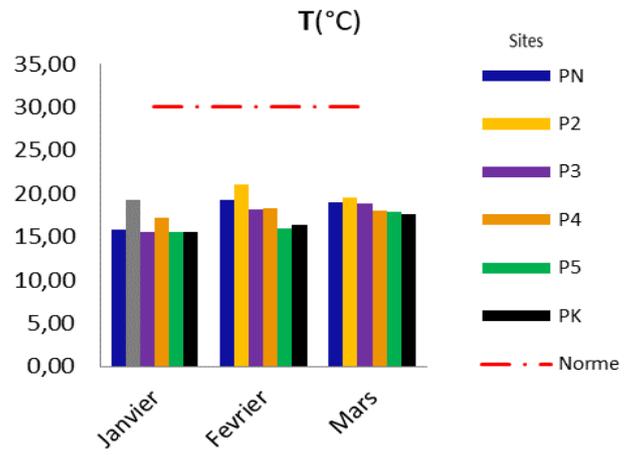
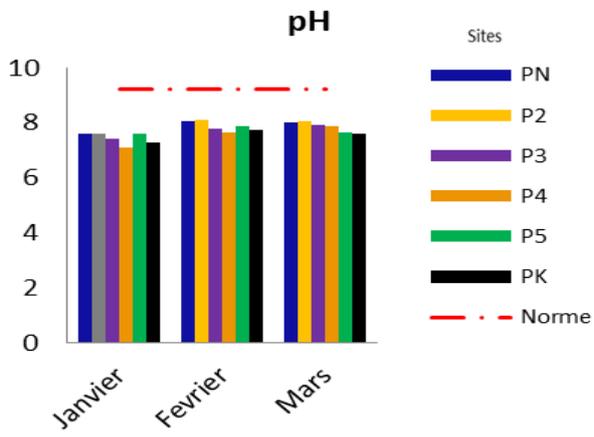
Les valeurs du pH trouvées sont presque neutres dans la totalité des sites sauf pour le site PN (quartier Ain Nokbi) qui est jugé basique de 8,68 au mois de février.

La conductivité électrique est élevée au mois de mars au niveau du site PN et P2, dépassant la norme qui est 2700 $\mu\text{s.Cm}^{-1}$ (B.O, 2016).

La turbidité TU ne dépasse pas les normes pour la totalité des sites au cours des trois mois (janvier, février et mars) les valeurs maximales sont marquées pour les sites PN, P2 et PK ; elles sont respectivement de 39,5 NTU, 39,1 NTU et 31,6 NTU.

La demande chimique en oxygène dépasse largement la norme marocaine autorisée au mois Janvier au niveau du site PN ($101 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$) ; dans le reste des sites étudiés elle est d'une qualité modérée à médiocre, elle atteint des valeurs fluctuant entre 40 et $86 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$.

La matière organique indiquée par la DBO_5 atteint des valeurs qui arrivent à $28 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ au niveau d'Oued Zhoune, ceci est probablement dû au rejets des tanneries, alors que la valeur fixée par les directives marocaines sur la classification des eaux de surface est de $10 \text{ mgO}_2.\text{L}^{-1}$ (B.O, 2016).



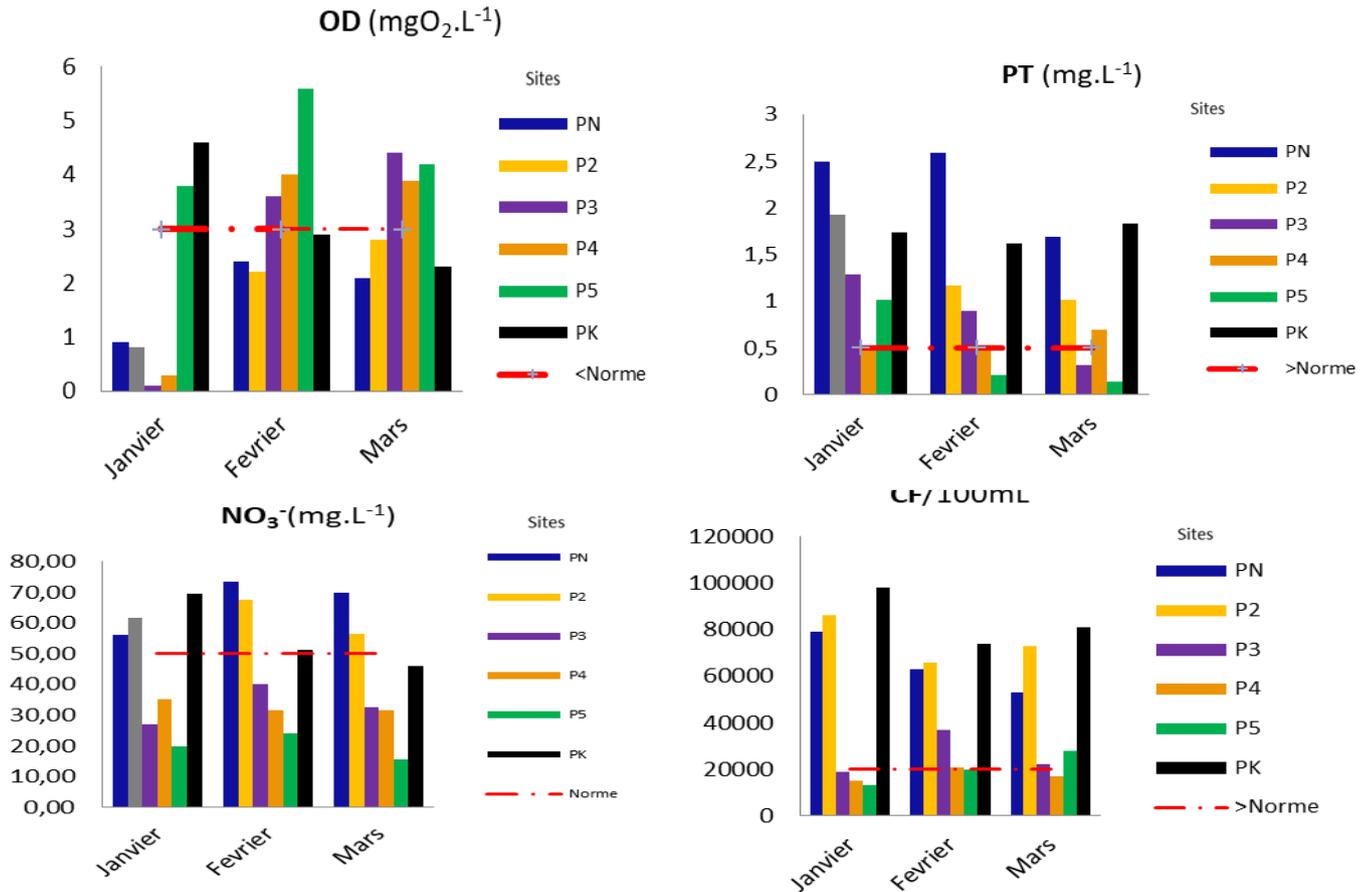


Figure 39. Paramètres physico-chimique, bactériologique et le ratio DCO/DBO₅ de la caractérisation des eaux de surface dans les six sites de la ville de Fès

L'ammonium ne dépasse pas la norme (8 mg.L⁻¹) dans toutes les eaux superficielles étudiées. Cependant les ions nitrates dépassent les normes (50 mg.L⁻¹) au mois Février, au niveau des sites PN, P2 et PK. Quant à la concentration en phosphore est médiocre dans la plupart des sites étudiés, en particulier à Oued Tghat localisé au district Ain Nokbi.

La contamination par les CF est aiguë dans la majorité des 6 sites étudiés, en particulier aux points PN, P2 et PK. Ces derniers point se caractérisent par une pollution organique et minérale remarquable surtout au mois Février, ceci se coïncide avec la période de trituration des olives (IDRISSI, 2016), dont les valeurs les plus élevées sont celles du quartier Ain Kadous avec une valeur arrivant jusqu'à 101 000 UFC/100 ml dépassant largement la norme marocaine des eaux de surface.

Les résultats obtenus du rapport de biodégradabilité DCO/DBO₅ pour les trois mois de prélèvement (janvier, février et mars) de l'année 2017, montre que 60% des valeurs varient entre 3 et 8,6 avec un sommet au mois de février au niveau d'Oued Zhoun, existant au quartier Sidi Boujida, proviennent des effluents à provenance industrielle.

Afin de pouvoir répartir spatialement les résultats obtenus de ces paramètres, nous avons calculé les indices de pondération, pour déduire la qualité globale de la caractérisation physico-chimique et bactériologique ces eaux étudiées.

III.1. 2. Indices de pondération et d'altération

Les indices de pondération et d'altération obtenus durant les trois mois (janvier, février et mars), sont représentés dans le tableau 10, selon l'approche SEQ-eau.

Les paramètres mesurés et analysés sont au nombre de dix, à savoir : T ; pH; OD; CE ; TU; DCO; NH₄⁺; NO₃⁻; DBO₅; PT et une analyse bactériologique concernant la recherche des CF.

Tableau 10. Résultats des moyennes des indices d'altération et de pondération durant la période 2017

Altérations	Sites	PN	P2	P3	P4	P5	PK
	Indices	100 80	80 60	60 40	40 20	0 20	
	Ip & Ia						
(1) Température	$I_{a1}=I_{pT}$	74,2	77,1	77,2	81,0	77,2	81,0
(2) Acidification	$I_{a2}=I_{p_{pH}}$	60,1	67,3	65,5	64,8	65,5	64,8
(3) Matières organiques et oxydables	$I_{p_{OD}}$	36,9	47,4	62,1	76,2	62,1	79,2
	$I_{p_{DBO_5}}$	15,7	31,7	28,3	43,4	28,3	19,8
	$I_{p_{DCO}}$	17,3	26,8	34,7	41,9	34,7	19,9
	$I_{p_{NH_4^+}}$	38,7	28,5	52,7	48,05	45,2	39,7
	$I_{a3} = (I_{p_{3+}} + I_{p_{4+}} + I_{p_{5+}} + I_{p_{6+}}) / 4$	18,65	35,5	41,9	55,3	41,9	40,2
Matières phosphorées	$I_{a4}=I_{p_{PT}}$	30,5	49,2	41,5	76,9	41,5	76,9
(5) Nitrates	$I_{a5}=I_{p_{NO_3}}$	48,0	53,0	60,8	74,6	60,8	74,6
(6) Minéralisation	$I_{a6}=I_{p_{CE}}$	46,7	44,3	62,7	69,4	62,7	69,4
(7) Particules en suspension	$I_{a7}=I_{p_{TU}}$	37,1	44,5	46,3	67,1	46,3	67,1
(8) Microorganismes	$I_{a8}=I_{p_{CF}}$	21,7	19,4	34,0	49,1	38,0	18,7

Selon le couplage SIG-SEQ-Eau, nous avons calculé les huit altérations dont ces résultats ont représentés sur un fond cartographique. Par ailleurs, les valeurs élevées des différentes altérations représentent une meilleure qualité.

III.1. 3. Répartition spatiale de la qualité globale des paramètres de la qualité des eaux superficielles au niveau de la ville de Fès

Les résultats des valeurs moyennes de l'évaluation de la qualité globale au niveau des six sites nous montrent que la majorité des sites étudiés sont de mauvaise qualité, les sites P2, PN et PK sont les plus pollués avec des indices de qualité globale variant entre 13,66 et 19,22. Ceci montre que ces affluents au niveau de la ville de Fès subissent des apports anthropiques dégradant leur qualité.

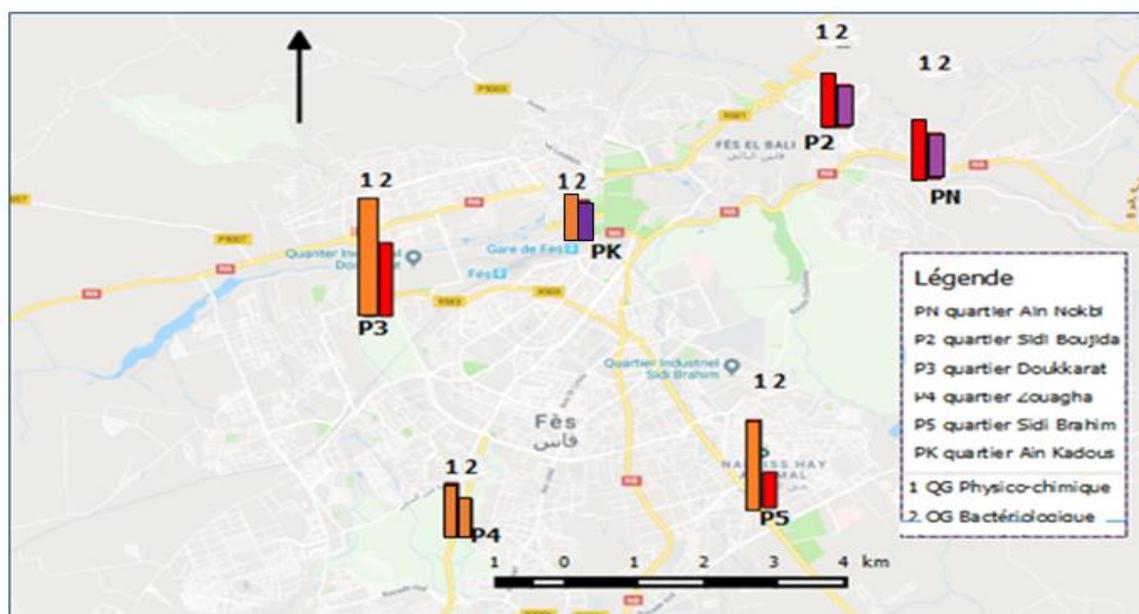


Figure 40. Répartition géographique de la caractérisation physicochimique et bactériologique globale au niveau des six sites étudiés

Durant les mois Janvier et Février nous avons remarqué au niveau du site S4 localisé au quartier Zouagha (Oued Ain Chekef avoisinant quartier Bensouda) que même après un épisode pluvieux, une présence d'une mousse sous forme des amas de flottants en surface du ruisseau. Sachant que la réaction de saponification s'effectue entre la graisse et le groupe alcool, en effet coïncidant avec la période oléicole, ceci est probablement dû à la présence des effluents des margines ; ou probablement à la présence massive des détergents, même biodégradables, dont les apports importants de matières organiques colloïdales (ex. substrat lipidique...) ou d'hydrocarbures sont aussi susceptibles d'engendrer un moussage. La propagation des mousses dans les effluents traités par la STEP causera un dysfonctionnement et colmatage aux matériels utilisés (clarificateurs, bioréacteurs, bassin d'aération, etc.). D'après le dépouillement de ces résultats le site PK d'AIN Kadous connaît une pollution physicochimique et bactériologique remarquable. En effet, suite à ces résultats et aux résultats épidémiologiques nous avons réalisé un suivi spatio-temporel mensuel de ce point durant l'année 2017.

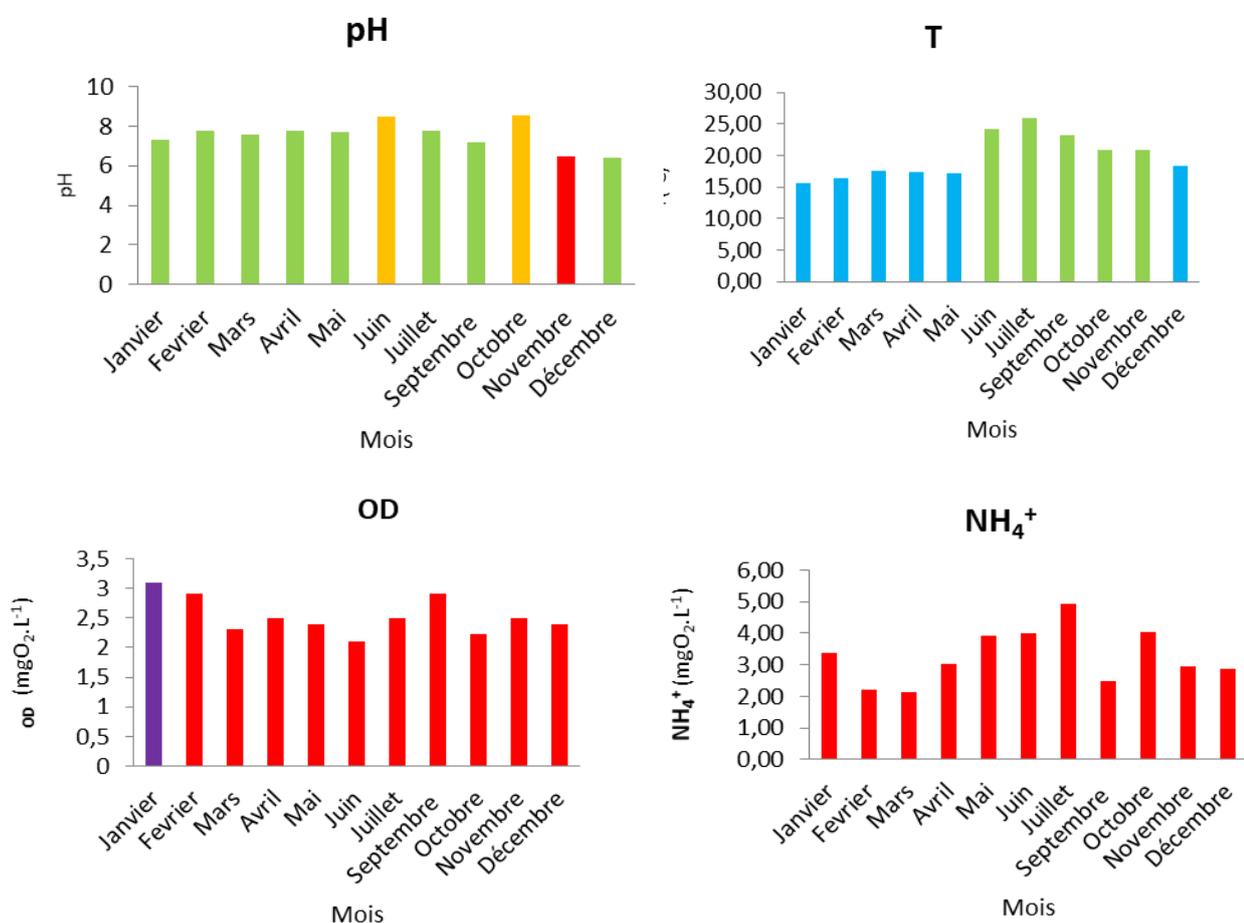
III.2. Évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux superficielles au niveau du quartier Ain Kadous

III.2.1. Évaluation spatio-temporelle mensuelle des paramètres physicochimiques et bactériologiques du site PK

Les résultats de l'évaluation de la qualité spatio-temporelle, au cours des mois de l'année 2017, du site PK

Afin d'indiquer la norme pour chaque paramètre, durant les différents mois de l'année, chaque classe est déterminée par une couleur distinctive, selon les directives marocaine de la norme des eaux de surface d'une rivière (B.O, 2016) :

- Classe de qualité excellente : bleue
- Classe de qualité bonne : verte
- Classe de qualité moyenne : jaune
- Classe de qualité mauvaise : rouge
- Classe de qualité très mauvaise : violette



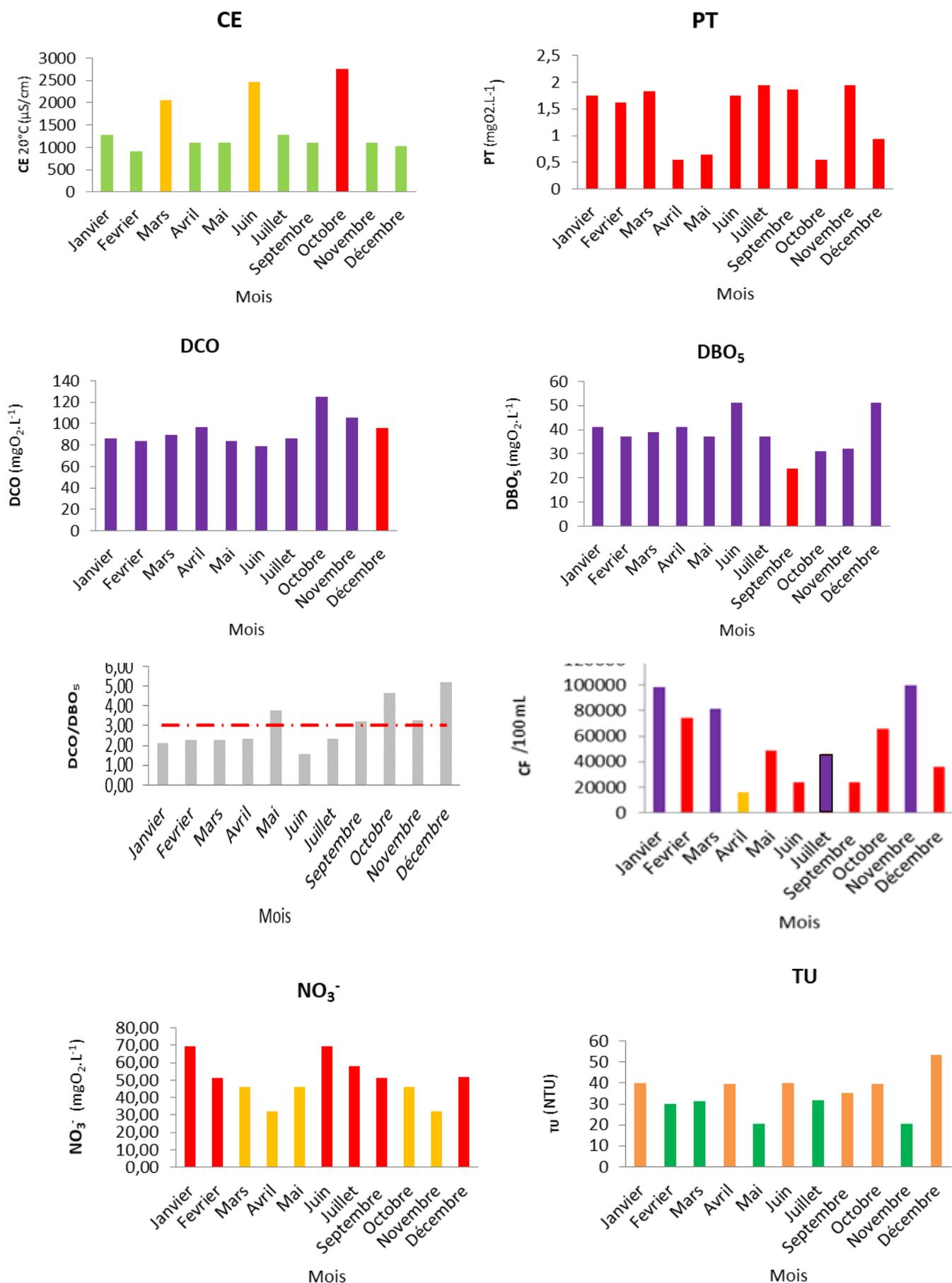


Figure 41. Suivi spatio-temporel des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'évaluation mensuelle de la qualité des eaux, pour l'année 2017, au niveau du site PK

Le dépouillement des résultats obtenus montre que la température est comprise entre 16,7 °C et 25,53 °C comme extrêmes minimum et maximum. Ces valeurs atteignent leur maximum équivalent à 26,4 °C en été, au niveau du PK ; ces températures élevées pourraient stimuler la prolifération des microorganismes nuisibles qui peuvent causer des odeurs et des goûts désagréables. Les valeurs confirmées (<30 °C) classent ces eaux dans la plage de bonne qualité.

Le pH est d'une bonne qualité variant entre un pH neutre 7,1 pour P4 et fortement basique 10,69 pour P2. Globalement il est classé de bonne qualité.

Les valeurs obtenues de l'oxygène dissous sont moyennes pour les trois premières stations, elles sont comprises entre 2,1 mg O₂.L⁻¹ comme valeur minimale à l'été et une élévation remarquable de 4,6 mg O₂.L⁻¹ comme valeur maximale en printemps. Concernant les saisons automnales et hivernales il est d'une mauvaise qualité atteignant successivement 2,23 et 2,5 mg O₂.L⁻¹. La pollution d'origine organique des eaux constatée en ces sites est en accord avec la faible concentration d'oxygène dissous (valeur moyenne OD = 2,6 mg/l). Ces faibles valeurs de l'OD sont dues à l'utilisation de cet oxygène au cours de la dégradation de la matière organique présente dans l'eau par les bactéries.

Au cours des différentes saisons, nous avons observé des écarts importants au niveau de la DCO. Malheureusement elle est de très mauvaise qualité variant entre 79 mg O₂.L⁻¹ et 103 mg O₂.L⁻¹. Elle atteint 125 mg O₂.L⁻¹, ces valeurs sont élevées par rapport aux directives marocaines sur la classification des eaux de surface qui ne dépassent pas 35 mg O₂.L⁻¹ pour une bonne qualité de 120 mg O₂.L⁻¹ (B.O, 2016).

À propos de l'évolution temporelle de la demande biologique d'oxygène DBO₅ durant la période d'étude pour les différentes saisons, elle est d'une très mauvaise qualité avec un maximum de 51 mg O₂.L⁻¹, ceci montre que ces eaux sont riches en matières organiques et impactées par des rejets pollués.

Le dépouillement des résultats obtenus du rapport DCO/DBO₅ durant les différentes saisons, montre qu'à partir du mois 9 les valeurs moyennes du ratio DCO/DBO₅ sont supérieures à 3, proviennent des effluents à provenance industrielle, il atteint son maximum de 4,02 durant l'automne, cela traduit l'apport d'un effluent industriel plus ou moins difficilement biodégradable. Cette variation influence la nature de la biodégradation des matières organiques des eaux naturelles. Ces derniers se fluctuent entre effluents biodégradables à non biodégradable d'un mois à autre.

L'ammonium représente une très mauvaise qualité avec une valeur maximale arrivant à

4,9 mg NH₄.L⁻¹ en été. La même chose est observée pendant les saisons hivernales et automnales avec une valeur moyenne maximale de 4,01 mg NH₄.L⁻¹ ; indiquant, de ce fait une contribution importante des apports anthropiques de cet affluent d'Oued Fès.

L'évaluation de l'altération de la MOO nous a permis de trouver que la qualité des eaux de l'Oued Aljawahir pour les matières organiques et oxydables subit généralement une dégradation venant même des zones parcourues par avant.

À l'égard de la teneur et la composition minérale et organique des particules en suspension (PES) dans les eaux, elles sont très variables selon les saisons. Elles sont en fonction de la nature des terrains traversés avant, de la saison et des types et quantité des rejets. Les valeurs moyennes de la TU obtenues, fluctue entre 53 NTU comme valeur maximale au mois décembre et 22 NTU comme valeur minimale au mois février, au cours de la même saison hivernale; ceci dit que le site PK a été menacé par un apport anthropique durant la même saison. En effet, elle est classée d'une mauvaise qualité. Les teneurs élevées en MES peuvent attaquer le développement de la vie aquatique.

Quant à l'altération en micro-organismes est classée d'une mauvaise qualité. Les valeurs moyennes du suivi temporel des CF durant l'hiver et l'automne de l'année 2017, atteint un maximum d'une valeur dépassant largement les directives marocaines des eaux de surface d'une rivière.

La représentation cartographique du suivi spatio-temporel (montre clairement que la saison estivale et automnale sont les plus polluées par les altérations (MOO, TU et CF) qui sont très liées entre eux, car leur dégradation explique la présence des matières organiques oxydables et non biodégradables. Ceci confirme la consommation d'oxygène, la diminution de la clarté de l'eau et par la suite favorisant la prolifération bactérienne.

Les résultats obtenus montre que les valeurs moyennes du PT, obtenues sont comprises entre 0,51mg.L⁻¹ et 1,2 mg.L⁻¹ comme extrêmes minimum et maximum. Ce paramètre est d'une très mauvaise qualité, durant les saisons estivales. Ceci est fort probablement expliqué par la présence excessive des activités anthropiques. Ce site est proche de la zone industrielle Dokkarat et Bensouda., reçoit aussi l'eau en prévenance de la zone agricole ZOUGHA. Au niveau de cette zone, l'abreuvement du bétail constitue aussi une source non négligeable de la contamination des eaux par les nitrates. Cette altération positionne ces eaux dans la gamme de moyenne qualité.

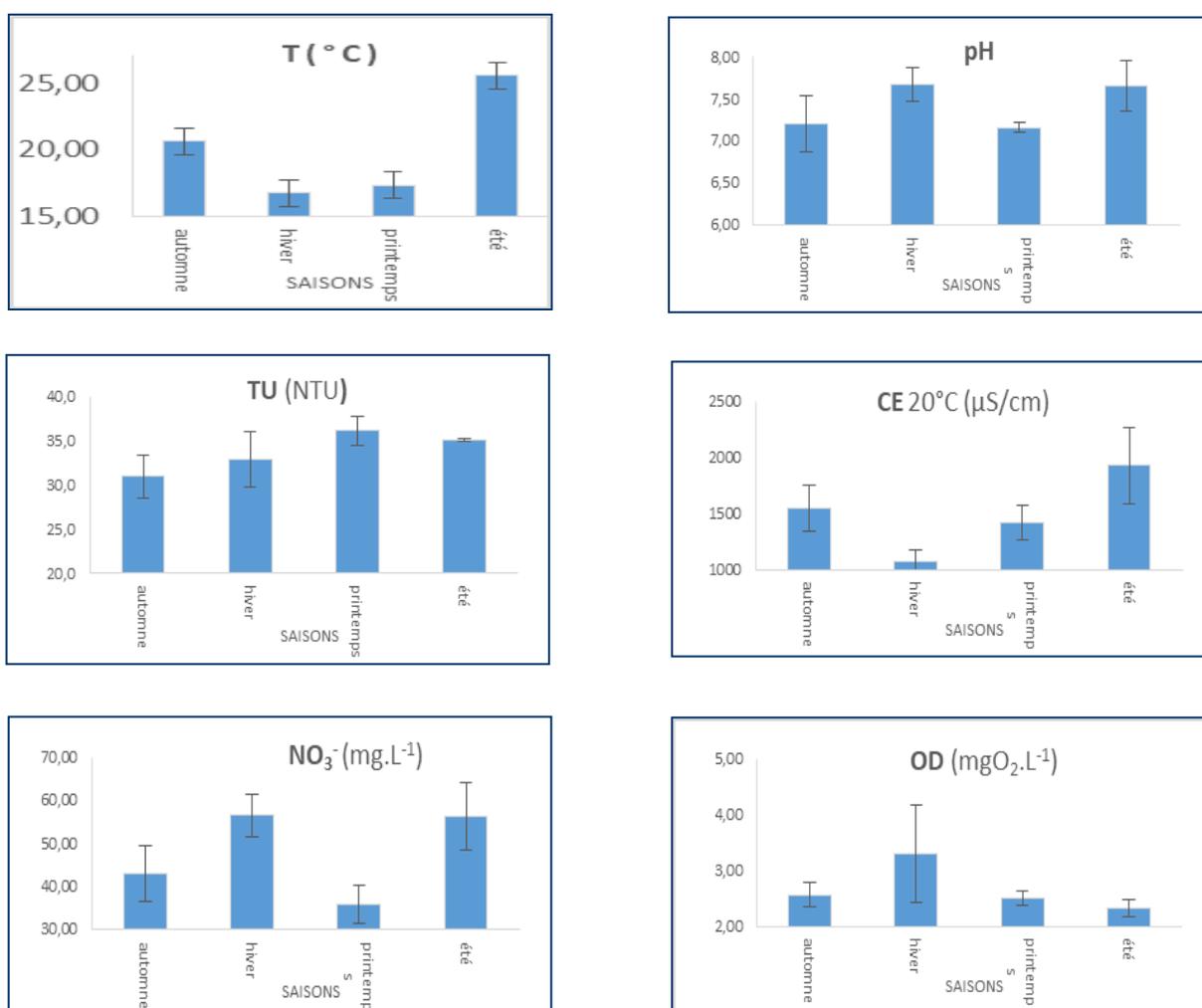
Le taux de minéralisation de l'eau, représenté par la CE est classé d'une bonne qualité durant toute la période d'étude, juste pour le mois septembre elle atteint 2776 µs cm⁻¹., positionnant

ces eaux dans la gamme de mauvaise qualité, probablement due au manifestant ainsi une minéralisation excessive attribuée aux sels utilisés lors du tannage, lors cette saison.

Pour la qualité bactériologique globale, elle est médiocre classée de très mauvaise qualité.

III.2.2. Représentation des résultats des valeurs moyennes saisonnières des paramètres physicochimiques et bactériologiques du site PK

Les résultats des valeurs moyennes ainsi que des écarts type des différents paramètres physicochimiques et bactériologiques pour le point PK, durant la période d'étude 2017, sont représentés graphiquement dans la figure 42 selon les différentes saisons.



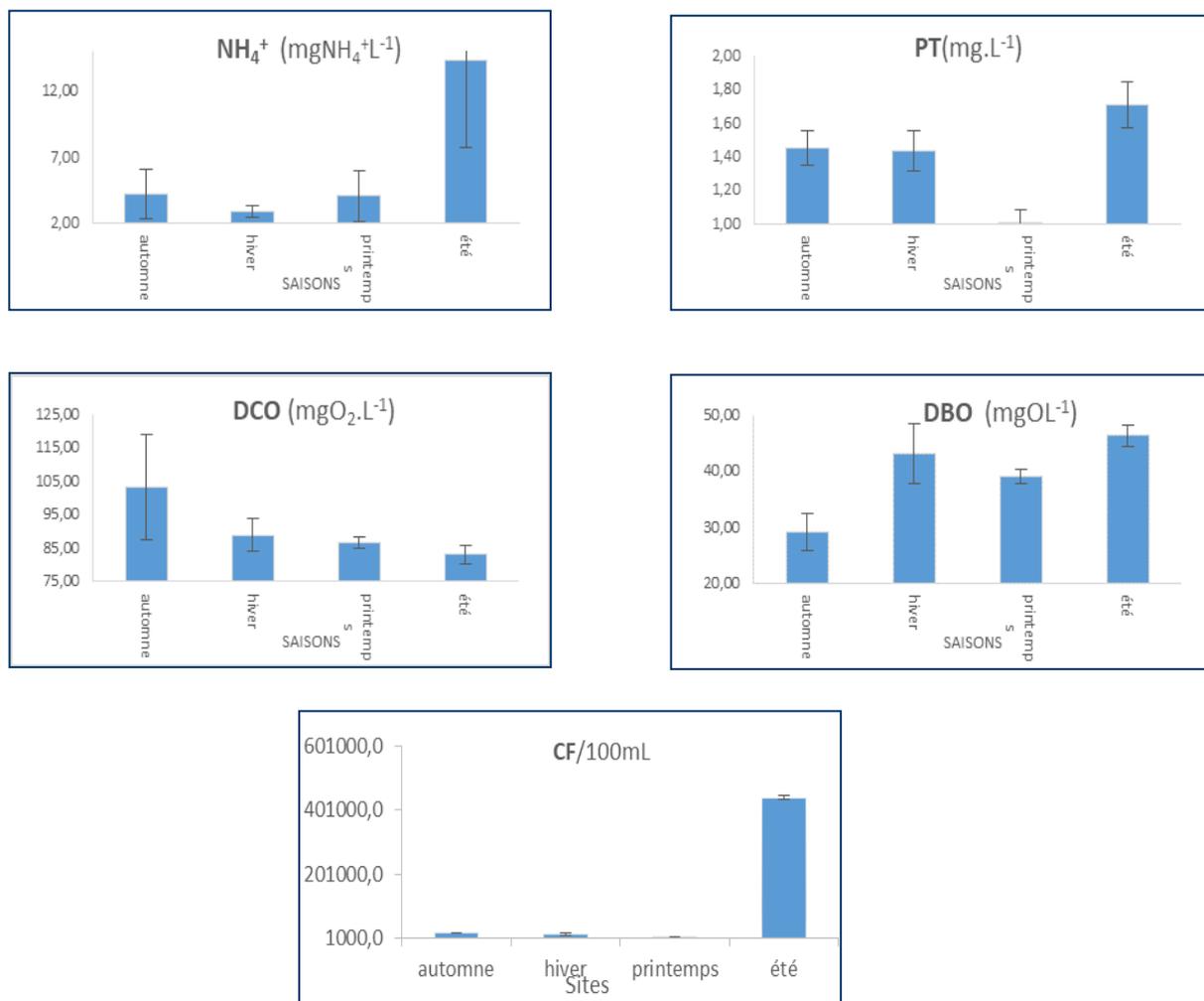


Figure 42. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'évaluation saisonnière de la qualité des eaux, au niveau du point PK pour l'année 2017

Les valeurs obtenues de la température sont comprises entre 16,7 °C et 25,53 °C comme extrêmes minimum et maximum. Ces valeurs atteignent leur maximum équivalent à 26,4 °C en été, au niveau du site PK ; ces températures élevées pourraient stimuler la prolifération des microorganismes nuisibles et morbides.

Le pH varie entre 7, 2 et 8,69, globalement il est classé de bonne qualité.

Les valeurs obtenues de l'oxygène dissous sont. Concernant les saisons automnales et hivernales il est d'une mauvaise qualité atteignant successivement 2,23 et 2,5 $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$.

Au cours des différentes saisons, nous avons observé des écarts importants au niveau de la DCO. Malheureusement elle est de très mauvaise qualité variant entre 79 $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ et 103 $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Pour les saisons hivernales, elle atteint 125 $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, ces valeurs sont élevées par rapport aux directives marocaines sur la classification des eaux de surface qui ne dépassent pas 35 $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ pour une bonne qualité de 120 $\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ (B.O, 2016).

À propos de l'évolution saisonnière des valeurs moyennes de la demande biologique d'oxygène DBO₅ durant la période d'étude pour les différentes saisons, elle est d'une très mauvaise qualité avec un maximum de 51 mg O₂.L⁻¹, ceci montre que ces eaux sont riches en matières organiques et impactées par des rejets pollués.

Ce paramètre représente une très mauvaise qualité avec une valeur maximale arrivant à 4,9 mg NH₄.L⁻¹ en été. La même chose est observée pendant les saisons hivernales et automnales avec une valeur moyenne maximale de 4,01 mg NH₄.L⁻¹; indiquant, de ce fait une contribution importante des apports anthropiques de cet affluent d'Oued Aljawahir.

Les valeurs moyennes de la TU obtenues, fluctue entre 53 NTU comme valeur maximale au mois décembre et 22 NTU comme valeur minimale au mois février, au cours de la même saison hivernale; ceci dit que le site PK a été menacé par un apport anthropique durant la même saison.

Le dépouillement des résultats obtenus montre que les valeurs moyennes du PT, obtenues sont comprises entre 0,51mg.L⁻¹ et 1,2 mg.L⁻¹ comme extrêmes minimum et maximum. Ce paramètre est d'une très mauvaise qualité, durant les saisons estivales. Ceci est fort probablement expliqué par la présence excessive des activités anthropiques.

Les valeurs moyennes de la conductivité électrique pour le mois septembre atteint 2776 µs cm⁻¹., positionnant ces eaux dans la gamme de mauvaise qualité, probablement due au minéralisation excessive de ces eaux attribuée aux sels utilisés lors du tannage, au cours de la saison automnale.

Ces paramètres sont convertis en indices d'altération afin de pouvoir les représentés spatialement sur des fonds cartographiques selon la norme marocaine des eaux de surface, et par conséquent déterminer la qualité globale de chaque site pour les différentes saisons et la durée totale d'étude pour cette zone.

IV. Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des différentes altérations du site PK

Le site choisi pour le suivi spatio-temporel est situé au niveau du quartier Ain Kadous (PK). Le suivi a été réalisé mensuellement pendant l'année 2017, on se concentrant sur la période de trituration des olives. L'analyse des valeurs des écarts types et des moyennes minimales et maximales des différents paramètres physico-chimiques et microbiologiques de la qualité étudiée, et des valeurs moyennes des indices d'altération de qualité globale des eaux de surface ont été étudiés selon le SEQ-Eau, les paramètres mesurés et analysés, sont au nombre

de dix-neuf, à savoir : T ; pH; OD; CE ; TU; DCO; NH₄⁺; NO₃⁻; DBO₅; PT et une analyse bactériologique des CF. En plus d'un suivi saisonnier concernant l'analyse des salmonelles et l'évaluation des ETM qui sont : Zn, Cu, Cr III, Ni, Pb et Cd.

Tableau 1. Résultats des moyennes des indices d'altération et de pondération durant la période 2017

Altérations	Sites	Hiver	Printemps	Été	Automne	
	Indices	100 80	80 60	60 40	40 20	20 0
	Ip & Ia					
(1) Température	I a₁=I_{pT}	87,4	82,1	80,1	88,4	
(2) Acidification	I a₂=I_{p_{pH}}	61,4	68,0	57,1	39,8	
(3) Matières organiques et oxydables	I_{p_{OD}}	18,9	37,9	39,0	39,1	
	I_{p_{DBO5}}	34,0	19,9	18,0	17,6	
	I_{p_{DCO}}	36,9	17,5	19,8	18,2	
	I_{p_{NH4+}}	30,9	34,6	38,3	30,3	
	I_{a3}= (I_{p₃₊}+ I_{p₄₊}+ I_{p₅₊}+ I_{p₆}) /4	30,1	37,4	37,5	36,3	
Matières phosphorées	I a₄=I_{p_{PT}}	40,0	33,3	35,3	39,0	
(5) Nitrates	I a₅=I_{p_{NO3}}	39,4	59,4	37,7	52,0	
(6) Minéralisation	I a₆=I_{p_{CE}}	53,7	71,2	63,7	59,2	
(7) Particules en suspension	I a₇=I_{p_{TU}}	64,6	86,6	58,6	56,6	
(8) Microorganismes	I a₈=I_{p_{CF}}	18,7	32,1	17,3	19,4	
Qualité physico-chimique globale		30,1	33,3	37,5	36,3	
Qualité bactériologique globale		18,7	32,1	17,3	19,4	

IV.1. Altérations 1 & 2 : Température et Acidification

L'analyse des résultats obtenus montre que l'altération de la température est de bonne qualité (Figure. 43) qui peuvent causer des odeurs et des goûts désagréables. Les valeurs confirmées (<30 °C) classent ces eaux dans la plage.

L'acidification (Figure. 43) est généralement, pour l'année 2017, classée d'une bonne qualité.



Figure 43. Évolution spatio-temporelle des moyennes du pH et T pendant l'année 2017

IV.2. Altérations 2, 3 et 4 : Matières organiques et oxydables, particules en suspension et microorganismes

L'évaluation de l'altération de la MOO nous a permis de trouver que la qualité des eaux de l'Oued Aljawahir pour les matières organiques et oxydables subit généralement une dégradation venant même des zones parcourues par avant.

À l'égard de la teneur et la composition minérale et organique des particules en suspension (PES) dans les eaux, elles sont très variables en fonction de la nature des terrains traversés avant, de la saison et des types et quantité des rejets. En effet, elle est classée d'une mauvaise qualité. Les teneurs élevées en MES peuvent attaquer le développement de la vie aquatique.

Quant à l'altération en micro-organismes est classée d'une mauvaise qualité. Les valeurs moyennes du suivi temporel des CF durant toute la période d'étude 2017 atteinte un maximum d'une valeur dépassant les normes. La qualité la plus dégradée est enregistrée durant les saisons estivales avec une valeur de 4610^3 CF/100 ml.



Figure 44. Évolution spatio-temporelle des moyennes de TU, CF et MOO pendant l'année 2017

La représentation cartographique spatial (montre clairement que le site PK est pollué par les altérations (MOO, TU et CF) qui sont très liées entre eux, car leur dégradation explique la présence des matières organiques oxydables et non biodégradables. Ceci confirme la consommation d'oxygène, la diminution de la clarté de l'eau et par la suite favorisant la prolifération bactérienne.

IV.3. Altérations 7, 8 et 9 : Matières phosphorées, Nitrates et Minéralisation

Ce site PK est proche de la zone industrielle Dokkarat et Bensouda., reçoit aussi l'eau en prévenance de la zone agricole ZOUGHA. Au niveau de cette zone, l'abreuvement du bétail constitue aussi une source non négligeable de la contamination des eaux par les nitrates. Cette altération positionne ces eaux dans la gamme de moyenne qualité.

Le taux de minéralisation de l'eau, représenté par la CE est classé d'une moyenne qualité pour la période d'étude.

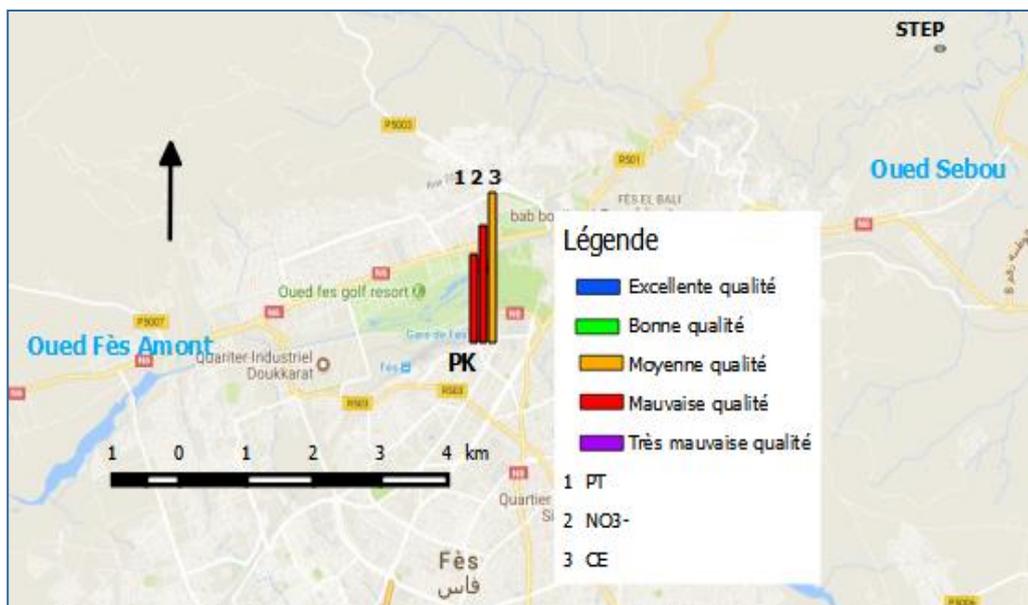


Figure 45. Évolution spatio-temporelle des moyennes de PT, NO_3^- et CE pendant l'année 2017

IV.4. Évaluation globale de la qualité globale des eaux de surface de la zone A

IV.4.1.Évaluation de la qualité globale physico-chimique et bactériologique

Pour la qualité bactériologique globale, elle est médiocre classée de très mauvaise qualité.

Subséquentement, dans l'ensemble selon le SEQ-eau on peut classer ces eaux dans la gamme de mauvaise qualité physico-chimique, qui ne répondent pas aux directives marocaines sur la classification des eaux de surface (B.O, 2016).

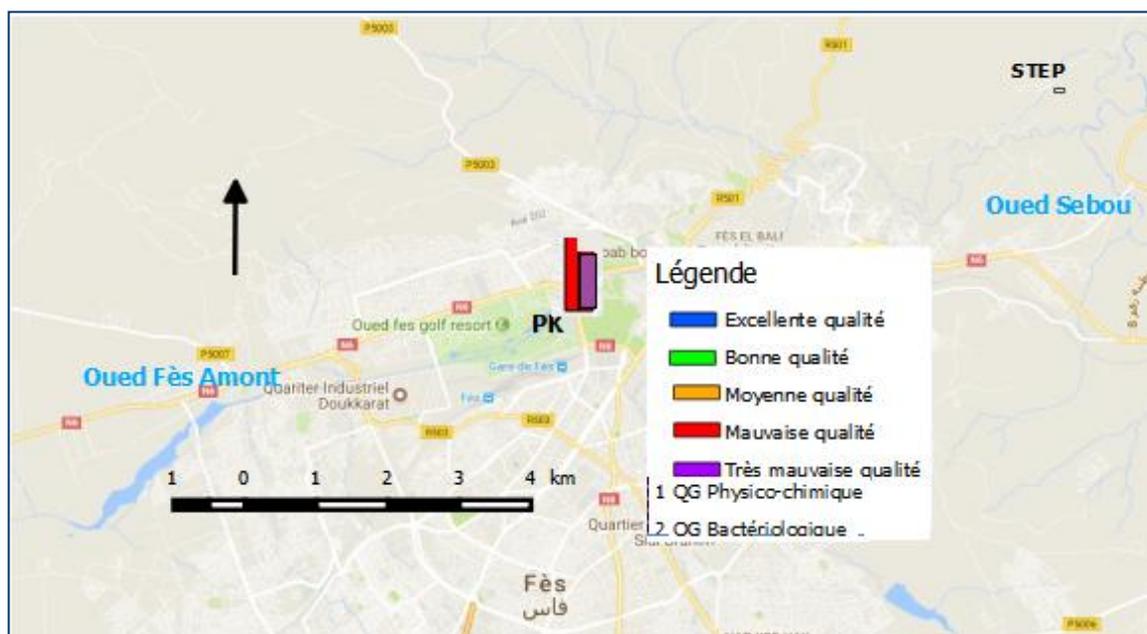


Figure 46. Qualité globale physico-chimique et bactériologique pour l'évaluation mensuelle de l'année 2017 au niveau du site PK

IV.4.2. Analyse de la salmonella Typhi

Malgré qu'il y ait d'une contamination fécale. On n'a pas détecté la présence de *Salmonella* au niveau de ce cours d'eau. Car l'analyse bactériologique des Salmonelles donne toujours un résultat d'identification négatif, désignant l'absence de ces germes dans les échantillons analysés.

L'absence probable de ces germes à l'état viable et cultivable n'implique pas l'absence totale de ces dernières.

Tableau 11. Analyse de Salmonella au niveau du site PK

	Printemps	Été	Automne	Hiver
Salmonella UFC/25g	Absence	Absence	Absence	Absence

La détection bactériologique de *Salmonella*, dans les échantillons environnementaux, est coûteuse et laborieuse, nécessitant jusqu'à cinq jours pour obtenir un résultat. D'une part leur présence en nombre relativement faible dans les eaux ainsi que leur difficulté d'y survivre ; d'autre part l'existence habituelle d'un nombre important de germes d'accompagnement, d'origine fécale (Lalami et al., 2014). Les microorganismes éventuellement pathogènes peuvent cohabiter avec les indicateurs de contamination fécale dénombrés, ce qui laisse à penser qu'il y a une filiation entre les bactéries indicatrices de contamination fécale et les germes pathogènes genre Salmonelles (Lalami et al., 2014), ces constatations entraînent l'obligation d'utiliser des milieux d'enrichissements sélectifs, dans le but d'inhiber le développement des autres bactéries.

Dans la ville de Fès, la présence de l'espèce salmonella typhi dans les eaux usées et dans les cultures maraîchères notamment la laitue a été confirmée et rapportée par les travaux de Talouizte et al. (Talouizte et al., 2008). De même, sa présence a été confirmée par Lalami et al. (2014) (Lalami et al., 2014) au niveau des eaux usées des deux stations pont Narjis et Quartier Industriel Dokkarat.

IV.4.3. Évaluation de la qualité globale métallique

Les éléments métalliques analysés par ICP sont en nombre de six. Le tableau 12 représente les différents éléments métalliques (ETM) analysés durant l'année 2017, susceptibles d'être présents dans les eaux superficielles de l'affluent Al Jawahir qui traverse le quartier Ain Kadous, ayant fait l'objet d'un prélèvement par saison, suite aux différentes activités artisanales entourant la zone de l'étude.

Tableau 12. Évaluation temporelle des ÉTM dans les eaux superficielles

Altérations	Cd	Cr III	Ni	Pb	Zn	Cu
Printemps	86,6	29,1	33,9	68	59,1	73,3
Été	86,7	29,1	65,0	80,1	65,0	93,3
Automne	92,6	30,7	20,1	77,8	96,7	57,3
Hiver	92	28,45	49,2	77,6	56,1	68,6
Qualité globale	86,6	28,45	20,1	68	56,1	57,3

Le dépouillement des résultats des éléments majeurs, révèle une concentration élevée, caractérisée par une qualité globale mauvaise dominée en Cr et Ni. Une moyenne qualité en cuivre arrivant à 0.07 et 0.08 mg.L⁻¹, successivement dans la saison estivale et hivernale. Similairement, la toxicité en chrome dépasse les normes (B.O, 2016) avec une qualité mauvaise durant toute l'année, allant jusqu'au 0,07 mg.L⁻¹ avec une tendance à l'augmentation en Hiver.

Le Zn et le Cu sont classés d'une moyenne qualité, tandis que le Cd et Le Pb sont d'une bonne à excellente qualité. La qualité métallique du site étudié est classée mauvaise à cause de la forte présence du Cu et du Cr III, indiquants un fort impact anthropique lié aux rejets industriels non traités. De même, à cause de la présence d'un terrain Golf et de l'abattoir principal de la ville, connu sous le nom d'El Guarna ; au niveau du quartier Ain Kadous, qui demande des entretiens réguliers avec l'utilisation des forts pesticides, ceci peut constituer une cause principale de la présence de ces métaux. Il convient de préciser que ceci témoignent ainsi d'une augmentation des apports de contaminants en lien avec l'urbanisation et l'industrialisation accélérés de la ville de Fès durant ces dernières années, ce qui soulève donc la question des éventuels risques auxquels la population, utilisent ces eaux pour différentes activités (baignade, arrosage...).

En conclusion, les résultats montrent clairement l'existence des apports anthropiques sur les ressources hydriques en question, et nécessitent plus de recherches dans ces colonnes d'eau.

IV.4.4. Évaluation de la qualité globale durant la période de trituration des olives

Le suivi de l'évolution de la qualité qu'on a réalisé durant le mois novembre et décembre montre que les valeurs de l'altération microbiologique sont élevées par rapport aux autres saisons ce qui montre que le pH est légèrement acide, surtout au mois décembre, influence la

croissance des germes CF dans l'eau. Les valeurs moyennes des indices d'altération les plus faibles indiquent la qualité globale des eaux.

Tableau 13. Évaluation de la qualité globale physico-chimique et bactériologique durant la période de trituration des olives

Altérations	(1) Température	(2) Acidification	(3) MOO	(4) Matières phosphorées	(5) Nitrates	(6) Minéralisation	(7) Matières en suspension	(8) Microorganismes
Novembre	92,7	59,0	24,2	27,7	34,9	57,3	54,0	49,1
	84,7	47,0	29,6	33,8	39,2	56,7	50,6	31,0
	91,7	66,8	45,0	36,9	58,3	56,7	66,8	43,3
	89,7	60,2	43,4	45,3	56,0	62,3	70,2	38,7
Décembre	88,6	61,1	51,7	68,1	66,5	56,2	68,9	40,0
	92,9	56,0	33,1	32,5	42,0	63,3	54,0	32,9
	90,2	62,0	48,7	58,1	67,0	66,0	62,5	33,0
	89,1	53,6	33,1	42,7	51,0	65,4	50,2	24,0
Qualité globale	84,7	47,0	24,2	27,7	34,9	56,2	50,2	24,0

IV.4.5. Analyses statistiques de la variance (ANOVA)

L'ANOVA est menée pour étudier la variation temporelle des différentes altérations. Pour cela, nous avons analysé l'évolution de chaque paramètre en fonction de la succession des saisons. Le tableau 14 présente les résultats du test analytique uni varié, modèle fixe appliqué à chacune des 18 variables mesurées au cours de la période étudiée, s'étalant du 17/01/2017 au 17/12/2017.

L'ANOVA a pour fin d'examiner l'égalité des moyennes de chaque altération des différents paramètres mesurés et analysés pendant la période de l'étude, d'une autre manière, cette analyse permet d'identifier l'existence des différences entre les campagnes de prélèvements.

Les variables de qualité de l'eau sont significativement liées à la variation de la succession des saisons

Tableau 14. Analyse de la variance ANOVA des différentes altérations de la qualité des eaux, du site PK en fonction du temps

Altération	Saisons			
	M.S	F	P value summary	Significant
(1) Température	2349,825	2349,825	P<0.0001 ***	Oui
(2) Acidification	338,252	338,252	0,0001***	Oui
(3) Matières organiques et oxydables	334,577	334,577	0,240 ns	Non
(4) Matières phosphorées	1,429	1,429	0,626 ns	Non
(5) Nitrates	100,820	100,820	0,895 ns	Non
(6) Minéralisation	,242	,242	0,892 ns	Non
(7) Particules en suspension	7,220	7,220	0,951 ns	Non
(8) Microorganismes	2349,825	2349,825	0,932 ns	Non

$p > \alpha = 0,05$: (ns) différences non significatives 5AVEC UNE ERREUR DE 5%

$p < \alpha = 0,05$: (*) différences juste significatives

$p < \alpha = 0,01$: (**) différences hautement significatives

$p < \alpha = 0,001$: (***) différences très hautement significatives CA VEUT DIRE 100%

VRAI

F: valeur F de Fisher ; M.S : moyenne quadratique

La valeur de P indique la probabilité du test Fisher; qui est un rapport des deux variances inter et intragroupe, l'hypothèse nulle est vraie quand $P < 0,05\%$.

Ce tableau 14 illustre les résultats des moyennes quadratiques appliqués à l'étude des variations saisonnières des altérations physico-chimiques et bactériologiques. Nous observons que Ces résultats révèlent que les deux altérations de température et de pH varient d'une façon très hautement et statistiquement significative avec la succession des saisons ($P < 0.0001$). Pour les autres paramètres, nous pouvons accepter l'hypothèse nulle (valeur $P > 0,05$), dont ces

paramètres varient d'une façon non significative avec le temps ; ils ne s'influencent pas par le changement climatique au niveau du site PK.

Nous retenons de ces résultats que le facteur temps n'a pas une grande influence sur la plupart des altérations étudiées. Bien que, les altérations restantes T° et pH varient significativement avec le temps.

Nous concluons que le facteur emplacement a peut être plus d'influence sur chacun des paramètres étudiés que le temps. En effet, les eaux superficielles de l'affluent Al Jawahir sont exposées aux activités anthropiques de sources et types différents. Les différences significatives constatées sont liées à la nature des activités influençant la qualité des eaux de cet oued (Ben Ali Rim, 2015).

V. Qualité des eaux de surface avant et après la mise en marche de la STEP

Les affluents d'Oued Fès aval allant jusqu'à l'oued Sebou ont fait l'objet de plusieurs sujets de recherche, portant sur la qualité des eaux superficielles physico-chimique et bactériologique. Le tableau 15 nous montre l'évolution de cette qualité des eaux, avant et après le fonctionnement de la STEP.

Tableau 15. Représentation des paramètres de l'évolution temporelle de la qualité des eaux de surface de l'aval d'Oued Fès selon le SEQ-Eau (B.O, 2016)

Publication	Période	T (°C)	pH	OD (mgO ₂ .L ⁻¹)	CE	TU (NTU)	NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	NO ₃ ⁻ (mg.L ⁻¹)	PT (mg.L ⁻¹)	CF/100ml
(Koukal et al., 2004)	Mai					-	-			-
(DERWICH et al., 2008)	Novembre & juillet				-					
(Hayzoun et al., 2014)	Mars, 2010	-	-	-	-	-	-	-	-	
(Hayzoun et al., 2015)	2011, 2012 mensuel					-				-
(ELSASS et al., 2014)	2013 mensuel			-		-	-	-		
(Idrissi et al., 2017)	2016 mensuel									

La plupart des études menées sur les eaux de surface des Oueds Fès et Sebou ont détecté une contamination physico-chimique et bactériologique des eaux de surface dans les deux cours

d'eau à l'Est de Fès depuis l'année 2004, ils ont lié cette dégradation de la qualité à la démographie intense, aux rejets urbains et industriels accrus. La majorité des paramètres étudiés mettent ces eaux à la grille d'une mauvaise qualité.

Les résultats physico-chimiques trouvés après fonctionnement de la STEP montrent une amélioration de la qualité physico-chimique. Par contre leur qualité bactériologique reste à travers le temps médiocre.

VI. Conclusion

À cause de la grande variation entre la qualité physico-chimique, bactériologique et saisonnière au niveau des différentes stations, à part le S5 qui est toujours de bonne à excellente qualité ; nous avons réparti, suite à l'emplacement géographique des différents sites, les valeurs moyennes des indices d'altération globale des eaux, selon les différentes saisons. La station S5 a été exclue des différentes interprétations, car, elle est toujours de bonne à excellente qualité. Cette station est située dans une zone éloignée du point de convergence entre oued Tghat et oued Sebou. En se basant sur les résultats de l'évaluation spatio-temporelle obtenus, de l'analyse de l'ANOVA, de l'examen de l'image satellite de Google Maps, des références bibliographiques et des observations sur le terrain, nous pouvons déduire que oued Tghat est le premier responsable de la pollution d'oued Sebou à l'aval du confluent Sebou-Fès sachant que le sens d'écoulement est orienté du Sud vers le Nord (figure 37 et 38).

L'objectif de l'étude de la zone A était d'évaluer spatiotemporellement la qualité globale des eaux de surface en aval d'oued Fès et de la confluence Sebou-Fès, après la mise en marche de la STEP. Les données physico-chimiques issues des mesures in situ et des analyses en laboratoire ont été comparées aux normes marocaines de la qualité des eaux superficielles d'une rivière (B.O, 2016). Le résultat a montré que les valeurs moyennes de la majorité des paramètres : oxygène dissous, turbidité, DBO₅, DCO, nitrates, conductivité électrique, ammonium et des phosphates dépassent les normes exigées. Néanmoins, celles des pH et des températures sont en grande partie conformes aux directives marocaines.

La détérioration de la qualité globale de ces eaux superficielles de cette région d'AL KANSARA est majoritairement due à l'altération de la matière organique et oxydable (OD, NH₄⁺, DCO et DBO₅) et éventuellement aux altérations liées à la minéralisation et la matière phosphorée. Les valeurs moyennes de la qualité globale bactériologique montrent un état très dégradé qui évolue en suivant le flux de l'écoulement de l'oued. Et persiste même aux saisons pluvieuses et printanières. L'application du système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-

Eau) a ces données a montré que sur le plan physico-chimique, 40% des eaux sont de qualité globale mauvaise et 60% de ces eaux sont de qualité globale moyenne à bonne. Toutefois, pour le statut bactériologique, 60% de ces eaux sont de qualité globale mauvaise à très mauvaise et 40% de ces eaux sont de qualité globale moyenne à bonne. Il est clair que ces eaux en provenance de la ville de Fès sont soumises à des pressions anthropiques. Âcrement, cette ressource vitale peut devenir un récepteur et un vecteur d'un bon nombre de substances polluantes et morbides. De ce fait, nous avons analysé la situation épidémique des deux maladies à transmission hydrique au niveau de la ville de Fès.

L'augmentation des teneurs des ETM dans les eaux d'oued Fès aval montre que l'apport de particules polluées en provenance des industries existantes à cette zone, principalement les tanneries et dinanderies, est assez important.

Partie B : MALADIES À TRANSMISSION HYDRIQUES : FIÈVRE TYPHOÏDE ET HÉPATITES VIRALES ÉPIDÉMIQUES

Malgré les nombreux efforts déployés par le gouvernement à divers niveaux et d'autres organismes intéressés par l'eau et sa sécurité, les maladies d'origine hydrique demeurent une préoccupation majeure en matière de santé publique et d'environnement. Les énormes investissements dans la recherche sur l'eau, bien qu'ils en vailent la peine, n'ont pas donné les résultats escomptés. Les maladies hydriques continuent de sévir dans les pays en développement, l'Afrique et l'Asie étant les plus touchées. L'indisponibilité de l'eau des canalisations et la dépendance des populations rurales vis-à-vis des eaux de surface souvent contaminées par des matières fécales sont sans doute les principales causes de la prévalence croissante des maladies hydriques (Nwabor, 2016). La disponibilité de l'eau et les mauvaises pratiques hygiéniques parmi ces populations rurales sont également une préoccupation majeure, car elles jouent un rôle important dans la propagation des maladies liées à l'eau. Aussi, les mauvaises pratiques environnementales qui encouragent l'élevage d'insectes et d'autres formes de vecteurs dans les zones résidentielles contribuent à la prévalence croissante des maladies hydriques. Les maladies à transmission hydrique représentent un lourd fardeau pour la santé dans de nombreuses régions du monde et sont la principale cause de décès dans les pays à faible revenu ayant un accès limité à l'eau potable, à l'assainissement et aux soins médicaux (Troeger et al., 2017).

Cette partie B analyse l'évolution des maladies à transmission hydrique : Hépatites virales épidémiques et fièvre typhoïde au niveau de la ville de Fès, en décrivant les méthodes et techniques utilisées avec une présentation des résultats obtenus.



CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ET GÉNÉRALITÉS

I. Introduction

La pollution des eaux a de lourdes conséquences sur la santé humaine. À l'instar de plusieurs pays en développement, le Maroc souffre des maladies à transmission hydrique. Ce chapitre donnera une vision générale sur les différentes notions de la science de l'épidémiologie qui évalue les risques causant ces maladies liées à l'eau, dont l'état actuel de la fièvre typhoïde et des hépatites virales. Aussi, il présente les efforts étatiques déployés ayant pour but la prévention des problèmes sanitaires. Enfin, il exhibe essentiellement les derniers travaux réalisés dans le domaine de la santé environnementale ; liés aux méthodes de l'évaluation spatiale et statistique.

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

II.1. Généralités sur l'épidémiologie et définition des concepts

II.1.1. Généralités sur l'épidémiologie

L'évaluation du risque de la santé environnementale chez les populations repose largement sur la science de l'épidémiologie. Cette dernière est une branche de la médecine qui couvre l'étude de l'incidence 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 & Munkholm, 2015).

Et selon Mac Mahon, l'épidémiologie est l'étude de la distribution des problèmes de santé et de leurs déterminants dans les populations humaines (Grant, 2016). Cette étude a pour but la prévention des problèmes de santé en se basant sur une étude épidémiologique de type écologique qui joue un rôle important dans la compréhension de la façon dont la dégradation des eaux de surface des oueds influe sur la répartition géographique de l'incidence des maladies d'origine hydrique.

II.1.2. Définition des concepts

-l'épidémiologie écologique : étude de l'écologie ou des corrélations des maladies infectieuses en examinant l'association entre les variations d'indicateurs collectifs d'exposition et de santé. Donc ne tenant pas compte de l'exposition ou l'état de santé de chaque individu, mais du niveau moyen d'exposition et de l'état de santé de population (écologie). Son objectif principal est de déterminer les variations de fréquence d'une maladie dans l'espace (étude géographique) ou dans le temps (étude temporelle) et de

mettre en correspondance ces variations globales avec des facteurs environnementaux, essentiellement à des fins de veille sanitaire.

-la fréquence : quantification de la survenue ou de l'existence du phénomène de santé dans la population.

-la distribution est l'ensemble de caractéristiques de personne, de lieu et de temps, lors du raisonnement épidémiologique. Elle permet de répondre à trois questions essentielles:

- qui fait la maladie ? (personne)
- où survient la maladie ? (lieu)
- quand survient la maladie ? (temps)

-les déterminants sont des facteurs qui augmentent la probabilité (facteur de risque, ex. tabac et cancer de poumon) ou la diminuent (facteur de protection, ex. sport).

-Incidence est l'extension nouvelle au sein d'une population délimitée et pendant une période donnée.

-l'épidémie est une augmentation inhabituelle du nombre de cas d'une maladie transmissible ou non survenue pendant une période donnée dans une population donnée.

-l'endémie est la survenue habituelle dans une région ou au sein d'une population d'une maladie donnée qui s'y manifeste de façon continue ou discontinue (ex. Présence du goitre dans le Moyen Atlas).

-la pandémie : est une forme d'épidémie particulièrement étendue géographiquement, touchant tout un continent, voir même le monde (ex. le SIDA).

Selon le domaine de la recherche, il existe plusieurs branches de l'épidémiologie : celle des maladies infectieuses, des maladies non infectieuses, hospitalières, génétiques, environnementales... (Egilman & Howe, 2007).

Il est important de prendre en compte le retour d'expérience entre l'écologie et l'environnement, du fait que la propagation des maladies infectieuses est influencée par des facteurs qui dépendent de l'agent pathogène (morbide), de l'individu (sexe, âge, génétique...), de l'environnement (éléments chimiques, température, sécheresse...), et du niveau économique et social de la population (analphabétisme, Moussem, tourisme...). Lors de l'apparition de tout phénomène de santé anormal, les professionnels de la santé sont obligés de le signaler à l'autorité sanitaire afin de prendre les mesures de prévention et de lutte convenable.

Les maladies à transmission hydrique sont parmi les maladies issues de la dégradation de l'environnement et qui sont à déclaration obligatoire DO.

II.2. Maladies à transmission hydriques

La découverte des Maladies liées à la pollution des eaux a été signalée par le médecin britannique John SNOW qui a suspecté à l'an 1849, en inventant simultanément la science de l'épidémiologie par utilisation des données spatiales, que l'eau potable joue un rôle dans la prolifération du choléra (Cicak & Tynan, 2015). Depuis lors, les études épidémiologiques ont été importantes pour investiguer et élucider le rôle de l'eau dans l'apparition des flambées de maladies d'origine hydrique.

À nos jours il existe plusieurs maladies à transmission hydrique tels la gastro-entérite, la dysenterie, la giardiase, la schistosomiase intestinale et l'uro-génitale causée par *Schistosoma mansoni* et *Schistosoma haematobium* respectivement qui touchent environ 150 millions de personnes en Afrique subsaharienne (Lai et al., 2015)), les hépatites virales A et E, la fièvre typhoïde, la vibriose, la légionellose,... le tableau 16 nous indique quelques micro-organismes causant ces maladies.

Tableau 16. Les principaux germes de risques biologiques (Griffiths, 2017)

Bactéries / virus	Maladies
<i>Salmonella typhi</i>	Fièvre typhoïde
Diverses <i>Salmonella</i>	Gastroentérites
<i>Shigella dysentericae</i>	Dysenteries
<i>Escherichia coli</i>	Diarrhées
<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abcès, furoncles, intoxications
<i>Legionella pneumophila</i>	Légionellose
<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	Ictère hémorragique
VHA, VHE,...	Hépatites virales A et E
<i>Mycobacterium avium</i> , ...	Pneumopathies

Ces agents pathogènes pénètrent notre organisme lorsque nous absorbons de l'eau contaminée, soit en buvant, en l'avalant accidentellement, en nageant ou par le biais d'égratignures.

À l'échelle mondiale, dans les pays en développement, les recherches ont montré qu'environ 2 millions d'enfants de moins de cinq ans meurent chaque année à cause de la consommation d'eau contaminée (Moreno et al., 2018).

En 2016, Qing Wang et al. ont évalué l'association entre la pollution de l'eau et les effets sur la santé par une étude longitudinale, et ils ont trouvé que la réduction de la pollution de l'eau favorise les associations entre le traitement de l'environnement aquatique et les résultats pour la santé (Wang et al., 2016).

Au Maroc, en 2017, Aziz et al. ont évalué l'impact de la consommation d'eau contaminée stockée dans des réservoirs sur l'état de santé de six communautés rurales situées à Assif El

Mal, au Sud-Est de Marrakech par la méthode moléculaire ; en utilisant la technique PCR-DGGE afin de déterminer la diversité bactérienne intestinale des consommateurs. Ils ont trouvé qu'il existe une relation entre les contaminations bactériennes des réservoirs de stockage, et l'état de santé lié aux maladies microbiennes, car les habitants de la zone étudiée souffrent de nombreux problèmes de santé (maladies diarrhéiques, vomissements ou hépatite A) en raison du manque d'infrastructures de gestion des déchets (Aziz et al., 2017).

Au niveau de la ville de Fès, selon les statistiques des services de la santé publique, trois maladies hydriques sont les plus fréquentes dans la ville. Il s'agit de la typhoïde, des hépatites virales et des Gastro-entérites. Tandis que le choléra a disparu depuis l'année 1990 (DELM, 2018). À cet effet, nous nous intéresserons à la répartition géographique des taux d'incidence des deux maladies, qui sont la fièvre typhoïde et les hépatites virales, au niveau des arrondissements et communes de la ville de Fès.

II.3. Fièvre typhoïde

II.3.1. Agent causal

La fièvre typhoïde, est une maladie d'origine hydrique courante, à transmission oro-fécale due à l'infection par la *Salmonella Typhi* (*S. Typhi*) qui est une bactérie bacillaire non capsulée et non sporulée, appartenant au Genre *Salmonella* et à l'espèce *enterica*) (Mutreja et al., 2016). Cette infection est ainsi favorisée par la surpopulation, le niveau bas de l'éducation, l'élimination inadéquate des eaux usées, le contact direct avec des porteurs asymptomatiques, la proximité aux masses d'eau insalubres, l'hygiène personnelle, les conditions socio-économiques et le voyage dans les régions endémiques (Wain, 2015). Ajoutons à cela les variables climatiques telles que la Température, l'humidité et les précipitations qui ont un effet important sur la transmission et la répartition géographique de la fièvre typhoïde (Bohara, Throat, Mulla, & Pawar, 2017).

II.3.2. Transmission

La transmission de la *S. Typhi* peut-être directe interhumaine, mais le plus souvent indirecte à partir d'eau ou d'aliments contaminés (Rahman et al., 2014). Si ce germe pathogène se trouve dans une rivière, il va persister pendant plusieurs semaines (Barrett, 2013). Généralement les symptômes de la Fièvre typhoïde apparaissent sous forme des Troubles digestifs : anorexie, nausées, douleurs abdominales modérées et parfois diarrhées, mais surtout une fièvre d'ascension progressive, atteignant 39-40 °C en 4 à 7 jours, accompagnés d'une faiblesse croissante (Comeau, Tran, Moore, Phi, & Quach, 2013).

En 2016, Naeem Bukhari et al. ont analysé les taux de séropositivité des salmonelles avec les variations saisonnières de la population de Taxila, dans la province pakistanaise, en prélevant et testant des échantillons de sang chez les patients suspects pour la séropositivité par agglutination sur lame (test de Widal) et test immunochromatographique. Ils ont montré une forte incidence à cause de la mauvaise manipulation des eaux (Bukhari et al., 2016; Dworkin et al., 2014).

II.3.3. Épidémiologie

Les rapports de l'Organisation mondiale de la santé ont révélé qu'environ 600 000 décès annuels dus à la fièvre typhoïde surviennent dans le monde entier (John, Crump, & ChB, 2017). Les pays en développement en Asie, en Afrique ou en Amérique latine partagent le fardeau le plus lourd en raison de la croissance démographique rapide, de l'urbanisation accrue et des systèmes d'eau limités ; les données mondiales les plus récentes font état de plus de 200 000 décès annuels (Barrett, 2013).

En 2011, 350 cas de fièvre typhoïde ont été déclarés et répartis essentiellement sur 3 régions : Meknès-Tafilelt (158 cas), Tanger-Tétouan (72 cas) et Fès-boulomane (37 cas) (Mouhaddach, 2015).

II.3.4. Traitement et prévention

Chloramphénicol (découvert en 1948) était le premier médicament efficace à être utilisé dans la fièvre typhoïde, et il a été suivi par les nouveaux dérivés de pénicilline comme traitement pour la typhoïde et d'autres infections à *Salmonella* analogues (Weill, 2010).

En plus des vaccins et des antibiotiques, cependant, les moyens les plus efficaces pour prévenir et contrôler la typhoïde sont le traitement sanitaire des eaux usées et l'établissement d'approvisionnement en eau potable propre.

En 2015, Wasihun et al. ont abordé le diagnostic et le traitement de la fièvre typhoïde, dans le Nord de l'Éthiopie en utilisant une méthode d'hémoculture standard. Ils ont trouvé que le test Widal de diapositive n'est pas utile dans le diagnostic de la typhoïde (wasihun et al., 2015). Dans d'autres études, les experts de la fièvre typhoïde ont souligné que la disponibilité appropriée de services médicaux, d'eau propre et des pratiques d'hygiène individuelles sont nécessaires pour prévenir la fièvre typhoïde (World Health, 2018).

II.4. Hépatites virales épidémiques

La maladie Hépatite désigne l'inflammation du foie, causée par des virus de différents types (A, B, C, E,...). Les hépatites virales épidémiques A et E sont jugées des maladies à transmission hydrique de déclaration obligatoire au Maroc.

II.4.1. Hépatite virale A

II.4.1.1. Agent causal

L'hépatite A, est une infection hépatique provoquée par le virus de l'hépatite A (VHA). Le virus se propage essentiellement lorsqu'une personne non infectée (ou non vaccinée) ingère de l'eau ou des aliments contaminés par les matières fécales d'un sujet infecté. La maladie est étroitement associée au manque d'eau potable, à l'insuffisance de l'assainissement et à une mauvaise hygiène personnelle (Borgmasters et al., 2017).

Contrairement à l'hépatite B et à l'hépatite C, l'hépatite A n'entraîne pas de maladie hépatique chronique et est rarement mortelle, mais elle peut provoquer des symptômes débilitants et une hépatite fulminante (insuffisance hépatique aiguë), qui est associée à une mortalité élevée (Baker & de Frey, 2011).

II.4.1.2. Transmission

La voie de transmission principale du virus VHA est le contact direct de personne à personne. C'est une forme très contagieuse d'infection hépatique. Cependant, ses épidémies sont associées à la consommation et à l'utilisation d'eau contaminée par des matières fécales.

Le VHA persiste pendant des mois à des températures inférieures à 10 °C et pendant au moins 1 mois à température ambiante (20 à 25 °C). Les facteurs physiques, biologiques et chimiques qui influencent la survie des virus entériques tels que la Température, le pH, la concentration en sel, l'activité microbienne et l'humidité ont des effets similaires sur le VHA. Les procédés de traitement tels que la coagulation, la filtration à haut débit et la désinfection semblent efficaces pour l'éliminer de l'eau (Ren et al., 2017).

L'hépatite A est actuellement présente dans le monde entier, bien que le risque de transmission dépende des conditions socio-économiques des populations. Dans la plupart des pays en développement, l'infection par le VHA se manifeste à un niveau hyper endémique et la majorité des personnes sont infectées dans la petite enfance. Les éclosions sont rares, car la plupart des infections surviennent chez les jeunes enfants qui demeurent généralement asymptomatiques (Lopez-Galvez et al., 2016). Par conséquent, la qualité et la quantité d'eau destinée à la consommation humaine constituent l'un des principaux facteurs de stress

environnementaux à prendre en compte pour la surveillance du VHA dans les villes. Les facteurs de stress environnementaux sont directement liés aux indicateurs de performance environnementale décrivant l'étendue des conditions environnementales et l'impact sur l'environnement. En particulier, l'existence et l'utilisation efficace du réseau d'égouts dans les villes sont l'un des paramètres les plus importants à surveiller dans ce contexte (Elmahdy, Fongaro, Schissi, Petrucio, & Barardi, 2016).

II.4.1.3. Épidémiologie

Le terme hépatite infectieuse a été utilisé pour la première fois par Cockayne (1912) pour décrire la forme épidémique de la maladie. La maladie a été décrite par divers termes précédemment et était connue comme la jaunisse infectieuse (Abdel Ghaffar, Elsobky, & Elsayed, 2011).

La ville de Fès représente seule presque 90 % du taux d'incidence annuel élevé des hépatites virales au niveau de la région Fès Boulemane. Ce taux est classé deuxième après la région de Meknès-Tafilalt pour l'an 2014 (DELM, 2018).

II.4.1.4. Traitement et prévention

Il n'y a pas de traitement spécifique contre l'hépatite A. La guérison des symptômes consécutifs à l'infection peut être lente et prendre plusieurs semaines ou plusieurs mois. Le traitement vise principalement à maintenir un certain confort et un bon équilibre nutritionnel, notamment à remplacer les pertes liquidiennes dues aux vomissements et à la diarrhée (Heldt et al., 2016).

À titre préventif, il est fortement recommandé de se faire vacciner contre l'hépatite A. Ce vaccin est disponible dans les centres de santé, aux cliniques privées et dans plusieurs pharmacies. Autant, il faut appliquer les moyens de prévention tels que : le lavage régulier des mains, le lavage des fruits et légumes...

II.4.2. Hépatite virale E

II.4.2.1. Agent causal

Le virus de l'hépatite E est transmis principalement par de l'eau de boisson contaminée. Il donne généralement lieu à une infection qui régresse spontanément en 4 à 6 semaines. Occasionnellement, une forme fulminante d'hépatite E (insuffisance hépatique aiguë) peut apparaître et entraîner le décès (Cao, Bing, Guan, Zhang, & Wang, 2018).

À l'échelle mondiale, on dénombre près de 20 millions d'infections par le virus de l'hépatite E chaque année (Murrison & Sherman, 2017).

II.4.2.2. Transmission

Le virus de l'hépatite E se transmet principalement du fait de la contamination fécale de l'eau de boisson. D'autres voies de transmissions ont été détectées, à savoir:

- la transmission par les aliments due à l'ingestion de produits dérivés d'animaux infectés;
- la transmission verticale d'une femme enceinte au fœtus...

L'hépatite E est une maladie à support hydrique et l'on a mis en cause l'eau ou des produits alimentaires contaminés dans les cas de flambées majeures (Péron, 2016).

II.4.2.3. Traitement et prévention

L'hépatite E régressant généralement spontanément, l'hospitalisation n'est en général pas nécessaire. Elle s'impose cependant en cas d'hépatite fulminante et doit être envisagée pour la femme enceinte infectée (Haffar, Murad, & Bazerbachi, 2017).

III. Efforts étatiques

Dans ces dernières années, les pouvoirs publics dans le Royaume du Maroc ont déployé des efforts considérables dans le secteur de la santé environnementale, en réduisant le taux de mortalité et de la morbidité. Ils ont pu contrôler, voire éliminer, plusieurs maladies qui constituaient jadis une menace réelle pour la santé de la population telle que le choléra, le trachome, la malaria, ou encore la schistosomiase (MDCEau, 2017).

En outre, parmi ces efforts s'ajoute la réalisation prochaine d'un centre médical au niveau de la ville de Fès 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 (Article19.ma, 2017).

À cet effet, les maladies hydriques demeurent les principales causes de morbidité et de mortalité humaines dans le monde. Plus de 95 % d'entre eux sont évitables. L'un des objectifs de développement durable des Nations Unies pour 2030 et d'assurer l'accès universel à l'eau et à l'assainissement, action préventive majeure pour prévenir ces maladies (N.U, 2015).

C'est ainsi que plusieurs scientifiques et chercheurs ont travaillé sur ce fardeau, en utilisant différentes techniques et méthodes.

IV. Méthodes d'évaluation des risques sanitaires

Parmi les méthodes d'évaluation des risques sanitaires, nous citons :

En 2014, Dworkin et al. ont analysé le fardeau de la fièvre typhoïde à Sulaimania (Kurdistan irakien), par réalisation d'une étude de surveillance prospective, dans les hôpitaux pour adultes et pédiatriques. Les auteurs ont trouvé une incidence calculée de la fièvre typhoïde dépassant les 23 cas par 100 000 patients examinés, avec aucune signification par l'analyse multivariée entre les symptômes classiques de la maladie (Dworkin et al., 2014).

En 2016, Rytönen et al. ont analysé les représentations cartographiques spatiales réalisées 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 (Rytönen, 2004).

En 2017, Dogru et al. ont examiné spatialement via les SIG, la répartition des enfants atteints d'hépatite A en Turquie, en tenant compte de leur distribution temporelle, de leurs schémas spatiaux, de leurs points chauds et de leur identification dans trois groupes d'âge différents (0-4, 5-9 et 10-14). Ils ont montré que le groupe d'âge 5-9 a révélé les taux de morbidité les plus élevés dans la zone d'étude ; et que la majorité des points chauds ont été détectés comme étant agglomérés dans les régions de l'est de la Méditerranée et du sud-est de l'Anatolie, ainsi que dans les bassins de Ceyhan, Asi et sud-est des fleuves Firat-Dicle en Turquie (Dogru et al., 2017).

Dans notre Thèse nous avons évalué la relation entre la répartition spatiale des eaux superficielles polluées avec l'incidence de la fièvre typhoïde, l'incidence des hépatites virales et les facteurs y influençant en utilisant la cartographie à travers les outils SIG, accompagnée d'une corrélation statistique.

V. Conclusion

La plupart des études sur les maladies transmises par l'eau reposent sur la détermination directe des pathogènes dans l'eau contaminée pour évaluer les facteurs de risque. En revanche, cette étude vise à utiliser une évaluation indirecte qui vise à analyser le lien entre les épidémies de la fièvre typhoïde et des hépatites virales en utilisant les moyens SIG pour réduire les coûts et le temps.

L'application de ces outils d'analyse spatiale en épidémiologie présente plusieurs bénéfices: une meilleure compréhension de l'analyse des relations entre l'environnement et la présence de la maladie; la détection des agrégats de cas ; la prédiction de la propagation de la maladie et l'évaluation des actions de contrôle et de prévention. Ceci en vue d'assurer la sécurité de l'eau à des fins de développement durable et de la population à haut risque d'infection par la fièvre typhoïde et les Hépatites virales au niveau de la ville de Fès. En effet, les techniques

appliquées constituent une étape importante dans la mise en œuvre des programmes locaux spécifiques à la prévention et au contrôle des maladies liées à l'eau, en permettant une économie de temps et d'efforts aux autorités.

CHAPITRE 2 : Approche méthodologique

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la description des méthodologies de recensement des données sur les maladies liées à l'eau, d'analyse des données et les outils statistiques et géospatiaux exploités pour le traitement des résultats obtenus selon nos objectifs.

II. Méthodes de recensement des données sanitaires

La collecte des différentes données est réalisée selon trois grands types d'enquêtes :

- 1-les recensements ;
- 2-les enquêtes-échantillons ;
- 3-les données administratives.

Chaque méthode présente à la fois des avantages et des inconvénients. Dans notre étude nous avons travaillé avec les enquêtes-données administratives (MSC, 2013). Les données administratives sont souvent les sources les plus efficaces de données de mise à jour de la base de sondage. Cette méthode a les avantages suivants:

- les données collectées sont constantes, d'où la possibilité d'analyser les tendances à travers le temps ;
- l'enquête est moins coûteuse, car elle minimise ou élimine : le recrutement des personnes de plus, le temps et le déplacement au niveau de plusieurs zones si nécessaire ;
- dans notre cas, les données recueillies sont fiables, car le recensement et le sondage des données sont réalisés par l'état.

Les organismes recueillent des données administratives dans le cadre de leurs activités quotidiennes, qui portent sur les naissances, les décès, les mariages, les divorces, ou les immatriculations de véhicules automobiles. Ces données administratives peuvent être utilisées plus tard à titre de substitut pour une enquête-échantillon ou pour un recensement.

La réalisation de cette enquête demande obligatoirement : des relations officielles et juridiques (ex. un contrat signé entre l'organisme statistique et la source de l'information administrative afin de garantir la confidentialité des données).

Les données recensées pour ce travail sont relatives aux maladies épidémiques (fièvre typhoïde et hépatites virales épidémiques) sur la base des bulletins épidémiologiques de la santé au Maroc et des dossiers médicaux des différents Cs de la ville de Fès, par exploitation

des données de différentes sources. Elles sont obtenues principalement auprès de la Cellule préfectorale d'Épidémiologie (CPE) de la région Fès-Meknès. Les documents fournis comprennent les fiches journalières de déclaration autour des cas cliniques et confirmés au niveau des 39 centres de santé urbains de la ville de Fès.

Les informations exploitées par patient sont l'adresse de malade pour le géocodage et la date de déclaration pour l'analyse temporelle. Lorsque les informations sont mal renseignées sur les fiches, nous avons eu recours aux registres locaux des hôpitaux et des centres de santé pour les compléter (OMAR DRISSI, IBN EL KHATEB, EL GHASSANI, Centre Hospitalier Hassan II (CHU). et plusieurs Centres de santé Cs en particulier Cs Ain Kadous, etc.). Les données de population à l'échelle intracommunale pour les années 2015, 2016 et 2017 ont été fournies par l'Agence Urbaine de Sauvegarde (AUS) de Fès. Une distribution géographique de ces données a eu lieu par la suite à l'aide du logiciel SIG.

L'utilisation des données recensées demande une préparation, leur saisie dans le système informatique nécessite une grande concentration et une étude préliminaire pour les classer selon l'objectif de l'étude.

III. Densité populaire

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

On calcule la densité d'une population donnée en divisant le nombre d'habitants par la superficie exprimée en km² (ou en ha).

$$\begin{aligned} \text{Densité populaire} &= \text{Nombre d'habitants} \div \text{superficie (en km}^2\text{)} \\ &= \text{Nombre d'hab/km}^2 \end{aligned}$$

IV. Test de Tau-Kendall

Le test Tau-Kendall est une analyse statistique non paramétrique réalisé par exploitation du logiciel IBM- SPSS (Version 19, SPSS Inc), développé par Man (1946) puis repris par Kendall (1975), il sert à déterminer l'existence d'une tendance négative, positive ou non nulle dans une série temporelle. Cette corrélation statistique est utilisée dans notre cas pour l'analyse de la tendance des incidences cumulées annuelles ICA, concernant la description de la situation épidémiologique de la fièvre typhoïde et des hépatites virales. Le seuil de significativité retenus est de 0,05 et 0,01.

V. Taux d'incidence en épidémiologie

La morbidité représente le nombre de personnes souffrant d'une maladie donnée pendant un temps donné, en général une année, dans une population. Elle peut être mesurée par l'incidence.

Le taux d'incidence représente le nombre de nouveaux cas apparus dans une population donnée pendant une période donnée.

$$\text{Taux annuel d'incidence (IA)} = (\text{Nombre de cas par unité de temps} / \text{Population totale exposée pendant la période considérée}) * 10^x$$

Les données sanitaires et de population ont été utilisées pour calculer le taux d'incidence annuel de la fièvre typhoïde pour chaque unité spatiale (Ohta & Nagai, 2014).

Pour l'unité spatiale i , le taux annuel d'incidence (TAI i) pour une année donnée est égal au nombre de cas observés à cette unité (O_i) divisé par la population attachée (P_i) à cette unité durant l'année en question.

Le taux d'incidence = $X = 1, 2, 3 \dots (10, 100, 1\ 000, 10\ 000)$

Exemple : Le taux d'incidence annuel de la tuberculose en 2012 était : $28\ 562 / 32\ 266\ 000 \times 1000 = 0,885$

0,885/ 1000 habitants

Dans notre cas les taux d'incidence calculés correspondent à **100 000 habitants**.

VI. Corrélation géographique et statistique des données

VI.1. Corrélation spatiale

Concernant ces approches méthodologiques, nous avons utilisé les mêmes techniques informatiques que la partie A. Dont les outils SIG pour une corrélation spatiale.

VI.2. Test de corrélation de Pearson

L'analyse statistique, basée sur le calcul du coefficient de corrélation de Pearson (r), consiste à étudier la corrélation entre l'altération de la qualité des eaux superficielles et la répartition des taux d'incidence de la fièvre typhoïde et des hépatites virales épidémiques en analysant

les facteurs de risques influençant, afin d'explorer la force de la relation entre eux. L'équation mathématique 3 de la corrélation de Pearson est :

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad \text{Équation 3}$$

Où r : coefficient de corrélation de Pearson ;

x : valeurs dans le premier ensemble de données ;

y : valeurs dans le deuxième ensemble de données ;

n : nombre total de valeurs.

Le résultat sera toujours compris entre -1 et 1, quoique soit l'échelle de mesure des variables en question. Toutes les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel IBM- SPSS (Version 19, SPSS Inc.).

- Quand ($r > 0$) : les variables sont associées positivement, plus l'indice d'altération IA est faible (mauvaise qualité), plus le taux d'incidence des maladies augmente;
- si ($r < 0$) : les variables sont associées négativement plus l'indice d'altération IA est élevé (bonne qualité), plus le taux d'incidence des maladies augmente;
- non associées ($r = 0$) : l'altération des eaux de surface des sites étudiées n'a aucune influence sur les taux d'incidence des maladies.

Cependant, il convient de noter qu'avec un nombre d'échantillons plus grands, une corrélation faible, par exemple $r < 0,50$, peut être hautement et statistiquement significative à $p < 0,01$.

VII. Corrélation selon les caractéristiques individuelles

L'étude de la distribution des caractéristiques individuelles des incidences de la fièvre typhoïde et des hépatites virales est réalisée selon le test statistique de Chi-deux χ^2 par emploi du logiciel IBM- SPSS (Version 19, SPSS Inc). Le test de Chi-deux est utilisé pour tester l'hypothèse nulle : d'absence de relation entre deux variables catégorielles. On peut également dire que ce test vérifie l'hypothèse d'indépendance de ces variables ; les valeurs résultantes s'interprètent suite aux balises de Cohen pour la corrélation de Pearson déjà signalée.

Si deux variables dépendent l'une de l'autre, elles partagent quelque chose, la variation de l'une influence la variation de l'autre.

Cette distribution va nous permettre de développer les hypothèses concernant les caractéristiques du malade qui peuvent être un facteur de risque. L'âge, le sexe et le temps par mois sont pris en compte pour notre étude.

Pour l'analyse de la répartition géographique, nous avons utilisé les données sur la population rattachées aux différents centres de santé urbains, et qui ont été fournies par le service statistique de la délégation de la santé de Fès.

VII.1. Distribution des cas selon les caractéristiques individuelles

L'analyse de la distribution des caractéristiques individuelles des cas de la FT et des HVE va permettre de développer des hypothèses concernant les caractéristiques du malade qui peuvent être des facteurs de risque. L'âge et le sexe sont les deux caractéristiques prises en compte pour notre étude.

VII.2. Distribution en fonction des tranches d'âge

Pour analyser l'effet de l'âge sur la distribution de la FT des HVE, nous avons opté pour la catégorisation de la variable (âge du malade) en tranches d'âge de cinq ans. Certaines tranches d'âge ont été regroupées de manière à créer des catégories plus larges pour avoir un nombre de cas significatif lors de la comparaison entre les différentes tranches d'âge. Ces catégories regroupées ont été créées par la combinaison de tranches d'âge de cinq ans complets, en respectant les limites des intervalles. À partir de cette base, nous avons établi les tranches d'âge suivant : 0-4 ans ; 5-14 ans ; 15-29 ans ; 30-59 ans et 60 ans et plus.

Pour les analyses statistiques, nous avons calculé pour chacune des tranches d'âge deux paramètres : (i) le nombre de cas observés : le nombre de cas de cette tranche d'âge durant l'année étudiée ; et (ii) le nombre de cas attendus sous l'hypothèse que la distribution n'est pas influencée par l'âge et qu'elle est obtenue par l'application de l'incidence cumulée annuelle de la maladie. Le test de χ^2 a été utilisé pour examiner la différence entre la distribution observée et celle attendue pour chacune des années de la période 2012-2016, avec un seuil de significativité de 0,05.

VII.3. Distribution en fonction du sexe du malade

L'analyse de l'effet du sexe sur la distribution de la FT et des HVE a été basée sur le calcul du ratio H/F ou sex-ratio. Ce ratio présente le rapport du nombre d'individus de sexe masculin sur le nombre d'individus de sexe féminin dans la population des malades.

VII.4. Évolution mensuelle du nombre des cas

La description des données épidémiologiques en fonction du temps s'est basée sur l'analyse de l'évolution mensuelle du nombre de cas de la FT est des HVE, au cours de la période 2014-2017, en analysant chacune des années séparément, pour le district Ain Kadous.

VIII.Conclusion

Les différentes approches du traitement des données recensées pour la localisation géographique des différents centres de santé ainsi que la densité vont nous permettre d'analyser nos résultats des états des lieux réalisés.

Cependant, les autres méthodes vont nous servir d'identifier la situation actuelle, et durant les dernières années, pour les maladies à transmission hydrique. En plus de l'analyse de la relation géographique et statistique entre ces maladies et la qualité des eaux de surface au niveau de la ville de Fès.

CHAPITRE 3 : Situation épidémiologique de la fièvre typhoïde et des hépatites virales dans la ville de Fès

I. Introduction

Ce chapitre présente, dans un premier temps, le découpage administratif de la ville et les méthodes de calculs réalisés. Pour se faire, plusieurs acteurs, du domaine de la santé, ont été concertés, à citer : la Délégation Préfectorale de la Santé de la région Fès-Meknès DPS, Service système de Réseau d'Établissement Sanitaire Fès SRES...) et les différents centres de santé, ainsi que les hôpitaux (OMAR DRISSI, IBN EL KHATEB, EL GHASSANI, et le Centre Hospitalier Hassan II (CHU)), etc. Ceci dans le but de pouvoir décrire les différents renseignements recensés, ayant un lien avec les facteurs en risque de l'évolution de la fièvre typhoïde et des hépatites virales à savoir la densité populaire et la distribution géographique des différents centres de santé pour chaque arrondissement et quartier au niveau de la ville.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé la situation épidémiologique des deux maladies durant les cinq dernières années (2012-2016) et de l'évolution de la fièvre typhoïde et des hépatites virales épidémiques pendant l'année 2017, afin de voir la répartition géographique de leur taux d'incidence au niveau des arrondissements et communes de la ville de Fès. L'analyse épidémiologique d'une situation sanitaire doit toujours débiter par une phase descriptive. Cette phase est essentielle pour déterminer comment la maladie se distribue en fonction du temps et/ou dans l'espace.

L'examen de la tendance des incidences cumulées annuelles est réalisé graphiquement, est appuyée par le Test statistique de Tau-Kendall, ceci va permettre de générer des hypothèses pour expliquer si la tendance temporelle est négative ou positive.

II. Densité populaire

La densité de population sert à mesurer l'importance de l'occupation d'un territoire par les habitants.

Le nombre de populations, relatif à l'année 2017, est calculé en densité populaire et est représenté spatialement, pour chaque arrondissement, sur un fond cartographique via les outils SIG dans la figure 47.

L'arrondissement le plus dense est Fès El Médina, avec une densité égale à 36187 personnes/Km², après vient l'arrondissement Jnane El Ward et El Mérinides.

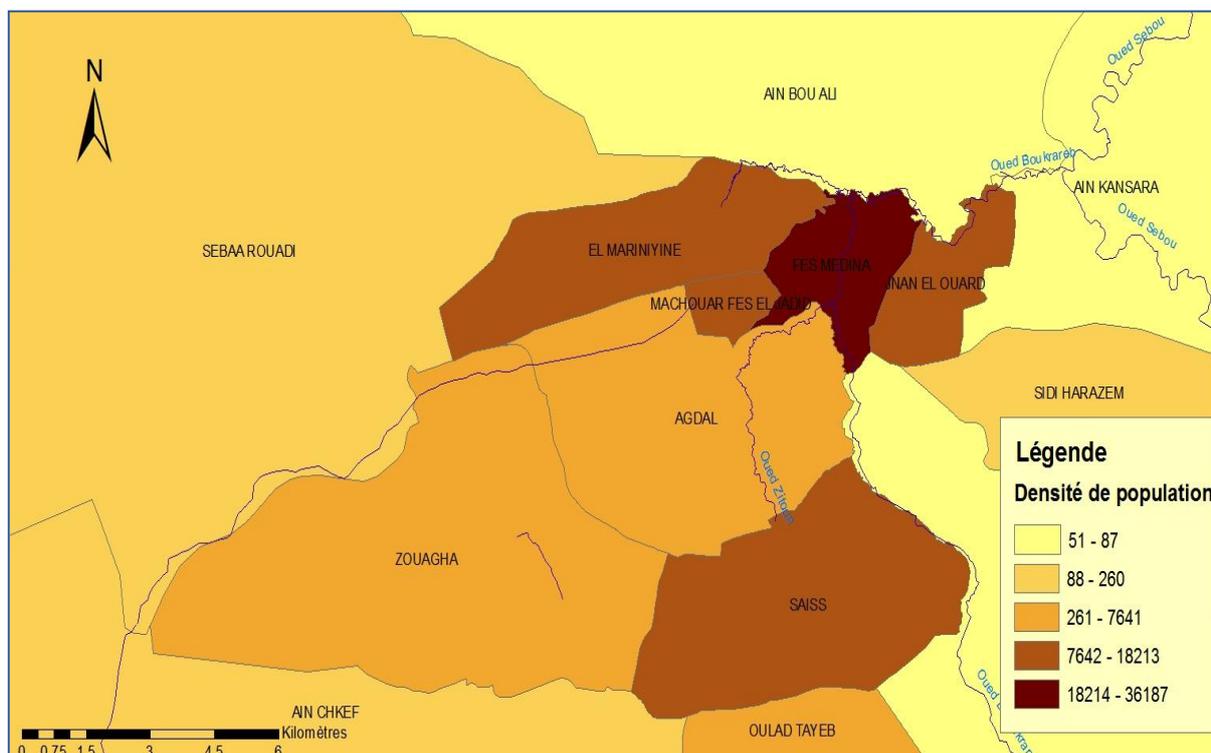


Figure 47. Répartition géographique de la densité populaire calculée pour chaque arrondissement et commune

III. Méthode de découpage administratif et organismes sanitaires de la préfecture de Fès

Après le découpage territorial de 2015, la ville de Fès est devenue le Chef-lieu de la nouvelle région de Fès-Meknès à la place de la région Fès-Boulomane (Figure. 48).

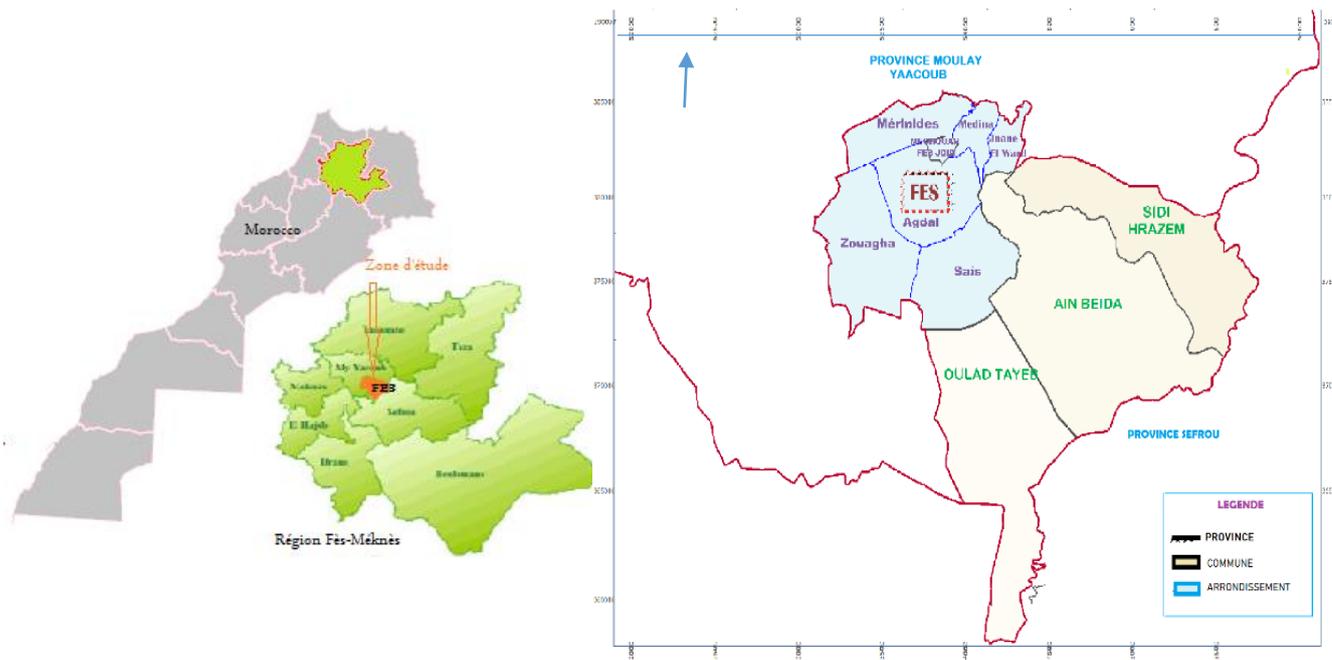


Figure 48. Situation géographique de la préfecture de Fès et son découpage communal et administratif actuel (DRHCPF, 2018)

Sur le plan administratif, la ville est composée de préfectures de Fès divisée en six arrondissements et d'une commune urbaine de Méchouar Fès Jdid, et des centres urbains des communes rurales de Sidi Harazem, à savoir : Skhinate, Oulad Tayeb et Ain Baida.

La population totale concernée par cette étude est estimée selon le Recensement général de la Population et de l'Habitat de 2014 à 1,150 million habitants et actualisée à 1,186 million habitant en 2016 (DRHCPF, 2018). Les infrastructures publiques de soins couvrent l'ensemble de la ville, avec un réseau de 39 centres de santé (CS) de base répartis dans toute la ville. Cette distribution spatiale de chaque CS, au niveau des différents arrondissements et communes est représentée sur un fond cartographique, comme il est indiqué dans la figure 49.

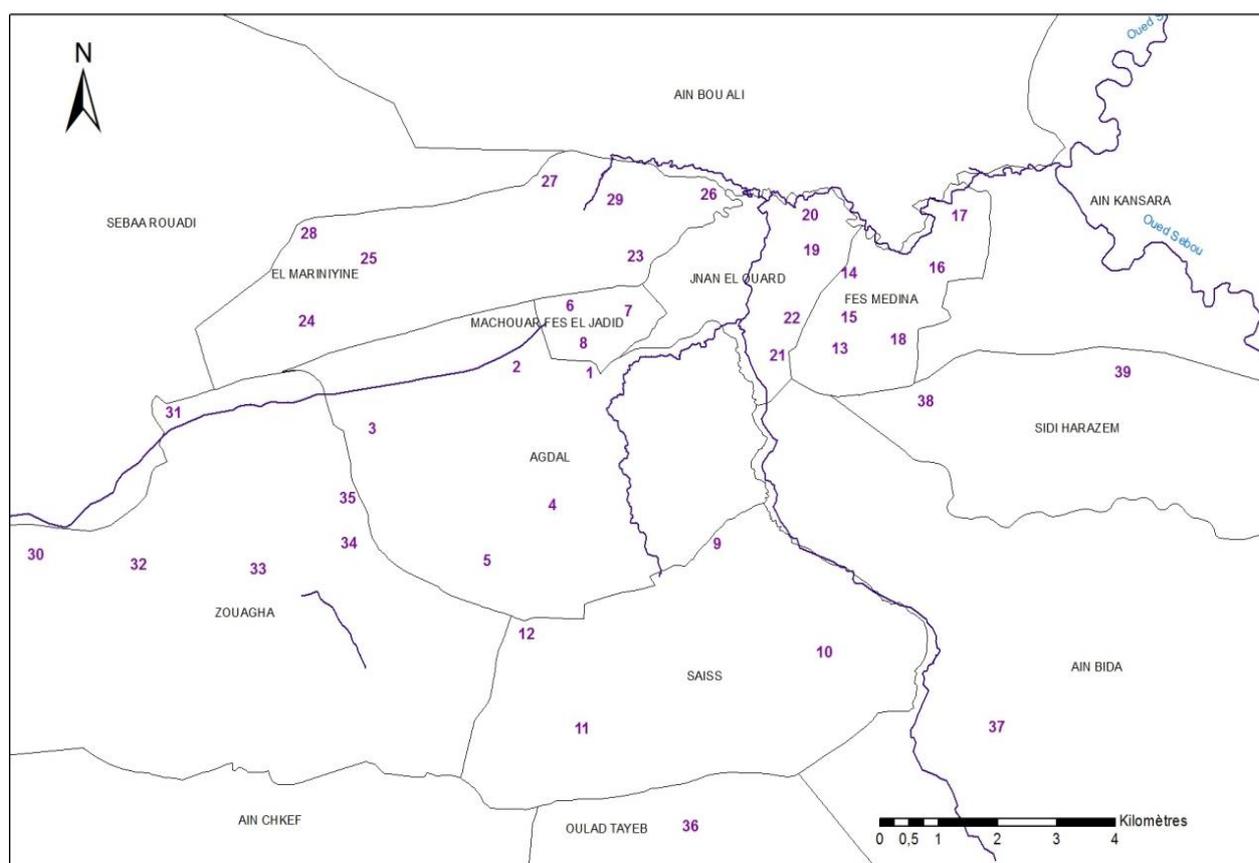


Figure 49. Répartition spatiale des centres de santé de la ville de Fès

La signification correspondante à chaque Cs est décrite dans le Tableau 17.

Tableau 17. Localisation des Cs selon les quartiers

Arrondissements & Communes	Centres de santé de la ville de Fès
Agdal	1: Ville nouvelle 2: Dokarate 3: H.Tarik 4: Dar Debibgh 5: Narjiss
Zouagha	30: Ben souda 31: Oued Fès 32 : Massira1 33: Massira2 34: Zouagha 35: Soukayna
Sais	9: Narjiss 10: Aouinat hajaj 11: Mon fleuri 12: Sidi brahmi
Fès médina	13 : Adoua 14 : Andalous 15 : Bab jdid 16 : Blida 17 : Lemteyene 18 S. Boujida
Jnane el ward	19 : Ain Nokbl 20 : Jnanate 21 : Lamsalla 22 :Sehrij Gnaoua
Mérinides	23: Ain kadous 24: Soundouss 25: Ain haroun 26: Ben slimane 27: Hajjoui 28: Bab sifer 29: Dhar lkhmiss
Méchouar Fès jdid	6: Boujate 7: Boutouil 8: Bab Jiaf
Oueled tayeb	36: Ould Tayeb
Ain beida	37: Ain Baida
Sidi Hrazeme	38: Sidi harasem 39: Skhinate

IV. Analyse de la tendance des incidences cumulées annuelles par le test de Tau-Kendall

IV.1. À l'échelle nationale, régionale et locale

V.1.1. Fièvre typhoïde

Durant la période 2012-2016, comme le montre la figure 50, les incidences annuelles cumulées (IAC) de la FT ont enregistré des régressions au cours du temps allant de 0,7 à 1/100 000 habitants.

Le Maroc a présenté des IAC de la FT qui varient entre 0,5 et 1/100000hab, alors qu'à l'échelle de la région Fès-Boulemane elles varient de 1 à 1,3/100000hab. Toutefois, la ville de Fès a enregistré des IAC de la FT nettement supérieures à ceux enregistrés à l'échelle régionale et nationale durant la période 2012-2016. La ville de Fès a représenté des incidences de la FT variant entre 1,5 et 2,9/100 000 habs, avec un pic d'incidence pendant l'année 2014 au niveau local et régional, et en 2013 au niveau national (Figures. 50). L'incidence de cette maladie au niveau régional connaît des fluctuations au cours de la période étudiée avec une tendance à l'augmentation entre 2015 et 2016.

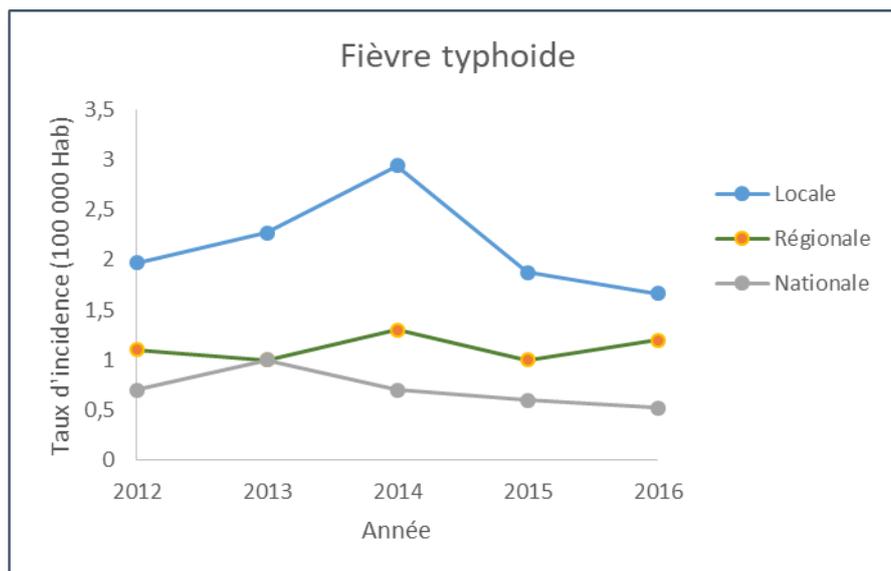


Figure 50. Variation des incidences annuelles cumulées de la FT pendant la période 2012-2016

Le test de Tau-Kendall est utilisé pour révéler les tendances précises des incidences cumulées. Nous avons trouvé une tendance non significative pour les évolutions annuelles des incidences de la FT au niveau national et local, dont les deux courbes présentent des allures presque similaires avec un pic durant les années 2014 et 2013, suivies d'une diminution durant les années 2015 et 2016. De même, le test de Tau-Kendall a signifié l'absence de tendance au niveau des évolutions des IAC de la fièvre pour un seuil de 0,05 et 0,01.

V.1.2. Hépatites virales

La figure 49 nous montre que pendant la période 2012-2016, IAC des Hv ont enregistré des régressions au cours du temps allant de 0,5 à 1,7 /100 000 habitants.

Le Maroc a présenté des IAC des Hv qui varient entre 0,53 et 1,4/100000hab. Alors qu'à l'échelle de la région Fès-Boulemane, elles varient de 1,5 à 2/100000hab. La ville de Fès seule a enregistré des IAC des Hv nettement supérieures à ceux enregistrés à l'échelle régionale et nationale durant la période 2012-2016. En effet, La ville de Fès a représenté des incidences des Hv variant entre 1,6 et 3,2/100 000hab, avec un pic d'incidence pendant l'année 2014 au niveau local et régional, et en 2012 au niveau national (Figures. 51). Pareillement à la Ft, l'incidence de cette maladie au niveau régional connaît des fluctuations au cours de la période d'étude avec une tendance à l'augmentation entre 2015 et 2016.

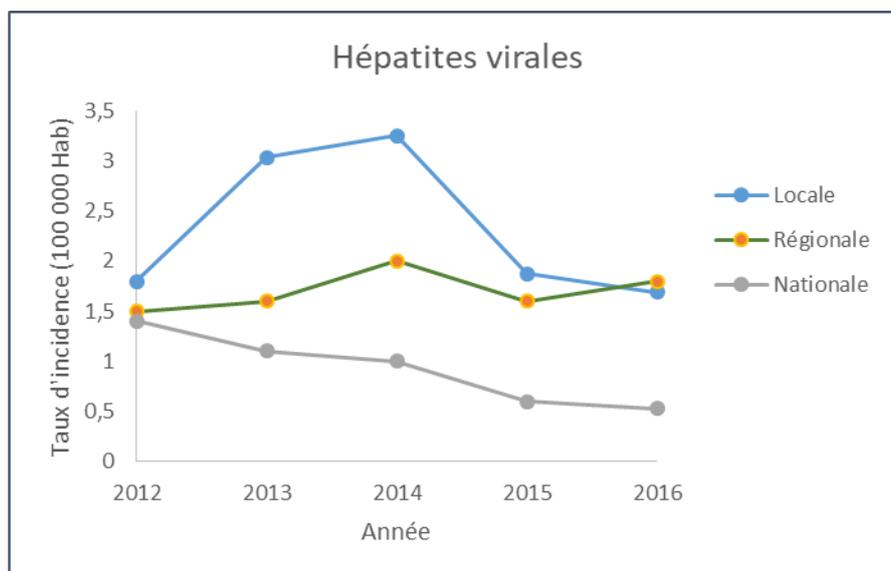


Figure 51. Variation des incidences annuelles cumulées des Hv pendant la période 2012-2016

À l'égard des évolutions annuelles des incidences des Hv, le test de Tau-Kendall n'a montré aucune tendance significative à la diminution ou à l'augmentation des IAC aux différentes échelles. Les IAC présentent des variations marquées par une diminution au niveau national et local, à partir de l'année 2014, avec un pic durant la même année pour la ville de Fès. Tandis qu'à l'échelle régionale, les IAC montrent un comportement inverse (une tendance à l'augmentation) à partir de l'année 2015, pour un seuil de 0,05 et 0,01.

Le dépouillement des résultats des deux maladies montre que les ICA enregistrées pour les hépatites virales sont plus élevées que ceux de la fièvre typhoïde, aux niveaux local, régional et même national.

IV.2. Au niveau des différents districts de la ville de Fès

IV.2.1. Fièvre typhoïde

Durant la période 2012-2016 (Figure. 52), la FT a enregistré des régressions de l'incidence au cours du temps allant de 0 à 76/ 100 000 habitants pour les différents districts.

Les IAC de la FT au niveau du district Ain Kadous sont nettement supérieures à ceux enregistrés aux autres quartiers de la ville, variant entre 48 et 76/100 000habs, avec un pic d'incidence pendant l'année 2014.

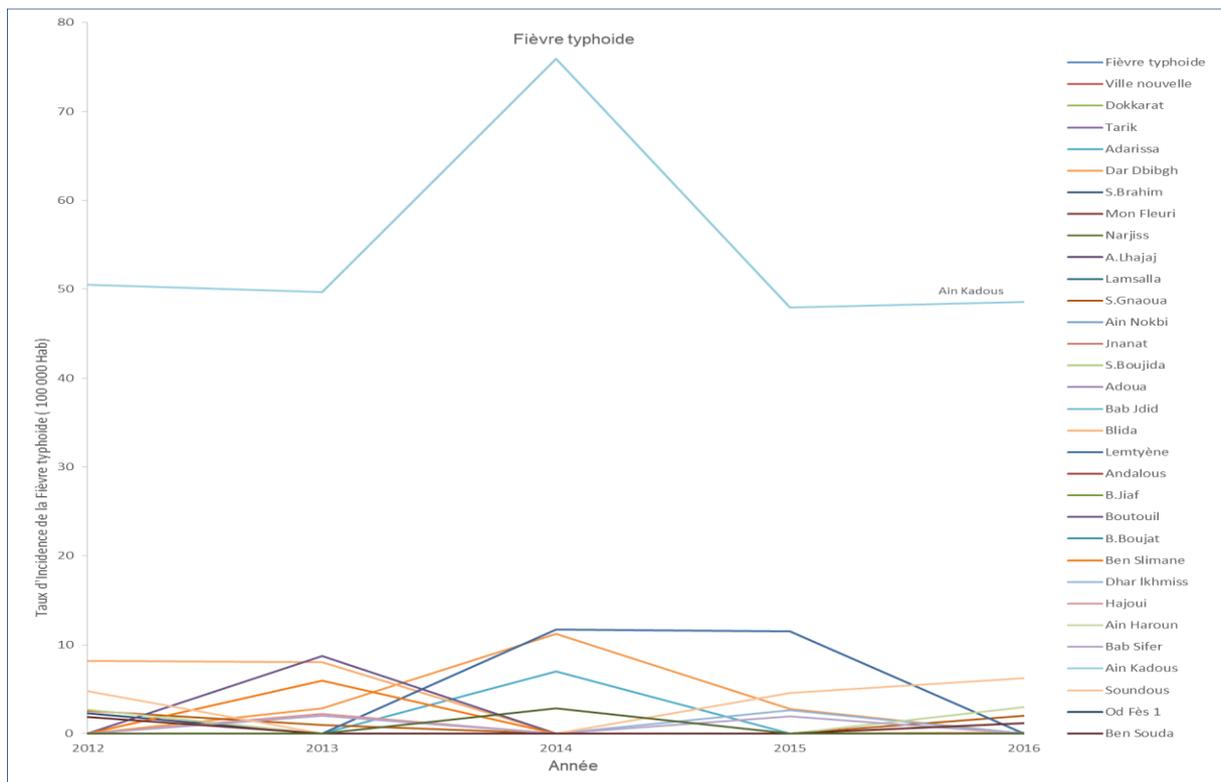


Figure 52. Variation des incidences annuelles cumulées de la FT pendant la période 2012-2016

Dans cette analyse, le test de Tau-Kendall n'a montré aucune tendance significative à la diminution ou à l'augmentation des IAC aux différentes échelles.

IV.2.2. Hépatites virales

Les IAC des Hv, durant la période 2012-2016 (Figure. 53), ont enregistré des fluctuations remarquables au niveau de la majorité des quartiers de la ville au cours du temps, allant de 0 à 80/ 100 000 habitants.

Les IAC des Hv au niveau du district Ain Kadous sont nettement supérieures à ceux enregistrés aux autres quartiers de la ville, variant entre 54 et 80/100 000habs, avec un pic d'incidence pendant l'année 2014.

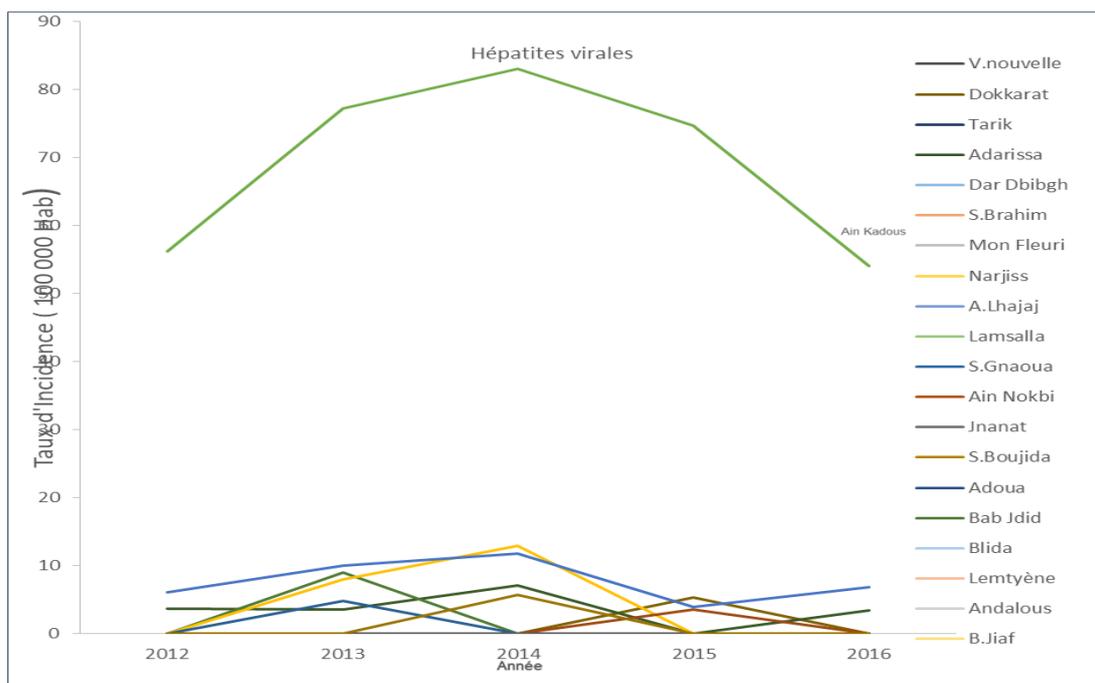


Figure 53. Variation des incidences annuelles cumulées des Hv pendant la période (2012-2016)

Le test de Tau-Kendall n'a montré aucune tendance positive ou négative pour les évolutions annuelles des incidences des Hv au niveau des différents districts de la ville de Fès. La majorité des courbes, à part celui du quartier Ain Kadous, présentent des allures presque similaires avec des fluctuations entre les années 2012-2016. Le district Ain Kadous représente des taux d'incidence très élevés avec une tendance de diminution à partir de l'année 2014.

V. Distribution spatiale des incidences des maladies pour l'année 2017

La répartition des taux d'incidence des deux maladies épidémiques à transmission hydrique durant l'année 2017, au niveau de la ville de Fès est représentée dans la figure 54.

Après l'étude de la situation de la fièvre typhoïde et des hépatites virales au niveau des quartiers de la ville durant les 4 dernières années ; nous avons ensuite analysé ces taux particulièrement pour le district Ain Kadous afin de bien analyser les facteurs de risques. Nous nous sommes focalisés sur l'année 2017 dans le but de réaliser une corrélation entre la répartition des incidences des maladies et la qualité des eaux de surface au niveau de ce quartier pour la même année.

Le dépouillement des résultats montre que pour l'année 2017, le district ayant le taux le plus élevé des maladies est Ain Kadous, localisé à l'arrondissement El Mérinides avec un taux de 80% pour les hépatites, et un taux équivalent à 71% pour la fièvre typhoïde. Parmi les facteurs nous citons :

- la présence du terrain GOLF qui utilise d'une manière excessive les engrais, les pesticides et les produits phytosanitaires (ceci constitue un risque de pollution pour les eaux superficielles et même souterraines).
- l'existence de l'abattoir principal de la ville, situé à Ain Kadous, connu sous le nom d'El Guarna.
- le ravitaillement d'une partie des habitants du quartier Ain Kadous auprès des souks, échoppes et colporteurs avoisinants y incluent El Merja.
- Présence des puits (El Haissoufi, 2011), et une possibilité de présence des fosses septiques.

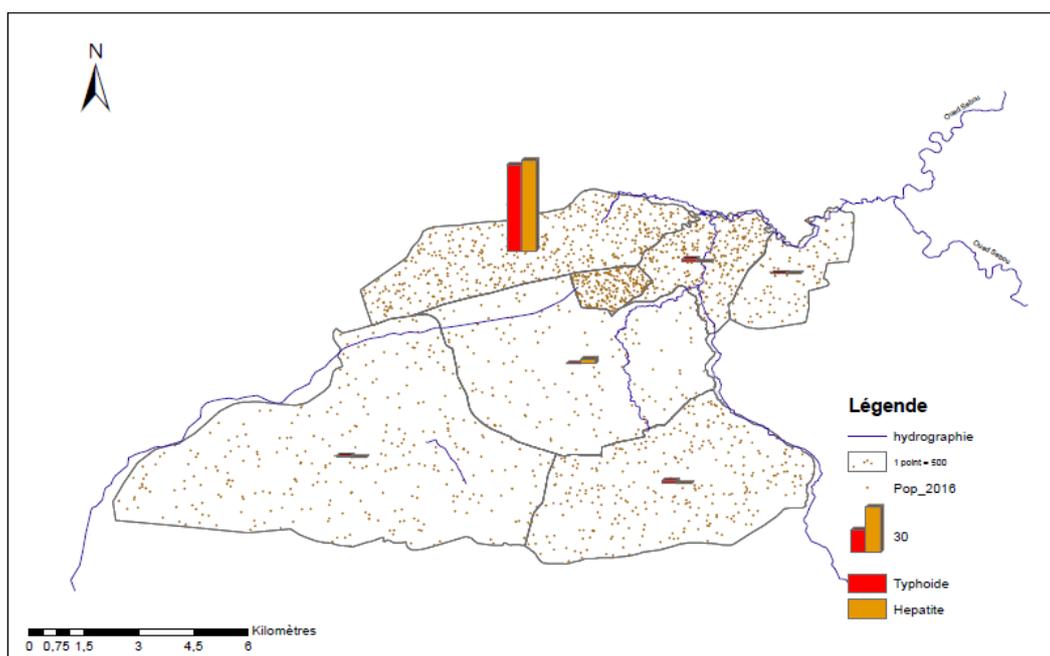


Figure 54. Distribution spatiale de l'incidence de la typhoïde et des hépatites virales au niveau de la ville de Fès

Afin de connaître l'origine de la l'atteinte de la zone Ain Kadous par un taux élevé et remarquable par rapport aux autres quartiers de la ville et les facteurs environnementaux qui y contribuent, nous avons réalisé une corrélation en se basant sur les SIG et la matrice de corrélation de Pearson.

VI. Conclusion

La détermination de la densité populaire au niveau de chaque arrondissement et la répartition géographique des différents centres de santé de la ville de Fès nous ont permis de cerner la problématique et cerner les quartiers représentant l'incidence la plus élevée des maladies d'origine hydrique. En effet, les responsables de la santé préjugent principalement l'existence des zones exploitées en agriculture et irriguées par des eaux usées au niveau urbain et

périurbain de la ville. Tandis que, les écarts socio-économiques, les acquis basiques et le degré de sensibilisation et d'éducation peuvent influencer sur la distribution géographique de la maladie. Dans notre étude, nous avons réalisé une répartition spatiale de l'incidence des maladies étudiées afin de délimiter le district le plus vulnérable en représentant le taux d'incidence le plus élevé.

L'analyse descriptive de la situation de la tendance des incidences cumulées annuelles, des deux maladies durant les cinq dernières années (2012-2016) et de l'évolution de la fièvre typhoïde et des hépatites virales épidémiques pendant l'année 2017, nous ont permis d'examiner leur répartition géographique de leur taux d'incidence au niveau national, régional et local et des arrondissements et communes de la ville de Fès. Généralement ces ICA n'ont aucune signification entre la différence d'échelle. Tandis que le district Ain Kadous représente l'incidence la plus élevée pour les deux maladies même à l'année 2017.

Afin d'analyser les facteurs de risque influençant et la relation entre l'incidence des maladies et la qualité des eaux nous avons réalisés des corrélations via les SIG et le test de Pearson. Ensuite nous avons procédé à sur l'examen des caractéristiques individuelles, temporelles, spatiales et selon le sexe pour le district Ain Kadous.

CHAPITRE 4 : Analyse de la relation entre la répartition spatiale des maladies et la qualité globale des eaux de surface de la ville de Fès

I. Introduction

Ce chapitre analyse les caractéristiques de l'épidémiologie écologique des maladies à transmission hydrique : Hépatites virales épidémiques et fièvre typhoïde au niveau des différents arrondissements de la ville de Fès, avec les facteurs influençant la qualité des eaux de surface, et par la suite identifie la relation entre ces maladies et la qualité physico-chimique, bactériologique et métallique des eaux de surface. Ceci grâce à un traitement cartographique du logiciel QGIS 2.8 qui a permis de spatialiser les différentes données, informations géographiques et produire une carte rassemblant ces éléments étudiés, suivis d'un traitement statistique descriptif.

La qualité des eaux des rivières se dégrade de jour en jour à cause de nos rejets imprudents. Pour cette raison, il est nécessaire de la surveiller pour déterminer son état actuel, réguler les rejets d'effluents, restaurer et maintenir la qualité d'eau de la rivière et contribuer à son amélioration afin de préserver notre santé et écosystème.

L'analyse descriptive et la méthode de corrélation consistent à identifier la relation entre la qualité physico-chimique, bactériologique et même métallique des eaux superficielles, traversant les zones urbaines et périurbaines de la ville de Fès, avec la répartition géographique des maladies à transmission hydrique, qui sont la fièvre typhoïde et les hépatites virales épidémiques en incluant ainsi les facteurs de risque qui sont : la densité populaire et le nombre et le type des industries. D'après les résultats obtenus, nous avons mis le point sur l'effet de l'âge, du sexe, et du temps (mois) sur l'incidence des maladies hydriques pour les individus qui en sont atteints; au niveau du quartier Ain Kadous, ayant présenté les taux les plus élevés de ces maladies, durant les quatre dernières années pour déterminer leur distribution en fonction du temps et de l'espace.

II. Corrélation géographique

Selon la représentation cartographique de la répartition géographique des différents éléments, suite à la figure 55, il paraît clair que l'incidence élevée des deux maladies au niveau du quartier Ain Kadous corrèle avec :

- une qualité bactériologique des eaux de surface d'Oued Aljawahir la plus mauvaise ;
- une qualité métallique des eaux de surface, classée très mauvaise ;

- une mauvaise qualité physico-chimique des eaux de surface d'Oued Aljawahir ;
- une localisation intermédiaire des zones industrielles exerçant les activités artisanales, et qui renferme surtout le nombre le plus important en industries de tanneries et des huileries;
- une densité populaire élevée. En plus de ces éléments répartis selon la localité géographique (Figure. 55) nous ajoutons les observations, sur le terrain, suivantes :
 - un voisinage des zones qui pratiquent des activités agricoles urbaines ;
 - une présence du terrain GOLF et de l'abattoir principal de la ville;
 - la baignade des jeunes enfants durant les saisons chaudes, au niveau de cet affluent.
- Probabilité de présence des fosses septiques, dégradation du réseau alimentant l'eau de consommation, ou dégradation de la qualité des eaux des puits existants dans cette zone comme il est déjà mentionné d'après le travail de (Lalami, 2014).

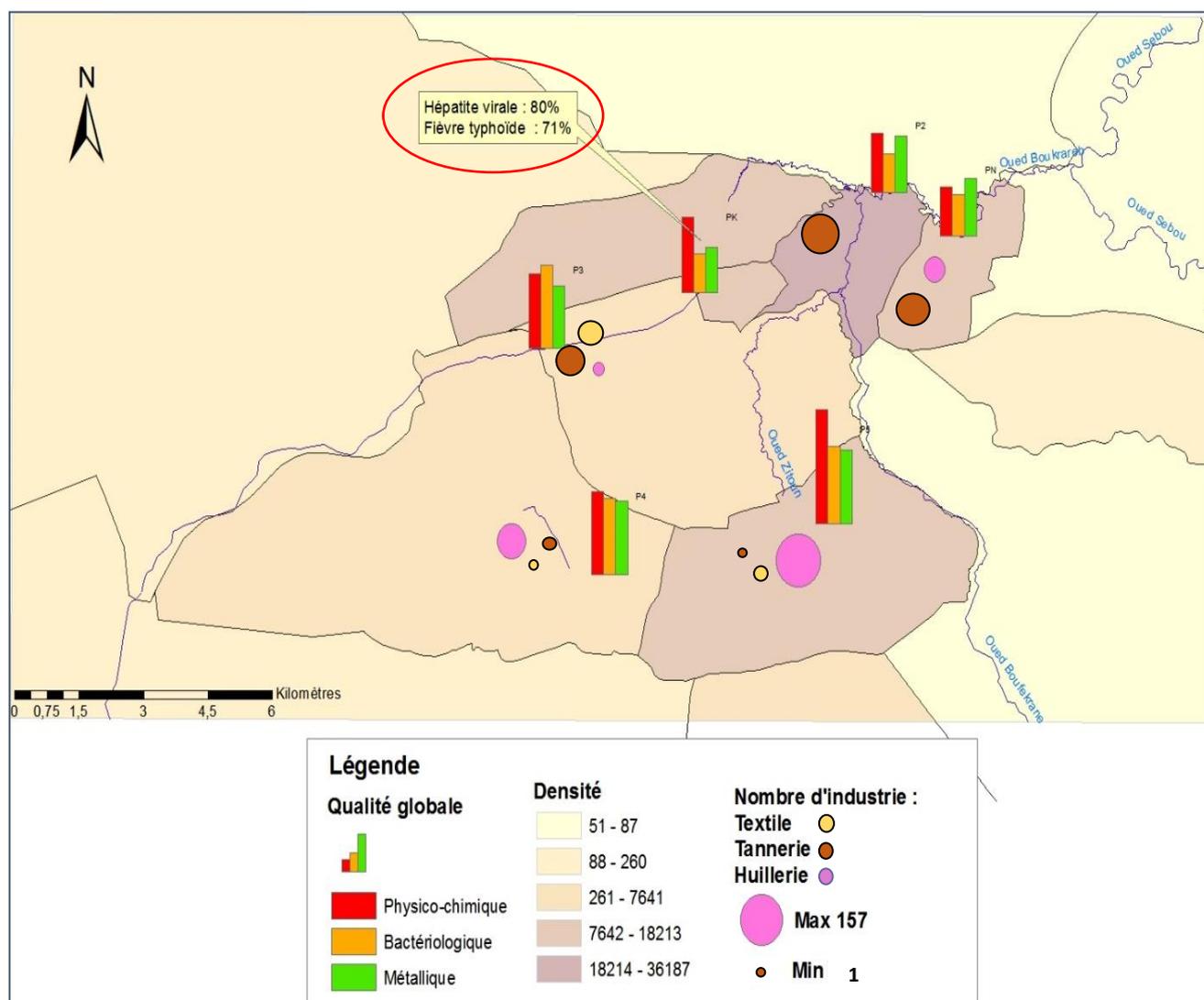


Figure 55. Répartition géographique des différents paramètres avec l'incidence des maladies

D'après cette répartition géographique de la figure 55, nous montre que le type des industries, existantes à la ville de Fès, et non pas le nombre est fort probable le principal responsable de la dégradation de la qualité des eaux de surface d'Oued Aljawahir, et par la suite l'augmentation du risque d'atteinte par la fièvre typhoïde et les hépatites virales.

Il est à mentionner que les données sanitaires sur les cas de la fièvre typhoïde et les Hépatites virales sous-estiment la réalité pour plusieurs raisons. Parmi celles-ci, nous mentionnons le fait que : les individus malades ne consultent pas un médecin, certains cas sont asymptomatiques et il existe une sous-notification des cas des hôpitaux privés.

Les données exploitées sur la pratique de la réutilisation des eaux usées en agriculture et des analyses physicochimiques doivent être renforcées par des analyses bactériologiques, ainsi qu'un suivi saisonnier pour tenir en compte l'effet des variations climatiques.

III. Matrice de corrélation

Les corrélations linéaires obtenues pour les 9 variables prises deux à deux sont reportées dans le tableau 18, dont les valeurs critiques du r de Bravais-Pearson sont représentées pour un $p < 0.05$.

L'examen de la matrice de corrélation de ce tableau montre l'existence des corrélations positives qui peuvent aller jusqu'au 0,999* et des corrélations négatives arrivant à -0,878*.

Les taux d'incidence des maladies à transmission hydriques Ft et Hv sont corrélés négativement avec la qualité bactériologique avec un taux de $r = -0,685$ pour la Ft et $r = -0,714^*$ pour les Hv. Le sens de cette corrélation explique que l'incidence des maladies augmente avec une qualité bactériologique globale médiocre. Nous remarquons aussi une bonne corrélation avec les maladies étudiées et le paramètre de localisation et de densité populaire.

L'accroissement de l'incidence des deux maladies à transmission hydrique est modérément corrélé avec l'augmentation de la qualité physicochimique globale et métallique des eaux de surface.

Le nombre d'industries n'est pas corrélé avec l'évolution des deux maladies. Comme il est déjà déduit d'après la corrélation géographique réalisée, ceci revient probablement au type d'industries et non pas au nombre.

Tableau 18. Analyse statistique des corrélations selon les critères de Bravais-Pearson

	Ft	Hv	Densité popula ire	indust ries	QGP H-CH	QGB	QGM	Localis ation	Agricult ure
Ft	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Hv	0,999**	1	-						
Densité populaire	0,878*	0,857*	1	-	-	-	-	-	-
Nombre des industries	-0,361	-0,399	0,759	1	-	-	-	-	-
QGP H-CH	-0,040	-0,002	-0,489	-0,820*	1	-	-	-	-
QGB	-0,685*	-0,714*	-0,837*	0,476	0,747	1	-	-	-
QGM	-0,585	-0,611*	-0,476	0,749	0,604	0,457	1	-	-
Localisati on	0,535	0,655	-0,502	0,278	0,733	0,604	0,019	1	-
Agricultu re	0,618	0,632	-0,759	-0,630	-0,288	-0,421	-0,750	0,207	1

N.B. -Les corrélations significatives ont été reportées en gras.

Selon les balises de Cohen (1988), les valeurs du coefficient r obtenues sont interprétées conformément à la taille d'effet suivante (Usherbrooke, 2017):

- autour de 0,10 → effet de petite taille → corrélation faible
- autour de 0,30 → effet de taille moyenne → corrélation moyenne
- autour de 0,50 → effet de grande taille → corrélation forte

Le tableau 18 montre aussi qu'une mauvaise qualité globale bactériologique (QGB) des oueds est très liée à l'augmentation de la densité populaire (-0,837*), alors que la qualité physico-chimique globale (QGP-H-CH) des eaux superficielles est fortement liée au nombre d'industries avec un taux équivalent à (-0,820*). Donc, nous pouvons dire que l'élévation du nombre de population et d'industrie diminue gravement la qualité globale des eaux. Ceci est

en liaison avec les apports anthropiques et industriels urbains et l'érosion du sol dans les cours d'eau et les zones qui sont fortement peuplées. Par contre le facteur de l'existence des terres agricoles est modérément lié.

VI. Corrélation des caractéristiques individuelles pour le district Ain Kadous

Pour le district Ain Kadous au cours des quatre dernières années, nous avons analysé les effectifs observés et attendus selon la corrélation statistique par le test Khi^2 en se basant sur des hypothèses nulles concernant les tranches d'âge, le sexe et la répartition des malades selon les différents mois de l'année.

VI.1. Effet de l'âge sur la distribution de la FT et des HVE

IV.1.1 Fièvre typhoïde

Le tableau 19 résume les résultats des calculs des pourcentages selon les effectifs des nombres de cas observés et attendus, ainsi que le test de Khi^2 , en vue d'analyser l'effet de l'âge sur la distribution des cas de la fièvre typhoïde, durant la période 2014-2017, au niveau du quartier Ain Kadous.

Le test de Khi^2 a enregistré des différences significatives entre les distributions des cas observés et attendus, par tranche d'âge pendant les années de ladite période.

Tableau 19. Analyse de l'effet de l'âge sur la distribution de la FT au niveau du quartier Ain Kadous pendant la période : 2014-2017

Année	Tranche d'âge	%observés	%Attendus	Khi ²	P-value
2014	00-04	0,0	4,3	0,122	<0,001
	05-14	71,4	58,2		
	15-29	21,4	20,6		
	30-59	7,1	10,6		
	60&+	0,0	6,4		
2015	00-04	0	4,3	0,734	<0,001
	05-14	42,9	58,6		
	15-29	28,6	21,4		
	30-59	14,3	10		
	60&+	14,3	5,7		
2016	00-04	6,7	4	0,310	<0,001
	05-14	53,3	58,7		
	15-29	20	20,7		
	30-59	13,3	10,7		
	60&+	6,7	6		
2017	00-04	8,3	4,1	0,534	<0,001
	05-14	58,3	57,9		
	15-29	16,7	20,7		
	30-59	8,3	10,7		
	60&+	8,3	6,6		

La tranche d'âge la plus touchée et celle de 05-14 ans; avec un pourcentage allant jusqu'au 71,4 % au cours de l'année 2014 ; les valeurs obtenues des risques relatifs varient entre 0 et 7,5. Donc l'infection par la Fièvre typhoïde exerce une influence sur l'âge, avec un risque, d'atteindre cette maladie, 7 fois plus élevée pour la tranche d'âge 05-14 par rapport aux autres tranches d'âge. Tandis que l'âge est un facteur protecteur pour les tranches d'âge 39-59 et 60+& plus.

Durant la période étudiée totale, la tranche d'âge la plus touchée par la FT est : 05-14 avec un taux équivaut à 58,3%.

IV.1.2. Hépatites virales

L'effet de l'âge sur la distribution des Hv au niveau du quartier Ain Kadous a été examiné pour chacune des tranches d'âges étudiées, couplé avec le test de Khi² (Tableau. 21).

De l'analyse des résultats mentionnée dans le tableau 20 ressort que l'âge est un facteur de risque des Hv, pour la tranche d'âge de 05-14 ans, avec un pourcentage de 50% qui est 4 fois supérieurs au reste des tranches d'âges de la population étudiée, du quartier Ain Kadous.

Tableau 20. Analyse de l'effet de l'âge sur la distribution des Hv au niveau du quartier Ain Kadous pendant la période : 2014-2017

Année	Tranche d'âge	%observés	%Attendus	Khi ²	P-value
2014	00-04	0,0	3,64	1,000	<0,001
	05-14	50	47,27		
	15-29	50	38,64		
	30-59	0	10,45		
	60&+	0	0		
2015	00-04	0	3,57	0,545	<0,001
	05-14	50	47,14		
	15-29	28,57	38,57		
	30-59	21,43	10,71		
	60&+	0	0		
2016	00-04	16,67	3,39	0,494	<0,001
	05-14	33,33	47,46		
	15-29	33,33	38,98		
	30-59	16,67	10,17		
	60&+	0	0		
2017	00-04	6,67	3,33	0,414	0,002
	05-14	46,67	47,33		
	15-29	33,33	338,67		
	30-59	13,33	10,67		
	60&+	0	0		

En revanche, l'âge est un facteur protecteur pour les tranches d'âges : 60 et plus, 00-04 et 30-59.

Le test de Khi² affirme la différence entre les distributions observées et celles attendues indépendamment de l'âge.

Durant la totalité de la période étudiée, la tranche d'âge la plus touchée par la FT est : 05-14 avec un taux équivalent à 47,4%.

-À l'égard des deux maladies, la même tranche d'âge 05-14 représentant les petits enfants, est la plus touchée avec un taux maximum équivalent à : 52,4%.

VI.2. Effet du sexe du malade sur la distribution de la FT et des HVE

IV.2.1. Fièvre typhoïde

La distribution des cas de la fièvre typhoïde, déclarés au niveau du quartier Ain Kadous durant la période 2014-2017, selon le sexe sont dans le global pour le sexe féminin (F) et masculin (M) de mêmes ordres, 50,5% et 49,5% respectivement (Tableau. 21).

Tableau 21. Analyse de l'effet du sexe sur la distribution de la FT pour le quartier Ain Kadous pendant la période 2014-2017

Année	Sexe	% Observés	% Attendus	Sex-ratio	Khi ²	P-value
2014	F	25,00	25,00	1,33	0,32	0,129
	M	33,33	33,33			
2015	F	20,83	20,83	0,40	0,473	0,347
	M	8,33	8,33			
2016	F	29,17	29,17	1,14	0,172	0,049
	M	33,33	33,33			
2017	F	25,00	25,00	1,00	0,247	0,109
	M	25,00	25,00			

Le ratio calculé M/F (sex-ratio) est en faveur des hommes durant les années 2014, 2016 et 2017, et en faveur des femmes durant l'année 2015. Cependant les résultats du test de Khi² montrent que les différences ne sont pas significatives. Pour cette raison, nous pouvons conclure que le sexe n'a pas d'effet sur la distribution de la FT au niveau du quartier Ain Kadous, durant la période 2014-2017.

IV.2.2. Hépatites virales

Le tableau 22 nous montre que la distribution des cas des hépatites virales, déclarées au cours de la période 2014-2017 pour le quartier Ain Kadous, selon le sexe que la part des hommes est de 40,4 %, et des femmes est de l'ordre de 59,6 %.

Tableau 22. Distribution du sexe des malades au niveau du quartier Ain Kadous pendant la période 2014-2017

Année	Sexe	% Observés	% Attendus	Sex-ratio	Khi ²	P-value
2014	F	41,18	41,18	0,84	0,233	0,102
	M	34,78	34,78			
2015	F	17,65	17,65	1,97	0,127	0,032
	M	34,78	34,78			
2016	F	14,71	14,71	0,30	0,112	0,144
	M	4,35	4,35			
2017	F	26,47	26,47	0,98	0,328	0,146
	M	26,09	26,09			

Les résultats du ratio H/F est en faveur des femmes durant les années 2014, 2016 et 2017, et en faveur des hommes pour l'année 2015. Par contre ces différences ne sont pas significatives comme le montre le test de Khi². De ce fait, le sexe n'a aucun effet sur la distribution des Hv au niveau du quartier Ain Kadous, durant la période 2014-2017.

VI.3. Évolution mensuelle des rapports de la FT et des Hv

VI.3.1. Fièvre typhoïde

La figure 56 nous indique la distribution mensuelle du nombre total de cas de la FT, déclarés au niveau du quartier Ain Kadous durant la période 2014-2017. Il ressort de cette distribution mensuelle l'existence d'une concentration claire des cas surtout au mois d'Avril et Octobre, concrètement aux résultats de la qualité des eaux de surface, obtenus pour le même suivi mensuel. En effet, cette période est connue par la trituration des olives et du summum des activités artisanales justes après la période d'Aid Adha à partir du mois d'Octobre.

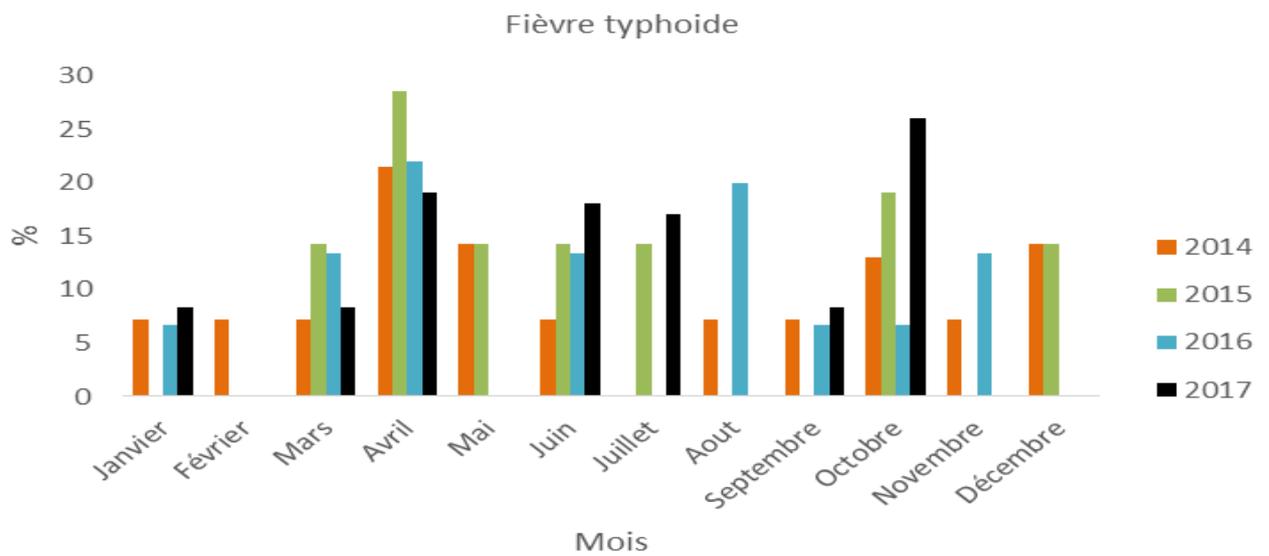


Figure 56. Distribution mensuelle des incidences de la FT (2014-2017)

VI.3.2. Hépatites virales

La figure 55 de la distribution mensuelle des ratios des nombres de cas des Hv nous indique une concentration claire des cas durant l'année 2014 et 2015 concernant les mois de Novembre, Décembre, Février et Mars, avec un pic au mois d'Avril. De même il ressort de cette distribution que cette augmentation coïncide avec la période connue par la trituration des olives et l'augmentation des activités artisanale après la période d'Aïd Al Adha.

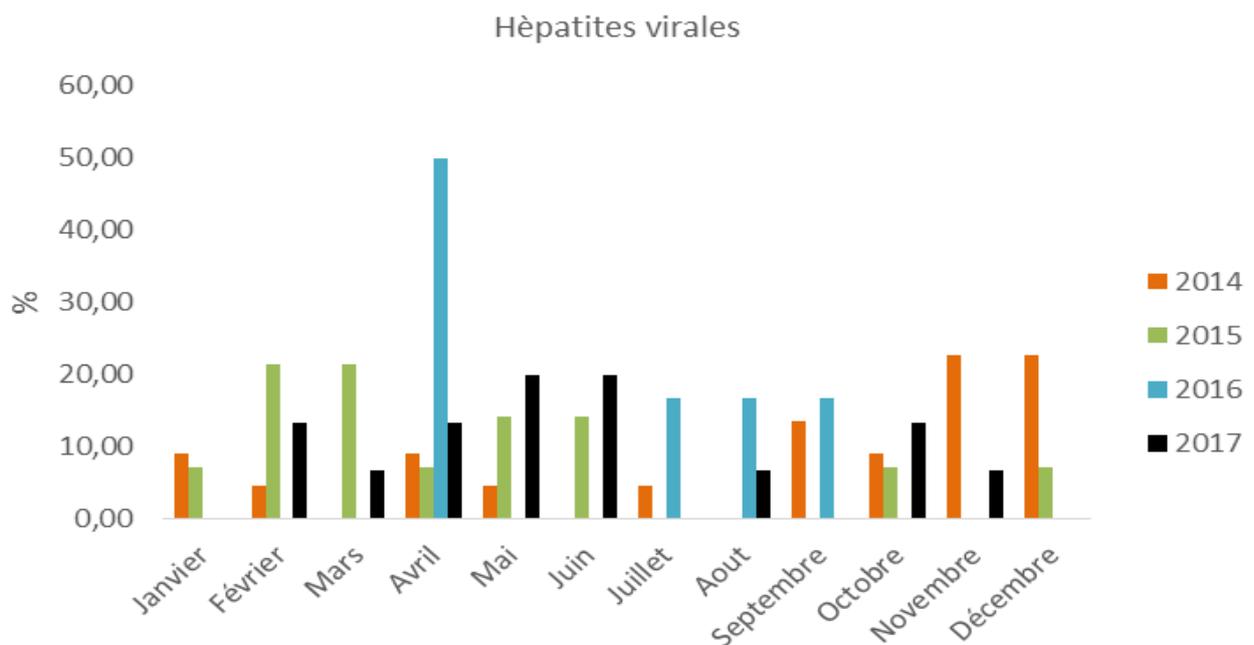


Figure 57. Distribution mensuelle des incidences des Hv pendant la période 2014-2017

V. Conclusion

La corrélation géographique réalisée nous a permis de délimiter les différents facteurs de risque étudiés selon l'espace. Subséquemment, la corrélation statistique a mis en relief les mêmes facteurs responsables pour le point PK d'Oued Aljawahir parcourant le quartier Ain Kadous, qui sont principalement :

- la mauvaise qualité bactériologique et la forte densité populaire ;
- la proximité par rapport à l'aval de l'Oued Fès et des zones industrielles des Doukkarat et Ain Nokbi identifiés les plus pollués par les activités artisanales et oléicoles ;
- le coudolement des zones agricoles, notamment celle d'El Merja ; connue par la marchandise des légumes irrigués 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, ...

La corrélation des caractéristiques individuelles pour le district Ain Kadous nous a permis de déterminer la tranche d'âge la plus vulnérable concernant les enfants âgés entre 04-15 ans. Alors que, le sexe n'a aucune relation avec la répartition de la fièvre typhoïde et les hépatites virales. Cependant, la répartition des nombres de cas selon les mois corrobore concrètement les résultats de la qualité des eaux de surface, obtenus pour le même suivi mensuel. En effet, cette période est connue par la trituration des olives et le summum des activités artisanales, justes après la période d'Aid Al Adha à partir du mois d'Octobre.

Il est donc important de promouvoir à l'éducation sanitaire, de sensibiliser les enfants qui se baignent dans les oueds et les gens qui se ravitaillent auprès des échoppes et colporteurs afin de réduire le risque de propagation des maladies ou d'épidémies d'origine hydrique.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Ce travail consiste à trouver une corrélation entre la qualité physico-chimique, bactériologique et métallique des eaux superficielles, traversant les zones urbaines et périurbaines, de la ville de Fès, et la répartition géographique des incidences des deux maladies à transmission hydrique, qui sont la fièvre typhoïde et les hépatites virales épidémiques et voir si l'emplacement des sites les plus pollués et les plus utilisés par l'habitation influence sur l'incidence de ces maladies de déclaration obligatoire. De même, d'estimer les facteurs comportementaux et environnementaux qui leur sont associés et qui contribuent à leur évolution ou régression, en vue d'assurer la sécurité de l'eau et de la santé publique à des fins de développement durable.

Pour cela, nous avons dans un premier temps, réalisé un diagnostic permettant de connaître les eaux de surface urbaines, et périurbaines, traversant la ville de Fès, les zones urbaines les plus denses et de grandes activités industrielles, la situation épidémiologique des deux maladies et la répartition géographique de leurs taux d'incidences au niveau des arrondissements et communes de la ville de Fès.

Dans un deuxième temps, nous avons effectué, d'une part, une évaluation spatio-temporelle de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface de la zone périurbaine de la ville de Fès (Ain Kansara) pendant deux années 2015 et 2016 et pour cinq sites de prélèvement ; et d'autre part, une caractérisation des eaux de surface de 6 autres sites de prélèvement situés à la zone identifiée la plus polluée, au Nord-Est de la ville de Fès, afin de déterminer celui de très mauvaise qualité et évaluer sa qualité spatio-temporelle mensuelle, et sa qualité globale pendant les 4 saisons de l'année 2017, avec un focus sur la période de trituration des olives (site quartier Ain Kadous).

Les résultats de cette partie nous ont servi pour déterminer la qualité globale des eaux de surface ainsi étudiées, moyennant le système de l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface (SEQ-Eau).

Ensuite, nous avons procédé à une cartographie spatiale, moyennant les outils SIG, suivie d'un traitement statistique des données environnementales et épidémiologiques afin de les corréler avec la répartition géographique de l'incidence des infections pathologiques causées par la pollution des eaux.

Les résultats du diagnostic réalisé à propos des eaux superficielles de la ville de Fès et des maladies à transmission hydrique nous ont permis de souligner que la population est en croissance démographique considérable à titre de 2 % par an, avec la plus forte condensation

à l'Est-Nord de la ville, une diversité industrielle notable, en particulier les industries artisanales, réparties à l'Est de la ville et irrigation des cultures maraîchères et l'élevage, surtout l'abreuvement des ovins et des bovins.

Le suivi spatio-temporel des différents paramètres définissant la qualité des eaux, montre que l'aval d'Oued Fès allant jusqu'au tronçon d'Oued Sebou, excepté l'amont du confluent Sebou-Fès, (zone A) et les sites existant à l'Est-Nord de la ville et au quartier Ain Kadous (zone B), sont les plus pollués. Pendant toute la période d'étude 2015, 2016 et 2017 ; ils se caractérisent par une forte pollution chronique d'origine organique, phosphorique et métallique.

Dans la mesure où, l'évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux de la zone A a révélé que la majorité des paramètres étudiés : oxygène dissous, turbidité, DBO₅, DCO, nitrates, conductivité électrique, ammonium et de phosphore total dépassent les normes exigées. Néanmoins, celles des pH et des températures sont en grande partie conformes aux directives marocaines. La détérioration de la qualité globale de ces eaux superficielles de cette région d'Ain Kansara est majoritairement due à l'altération de la matière organique et oxydable (OD, NH₄⁺, DCO et DBO₅) et éventuellement aux altérations liées à la minéralisation et la matière phosphorée à cause des activités agricoles et aux eaux usées épurées évacuées dans cet affluent. La qualité bactériologique a montré un état très dégradé qui évolue en suivant le flux de l'écoulement de l'oued et persiste même aux saisons pluvieuses et printanières.

L'application du système d'évaluation de la qualité globale de l'eau (SEQ-Eau) à ces données a montré que sur le plan physico-chimique, 40% des eaux sont de qualité globale mauvaise et 60% de ces eaux sont de qualité globale moyenne à bonne. Toutefois, pour le statut bactériologique, 60% de ces eaux sont de qualité globale mauvaise à très mauvaise et 40% de ces eaux sont de qualité globale moyenne à bonne. Il est clair que ces eaux en provenance de la ville de Fès sont soumises à des pressions anthropiques.

La caractérisation physicochimique et bactériologique des eaux des différents oueds de la zone B (Oued Aljawahir, Oued Tghat, Oued Zhoune, Oued Ain Smen, Oued Almahraz et Oued Fès amont) nous a permis de les classer selon leur qualité globale physico-chimique et bactériologique. Les points les plus pollués, situés aux quartiers urbains à l'Est de la ville, sont le point PK existant à Oued Aljawahir qui traverse le quartier Ain Kadous et le point PN localisé à Oued Tghat passant par le quartier Ain Nokbi.

Le dépouillement des résultats du suivi spatio-temporel mensuel de la qualité des eaux du point PK d'Oued Aljawahir, durant l'année 2017 nous a montré que ce point se caractérise par

une pollution surtout bactériologique et métallique, à cause de la condensation populaire, de l'arrosage des espaces verts, etc.

Le SEQ-eau nous a permis d'évaluer la qualité globale des eaux superficielles et de pondérer les différents paramètres en des altérations afin de pouvoir les traiter selon l'espace, via le système d'information géographique SIG qui les récapitule en cartographie visuelle facile, indiquant ainsi que les points existant à l'aval d'Oued Fès sont les plus pollués.

Le test ANOVA nous a précisé que le facteur emplacement a plus d'influence sur chacun des paramètres étudiés que le temps, puisque la moyenne quadratique de la majorité des paramètres est supérieure à celle du temps. En effet, les eaux superficielles étudiées sont exposées aux activités anthropiques de sources et types différents. Les différences significatives constatées sont liées à la nature des activités influençant la qualité des eaux.

La cartographie de la répartition spatiale des maladies à transmission hydrique, au palier des différents arrondissements de la ville de Fès à l'égard de l'année 2017, illustre que les taux d'incidence des maladies étudiées sont très élevés à l'Est-Nord de la ville. Ces maladies parviennent à 80 % pour les hépatites virales et 71 % pour la fièvre typhoïde indiquant ainsi que le district Ain Kadous est le premier responsable de la propagation de ces maladies épidémiques et à transmission hydrique au niveau de la ville de Fès.

La corrélation géographique entre la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface de la ville de Fès traversant les zones les plus polluées et la répartition géographique des incidences de deux maladies liées à l'eau, la fièvre typhoïde et les hépatites virales épidémiques via les outils SIG et la matrice de calcul statistique, en examinant les facteurs de risque y influençant, ont mis en relief les facteurs responsables suivants pour le point PK d'Oued Aljawahir parcourant le quartier Ain Kadous :

-la proximité par rapport à l'aval de l'Oued Fès et des zones industrielles Doukkarat et Ain Nokbi identifiés les plus pollués par les activités artisanales et oléicoles.

-le coudolement des zones agricoles, notamment celle d'El Merja ; connue par la marchandise des légumes irrigués 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;

-la forte densité de population à l'arrondissement Fès El Médina dépassant les 33 % et des taux équivalents à 15,8 % et 15,9 % successivement pour l'arrondissement El Mérinides et Jnane ELWARD de la ville de Fès.

- une présence du terrain GOLF qui demande des entretiens réguliers avec l'utilisation excessive des forts pesticides, engrais et produits phytosanitaires (ceci constitue un risque de pollution pour les eaux superficielles et même souterraines, et sanitaire lors du moindre contact.
- une existence de l'abattoir principal de la ville, situé à Aïn Kadous, connu sous le nom d'El Guarna qui évacue ses rejets sans aucun traitement.

La tranche d'âge la plus touchée par ces maladies est celle des petits enfants entre 05-14 ans avec un taux presque sept fois plus élevé que les autres tranches d'âges. Les mois qui représentent les taux les plus élevés de ces maladies sont Avril, Octobre, Novembre et Décembre. Ils enregistrent le nombre le plus élevé des cas déclarés au niveau de ce district, ce qui coïncide avec la qualité des eaux analysées qui est de mauvaise qualité durant cette période connue par la trituration des olives et le summum des activités artisanales en plus de la présence des résidus du sang des animaux abattus, ainsi que les débris de panse au niveau d'oued Fès aval juste après l'Aid Al Adha.

Parmi les usages connus de cet Oued, et qui constituent des risques pour la santé : la baignade des jeunes enfants durant les saisons chaudes, l'arrosage du terrain Golf, la vaisselle lors des piqueniques, le lavage des voitures, l'abreuvement des animaux, etc.

En conclusion, les résultats montrent clairement l'existence des apports anthropiques sur ces ressources hydriques et nécessitent plus de recherches dans la colonne d'eau.

Par ailleurs, l'application de ces outils d'analyse géographique en épidémiologie présente plusieurs bénéfices: une meilleure compréhension de l'analyse des relations entre l'environnement et la présence de la maladie; la détection des agrégats de cas ; la prédiction de la propagation de la maladie et l'évaluation des actions de contrôle et de prévention. Ceci en vue d'assurer la sécurité de l'eau à des fins de développement durable et de la population à haut risque d'infection par la fièvre typhoïde et les Hépatites virales au niveau de la ville de Fès. En effet, les techniques appliquées constituent une étape importante dans la mise en œuvre des programmes locaux spécifiques à la prévention et au contrôle des maladies liées à l'eau, en permettant une économie de temps et d'efforts aux autorités.

En guise de conclusion, l'approche pluridisciplinaire mise en œuvre dans cette thèse a permis d'intégrer au sein d'une même démarche différents acteurs universitaires et industriels et différents aspects : analyse chimique, analyse environnementale, analyse épidémique..., afin de répondre à la problématique de l'évaluation de la charge polluante des eaux de surface de

la ville de Fès en aval d'oued Fès et de la confluence Sebou-Fès, après la mise en marche de la STEP et l'état actuel des maladies hydriques.

En effet, malgré que ces maladies soient sous surveillance des responsables de la santé, et un acte de routine fructueux donnant des informations indispensables. Ce projet de Thèse montre la nécessité de normaliser l'échange des données sur la qualité de l'eau et les maladies d'origine hydrique afin de créer un système d'information rationnel et illustrer le travail entre les différents acteurs, pour faciliter la prise des décisions, et préserver l'environnement, la santé et le développement durable.

RÉFÉRENCES

Bibliographie

- Abdel Ghaffar, T. Y., Elsobky, E. S., & Elsayed, S. M. (2011). Cholestasis in patients with Cockayne syndrome and suggested modified criteria for clinical diagnosis. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 6, 10-19. <https://doi:10.1186/1750-1172-6-13>.
- Abdel-Satar, A. M., Ali, M. H., & Goher, M. E. (2017). Indices of water quality and metal pollution of Nile River, Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 43(1), 21-29. <https://doi:10.1016/j.ejar.2016.12.006>.
- ABHSF. (2011a). Étude d'actualisation du plan directeur d'aménagement integre des ressources en eau du bassin hydraulique de sebou, [repport].
- ABHSF, R. (2015). Wastewater In The City Of Fez Retrieved, [repport].
- Afroz, R., Banna, H., Masud, M. M., Akhtar, R., & Yahaya, S. R. (2016). Household's perception of water pollution and its economic impact on human health in Malaysia. *Desalination and Water Treatment*, 57(1), 115-123. <https://doi:10.1080/19443994.2015.1006822>.
- AgriMaroc.ma. (2017). Les triturations des olives traditionnelles « Mâasras » mettent fin à la pollution par les margines dans la région de Fès-Meknès. *AgriMaroc.ma*, [repport].
- ALAMI, Y. S. (2018). Fès: Coup d'accélérateur pour l'assainissement liquide, [Press release]. Retrieved from <http://www.leconomiste.com/article/1024542-fes-coup-d-accelerateur-pour-l-assainissement-liquide>.
- Amarti Riffi, S. (2013). *Gerer le reseau d'assainissement de la ville de fes collecter, traiter*, [repport].
- Article19.ma. (2017). Des investissements de 47 MDH pour la réalisation prochaine d'un « centre médical de proximité » à Fès, [Press release]. Retrieved from <http://article19.ma/accueil/archives/71908>.
- Aziz, F., Parrado Rubio, J., Ouazzani, N., Dary, M., Manyani, H., Rodríguez Morgado, B., & Mandi, L. (2017). Sanitary impact evaluation of drinking water in storage reservoirs in Moroccan rural area. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(4), 767-777. <https://doi:10.1016/j.sjbs.2016.01.034>.
- Aouragh, M. H., Essahlaoui, A., El Ouali, A., El Hmadi, A., & Kamel, S. (2017). Groundwater potential of Middle Atlas plateaus, Morocco, using fuzzy logic approach, GIS and remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 194-206. <https://doi:10.1080/19475705.2016.1181676>.
- Ayaz, S. Ç., Aktaş, Ö., Dağlı, S., Aydoğan, C., Atasoy Aytış, E., & Akça, L. (2013). Pollution loads and surface water quality in the Kızılırmak Basin, Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 51(7-9), 1533-1542. <https://doi:10.1080/19443994.2012.698814>.
- B.O. (2013). Official Bulletin of the Minister of the Interior, the Minister of Energy, Mines, Water and Environment., the Minister of Industry. N° 2942-13, [repport].
- B.O. (2016). Loi n°36-15 relative à l'eau. Normes marocaines pour la qualité des eaux de surface, décret n° 1-16-113 du 6 el Kaada 1437, [repport].
- Baccar Ep Yangui, R. (2013). Autònoma de Barcelona, barcelona. Retrieved from Removal of water pollutants by adsorption on activated carbon prepared from olive-waste cakes and by biological treatment using ligninolytic fungi, [repport].
- Baker, L., & de Frey, A. F. (2011). Focus on hepatitis A and the traveller. *Southern African Journal of Epidemiology and Infection*, 26(2), 66-70. <https://doi:0.1080/10158782.2011.11441427>.
- Barakat, A., El Baghdadi, M., Rais, J., Aghezzaf, B., & Slassi, M. (2016). Assessment of spatial and seasonal water quality variation of Oum Er Rbia River (Morocco) using multivariate statistical

- techniques. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(4), 284-292. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.11.002>.
- 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*. Doi : [10.1016/j.pce.2018.01.006](https://doi.org/10.1016/j.pce.2018.01.006).
- Barrett, F. (2013). Cases of typhoid fever in Copenhagen region: a retrospective study of presentation and relapse. *BMC Res Notes*, 6(1), 315. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-6-315>.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.033>.
- Belhadj, M. Z. (2017). Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la Wilaya de Skikda. Université Mohamed Khider Biskra, Faculté des Sciences et de la technologie, [rapport].
- 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 Abbou, M. (2013). Impact des déchets sur la qualité des ressources hydriques du bassin versant de l'Oued Inaouen et leur valorisation par compostage. *Journal of Taibah University for Science*, 22(2), 34-49.
- 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].
- Benson, N. U., Anake, W. U., Essien, J. P., Enyong, P., & Olajire, A. A. (2017). Distribution and risk assessment of trace metals in *Leptodius exarata*, surface water and sediments from Douglas Creek in the Qua Iboe Estuary. *Journal of Taibah University for Science*, 11(3), 434-449. <https://doi.org/10.1016/j.jtusci.2016.08.004>.
- Bohara, R. A., Throat, N. D., Mulla, N. A., & Pawar, S. H. (2017). Surface-Modified Cobalt Ferrite Nanoparticles for Rapid Capture, Detection, and Removal of Pathogens: a Potential Material for Water Purification. *Appl Biochem Biotechnol*, 182(2), 598-608. <https://doi.org/10.1007/s12010-016-2347-6>.
- Borgmasters, E., Jazi, M. M., Persson, S., Jansson, L., Radstrom, P., Simonsson, M., . . . Eriksson, R. (2017). Improved Detection of Norovirus and Hepatitis A Virus in Surface Water by Applying Pre-PCR Processing. *Food Environ Virol*, 9(4), 395-405. <https://doi.org/10.1007/s12560-017-9295-3>.
- Bhuyan, M. S., Bakar, M. A., Akhtar, A., Hossain, M. B., Ali, M. M., & Islam, M. S. (2017). Heavy metal contamination in surface water and sediment of the Meghna River, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2017.10.003>.
- Bukhari, N., Saleem, A., Jabbar, A., Noor Khan, S., Ahmad, B., Habib, N., Ahmad Khan, A. (2016). Frequency of typhoid fever and its association with seasonal variations in Taxila, Pakistan. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 50(8), 942-951. Doi : [10.3109/00365521.2015.1014407](https://doi.org/10.3109/00365521.2015.1014407).
- Burisch, J., & Munkholm, P. (2015). The epidemiology of inflammatory bowel disease. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 50(8), 942-951. <https://doi.org/10.3109/00365521.2015.1014407>.
- CESE. (2016). Situation économique, sociale et environnementale, Synthèse du Rapport Annuel : Conseil Economique, Social et Environnemental, [Press release].
- CFCIM. (2014). L'eau au Maroc Chambre Française de Commerce et d'Industrie du Maroc, [rapport].

- Chaoua, S., Boussaa, S., Khadra, A., & Boumezzough, A. (2018). Efficiency of two sewage treatment systems (activated sludge and natural lagoons) for helminth egg removal in Morocco. *J Infect Public Health*, 11(2), 197-202. <https://doi:10.1016/j.jiph.2017.07.026>.
- Cao, Y., Bing, Z., Guan, S., Zhang, Z., & Wang, X. (2018). Development of new hepatitis E vaccines. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 110-124. <https://doi:10.1080/21645515.2018.1469591>.
- Cheng, Q., Wu, H., Wang, W., Wu, Y., Li, H., & Zhang, X. (2012). Health risks of pollutants in the surface water sources of the centralized drinking water supply in Zhengzhou, China. *Water International*, 37(3), 253-264. <https://doi:10.1080/02508060.2012.687686>.
- Cheng, X., Liang, H., Ding, A., Zhu, X., Tang, X., Gan, Z., Li, G. (2017). Application of Fe (II) peroxydisulfate for improving ultrafiltration membrane performance in surface water treatment : Comparison with coagulation and ozonation. *Water Res*, 124, 298-307. <https://doi:10.1016/j.watres.2017.07.062>.
- Choo-In, S., Kasemsawat, S., Sriwilai, J., & Kuanprasert, N. (2015). The Participation of Surface Water Quality Management, Amphawa District, Samut Songkhram, Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197, 1551-1557. <https://doi:10.1016/j.sbspro.2015.07.109>.
- Cicak, T., & Tynan, N. (2015). Mapping London's Water Companies and Cholera Deaths. *The London Journal*, 40(1), 21-32. <https://doi:10.1179/0305803414Z.057>.
- Comeau, J. L., Tran, T. H., Moore, D. L., Phi, C.-M., & Quach, C. (2013). Salmonella enterica serotype Typhi infections in a Canadian pediatric hospital: a retrospective case series. *CMAJ Open*, 1(1), E56-E61. <https://doi:10.9778/cmajo.20120012>.
- Cristóvão, P., Pereira, D., Pechirra, P., Pereira-Vaz, J., Correia, L., Rodrigues, F., Guiomar, R. (2016). Molecular characterization of respiratory syncytial virus during 2015–2016 season in Portugal. *Journal of Clinical Virology*, 82, S122. Doi :10.1016/j.jcv.2016.08.244.
- DELM. (2018). *Bulletin d'Epidemiologie et de Santé Publique*. Retrieved from Ministère de la santé, [Report].
- Dennis, b., & Oullet, M. (2013). *Guide pour l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau*, [Report].
- Derwich, E., Benziane, Z., & Benaabidate, L. (2010). Diagnostic of physicochemical and bacteriological quality of fez wastewaters rejected in Sebou River: Morocco 5 (63).
- Derwich E, B. 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*, n° 07(1112-3680), 59-77.
- Divya, A. H., & Solomon, P. A. (2016). Effects of Some Water Quality Parameters Especially Total Coliform and Fecal Coliform in Surface Water of Chalakudy River. *Procedia Technology*, 24, 631-638. <https://doi:10.1016/j.protcy.2016.05.151>.
- Dogru, A. O., David, R. M., Ulugtekin, N., Goksel, C., Seker, D. Z., & Sözen, S. (2017). GIS based spatial pattern analysis: Children with Hepatitis A in Turkey. *Environ Res*, 156, 349-357. <https://doi:envres.2017.04.001>.
- DRHCPF. (2018). Direction régionale du haut commissariat au plan de fes, [Report].
- Dworkin, J., Saeed, R., Mykhan, H., Kanan, S., Farhad, D., Ali, K. O., Neill, M. A. (2014). Burden of typhoid fever in Sulaimania, Iraqi Kurdistan. *International Journal of Infectious Diseases*, 27, 70-73. <https://doi:10.1016/j.ijid.2014.07.005>.
- 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. Doi :10.1179/107735207800244938. <https://doi:50.6007/s12560-016-9233-9>.

- El Allaoui, N. (2018). *Evaluation de la charge polluante et traitement des effluents de la STEP par des procédés intégrés : optimisation et modélisation des résultats*. (Dr), Sidi Mohammed Ben Abdellah Faculté des Sciences Dhar El Mahraz Fès. <https://doi:50.1007/s98560-016-9243-45>.
- 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* (Vol. 8). <https://doi:10.1007/s12560-016-9243-7>.
- El Haissoufi, H., Berrada, S., Merzouki, M., Aabouch, M., Bennani, L., Benlemlih, M., . . . El Ouali Lalami, A. (2011). *POLLUTION DES EAUX DE PUITES DE CERTAINS QUARTIERS DE LA VILLE DE FES, MAROC* (Vol. 5).
- Elmahdy, E. M., Fongaro, G., Schissi, C. D., Petrucio, M. M., & Barardi, C. R. (2016). Enteric viruses in surface water and sediment samples from the catchment area of Peri Lagoon, Santa Catarina State, Brazil. *J Water Health*, *14*(1), 142-154. doi:10.2166/wh.2015.295. <https://doi:10.1007/s12560-016-9243-7>.
- Emmanuel REYNARD, M. L., Gabriela WERREN, Khalid OBDA, Mhamed AMYAY, Ali TAOUS. (2011). *Gestion du risque d'inondation dans deux bassins versants marocains : Fès et Beni Mellal », financé par la Direction du Développement et de la Coopération suisse*. Retrieved from, [Repport].
- Epelde, A. M., Cerro, I., Sánchez-Pérez, J. M., Sauvage, S., Srinivasan, R., & Antigüedad, I. (2015). Application of the SWAT model to assess the impact of changes in agricultural management practices on water quality. *Hydrological Sciences Journal*, *60*(5), 825-843. doi:10.1080/02626667.2014.967692. <https://doi:10.1007/s12560-016-9243-7>.
- Errochdi, S., El Alami, M., Bennis, N., Belqat, B., Ater, M., & Fdil, 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.
- Essahale, A., Malki, M., Marín, I., & Moumni, M. (2010). Bacterial diversity in Fez tanneries and Morocco's Binlamdoune River, using 16S RNA gene based fingerprinting. *J Environ Sci (China)*, *22*(12), 1944-1953. doi:[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60344-2](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60344-2).
- Etchevers, A., Glorennec, P., Lucas, J.-P., Le Bot, B., Lecoffre, C., & Le Tertre, A. (2017). Exposition au plomb des enfants en France : niveaux d'imprégnation et déterminants. *Toxicologie Analytique et Clinique*, *29*(4), 483-495. doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxac.2017.07.001>.
- 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. <https://doi:10.1007/s12560-016-9243-7>.
- Ewaid, S. H., & Abed, S. A. (2017). Water quality index for Al-Gharraf River, southern Iraq. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, *43*(2), 117-122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2017.03.001>.
- FEM. (2016). Evaluation du portefeuille de pays : MAROC 1997 – 2015 Document techniques par le Bureau Indépendant d'Evaluation du FEM) 2, [Repport].
- Filippini, T., Cilloni, S., Malavolti, M., Violi, F., Malagoli, C., Tesauro, M., . . . Vinceti, M. (2018). Dietary intake of cadmium, chromium, copper, manganese, selenium and zinc in a Northern Italy community. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.03.001>
- Françoise ELSASS, Nathalie Cheviron, Jeanne-Chantal THOISY-DUR, Virginie GRONDIN, Christelle MARRAULD, Sébastien BREUIL, . . . GHAZI, M. (2014). Pertinence d'indicateurs biochimiques de l'impact du Cr sur le vivant en polyculture irriguée en zone périurbaine. *Biochemenv*.
- Gay, E., & Agence de l'eau, L. B. (2006). *Le prélèvement d'échantillons en rivière*.

- 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*, 40(3), 225-233. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejar.2014.09.001>
- Giroux, É. (2011). Histoire de l'épidémiologie des facteur de risque (Vol. 64). ORIGINES DE L'étude prospective de cohorte : épidémiologie cardio-vasculaire américaine et étude de framingham.
- Grant, W. B. (2016). The role of geographical ecological studies in identifying diseases linked to UVB exposure and/or vitamin D. *Dermato-Endocrinology*, 8(1), e1137400. <http://doi.org/10.1080/19381980.2015.1137400>.
- Griffiths, J. K. (2017). Waterborne Diseases. In S. R. Quah (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health (Second Edition)* (pp. 388-401). Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.03.001>
- Griffiths, J. A., Chan, F. K. S., Zhu, F., Wang, V., & Higgitt, D. L. (2017). Reach-scale variation surface water quality in a reticular canal system in the lower Yangtze River Delta region, China. *J Environ Manage*, 196, 80-90. <https://doi:10.1016/j.jenvman.2017.02.079>.
- H24info. (2017). Pénuries d'eau près de Fès: les habitants d'un douar manifestent à coups de bidons vides. *H24info*, [Repport].
- H.Hayzoun, Ouammou, A., Saidi, O., Khalil, F., & L.Bouayyadi. (2014). Assessment of the bacteriological and chemical quality of the Sebou River, Morocco. *J. Mater. Environ. Sci.*, 5(2028-2508), 2438-2443. <https://doi:10.1007/s10661-013-3585-5>
- Hasan, M. R., Khan, M. Z. H., Khan, M., Aktar, S., Rahman, M., Hossain, F., & Hasan, A. S. M. M. (2016). Heavy metals distribution and contamination in surface water of the Bay of Bengal coast. *Cogent Environmental Science*, 2(1), 1140001. <https://doi:10.1080/23311843.2016.1140001>.
- Hayzoun, H., Garnier, C., Durrieu, G., Lenoble, V., Bancon-Montigny, C., Ouammou, A., & Mounier, S. (2014). Impact of rapid urbanisation and industrialisation on river sediment metal contamination. *Environ Monit Assess*, 186(5), 2851-2865. <https://doi:10.1007/s10661-013-3585-5>.
- Hayzoun, H., Garnier, C., Durrieu, G., Lenoble, V., Le Poupon, C., Angeletti, B., . . . Mounier, S. (2015). Organic carbon, and major and trace element dynamic and fate in a large river subjected to poorly-regulated urban and industrial pressures (Sebou River, Morocco). *Science of The Total Environment*, 502, 296-308. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.014>.
- Haffar, S., Murad, M. H., & Bazerbachi, F. (2017). Hepatitis E virus seroprevalence in Lebanon and Morocco. *Microbial Pathogenesis*, 112, 95-96. doi:<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.07.053>.
- Heldt, F. H., Staggmeier, R., Gularte, J. S., Demoliner, M., Henzel, A., & Spilki, F. R. (2016). Hepatitis E Virus in Surface Water, Sediments, and Pork Products Marketed in Southern Brazil. *Food Environ Virol*, 8(3), 200-205. <https://doi:10.1007/s12560-016-9243-7>.
- Hellar-Kihampa, H., De Wael, K., Lugwisha, E., & Van Grieken, R. (2013). Water quality assessment in the Pangani River basin, Tanzania: natural and anthropogenic influences on the concentrations of nutrients and inorganic ions. *International Journal of River Basin Management*, 11(1), 55-75. <https://doi:10.1080/15715124.2012.759119>.
- 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. <https://doi:10.1080/02626667.2014.967247>.
- Idrissi, M. (2016). Fès-Meknès : la région se penche sur la gestion de l'eau. *lesEco.ma*, 1.
- Idrissi, M. (2017). Trituration des olives : comment arrêter la pollution par les margines [Press release].

- Ishak, A. R., Mohamad, S., Soo, T. K., & Hamid, F. S. (2016). Leachate and Surface Water Characterization and Heavy Metal Health Risk on Cockles in Kuala Selangor. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 222, 263-271. doi:https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.156.
- 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. doi:10.1039/c7sm01959a.
- John, A., Crump, M., & ChB, M. (2017). *Epidemiology and global burden of disease of typhoid fever*. Retrieved from, [Report].
- Joutey, N. T., Bahafid, W., Sayel, H., Abed, S. E., & Ghachtouli, N. E. (2011). Remediation of hexavalent chromium by consortia of indigenous bacteria from tannery waste-contaminated biotopes in Fez, Morocco. *International Journal of Environmental Studies*, 68(6), 901-912. doi:10.1080/00207233.2011.623855.
- Khalil, A., Hanich, L., Hakkou, R., & Lepage, M. (2014). GIS-based environmental database for assessing the mine pollution: A case study of an abandoned mine site in Morocco. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 468-477. doi:https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.03.023.
- Khatri, N., & Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Frontiers in Life Science*, 8(1), 23-39. doi:10.1080/21553769.2014.933716.
- Kotchi, S. O., Turgeon, P., Michel, P., Lavigne, M. P., & Brazeau, S. (2011). Assessing and Monitoring Microbiological Quality of Surface Waters Using Tele-Epidemiology. *Global Bioethics*, 24(1-4), 65-70. doi:10.1080/11287462.2011.10800700.
- Kouchou, A., Rais, N., Thoisy, J.-C., Duplay, J., Ghazi, M., Elsass, F., . . . El Ghachtouli, N. (2017). Behavior of Enzyme Activities Exposed to Contamination by Heavy Metals and Dissolved Organic Carbon in Calcareous Agricultural Soils. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 26(3), 259-276. doi:10.1080/15320383.2017.1289499.
- 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). *Environ Pollut*, 131(1), 163-172. doi:https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.01.014.
- Krysanova, V., & White, M. (2015). Advances in water resources assessment with SWAT—an overview. *Hydrological Sciences Journal*, 60(5), 771-783. doi:10.1080/02626667.2015.1029482.
- 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(2028-2508), 2333-2344.
- Lalami, A., Zanibou, A., Bekhti, K., Zerrouq, F., & Merzouki, M. (2014). Microbiological Control wastewater domestic and industrial city of Fes Morocco. *J.Mater. Environ. Sci.*, 5(S1).
- Lanza, G., & Chiacchio, M. A. (2015). Interfacial water at the trialanine hydrophilic surface: a DFT electronic structure and bottom-up investigation. *Phys Chem Chem Phys*, 17(26), 17101-17111. doi:10.1039/c5cp00270b.
- Lapedra Alcamí, R., & Devece Carañana. (2012). Introduction to Management Information Systems. *Universitat Jaume I*, 39.
- Lindh, E. L., Bergenstrahle-Wohlert, M., Terenzi, C., Salmen, L., & Furo, I. (2016). Non-exchanging hydroxyl groups on the surface of cellulose fibrils: The role of interaction with water. *Carbohydr Res*, 434, 136-142. doi:10.1016/j.carres.2016.09.006.
- Long, M., Wu, J., & Abuduwaili, J. (2016). Hydrochemical and isotopic characters of surface water in agricultural oases of the Tianshan Mountains, Northwest China. *Arid Land Research and Management*, 30(1), 37-48. doi:10.1080/15324982.2015.1056326.

- Lopez-Galvez, F., Truchado, P., Sanchez, G., Aznar, R., Gil, M. I., & Allende, A. (2016). Occurrence of enteric viruses in reclaimed and surface irrigation water: relationship with microbiological and physicochemical indicators. *J Appl Microbiol*, 121(4), 1180-1188. doi:10.1111/jam.13224.
- Lu, H., & Yu, S. (2018). Spatio-temporal variational characteristics analysis of heavy metals pollution in water of the typical northern rivers, China. *Journal of Hydrology*, 559, 787-793. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.081.
- Lydec. (2016). *A cinq mois de la COP22 Lydec présente ses engagements pour le climat et réalise son premier Bilan Carbone*. Retrieved from, [Repport].
- Marchane, A., Trambly, Y., Hanich, L., Ruelland, D., & Jarlan, L. (2017). Climate change impacts on surface water resources in the Rheraya catchment (High Atlas, Morocco). *Hydrological Sciences Journal*, 62(6), 979-995. doi:10.1080/02626667.2017.1283042.
- 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. doi:10.1080/10934529.2015.1109393.
- Martijn, A. J., Boersma, M. G., Vervoort, J. M., Rietjens, I. M. C. M., & Kruihof, J. C. (2014). Formation of genotoxic compounds by medium pressure ultraviolet treatment of nitrate-rich water. *Desalination and Water Treatment*, 52(34-36), 6275-6281. doi:10.1080/19443994.2014.925654.
- MDCEau. (2017). *Rapport genre accompagnant la loi de finances*. Retrieved from ministere delegeue charge de l'eau.
- MDCEau, DRPE, & AGIRE. (2015). *Loi 10-95 Dahir(2002) définissant la grille de qualité des eaux de surface n ° 1275-01 du 10 Chaabane 1423*. Retrieved from , [Repport].
- Mhamdi, F., Khouni, I., & Ghrabi, A. (2016). Diagnosis and characteristics of water quality along the Wadi El Bey river (Tunisia). Coagulation/flocculation essays of textile effluents discharged into the Wadi. *Desalination and Water Treatment*, 57(46), 22166-22188. doi:10.1080/19443994.2016.1147378.
- MMEM. (2016). *Etat de la qualité des Ressources en Eau au Maroc*, [Repport]. Retrieved from <http://www.water.gov.ma/wp-content/uploads/2016/01/4.3.2.Evaluation-qualite---de-leau.pdf>.
- Molle, F., & Tanouti, O. (2017). Squaring the circle: Agricultural intensification vs. water conservation in Morocco. *Agricultural Water Management*, 192, 170-179. doi:https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.009.
- Moreno, Y., Moreno-Mesonero, L., Amoros, I., Perez, R., Morillo, J. A., & Alonso, J. L. (2018). Multiple identification of most important waterborne protozoa in surface water used for irrigation purposes by 18S rRNA amplicon-based metagenomics. *Int J Hyg Environ Health*, 221(1), 102-111. doi:10.1016/j.ijheh.2017.10.00.
- Mouhaddach, O. (2015). Analyse spatio-temporelle de la fièvre typhoïde au niveau de la ville de Meknes (Maroc). *Revue francophone sur la santé et les territoires*, 1-19.
- Mouillet-Dabis, E., & C, V. (2012). *La recherche de l'information scientifique en épidémiologie*.
- Moumen, A. (2016). *Contribution d'une approche participative et des infrastructures de données spatiales pour la conception d'un système régional d'information sur l'eau, étude de cas au bassin Guir-ziz-rheris et Maider*. Université Ibn Tofail Faculté des Sciences Kenitra.
- Mourhir, A., Rachidi, T., & Karim, M. (2014). River water quality index for Morocco using a fuzzy inference system. *Environmental Systems Research*, 3-21. doi:https://doi.org/10.1186/s40068-014-0021-y.
- MSC. (2013). Types de collecte de données. Retrieved from <https://www.statcan.gc.ca/edu/power-pouvoir/ch2/types/5214777-fra.htm>.

- Murrison, L. B., & Sherman, K. E. (2017). The Enigma of Hepatitis E Virus. *Gastroenterology & Hepatology*, 13(8), 484-491.
- MUAT. (2016). Etude d'elaboration du schéma directeur d'aménagement urbain du grand fès (SDAU) phase I Diagnostic territorial et enjeux de développement, [Repport].
- Mutreja, R., Jariyal, M., Pathania, P., Sharma, A., Sahoo, D. K., & Suri, C. R. (2016). Novel surface antigen based impedimetric immunosensor for detection of Salmonella typhimurium in water and juice samples. *Biosens Bioelectron*, 85, 707-713. doi:10.1016/j.bios.2016.05.079RAPPORT de SYNTHÈSE..
- Nagy, A. S., Szabó, J., & Vass, I. (2013). Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface water of the Raba River, Hungary. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48(10), 1190-1200. doi:10.1080/10934529.2013.776455.
- 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*, 95(13), 1242-1262. doi:10.1080/03067319.2015.1085520.
- Newman, C., Agioutantis, Z., & Boede Jimenez Leon, G. (2017). Assessment of potential impacts to surface and subsurface water bodies due to longwall mining. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(1), 57-64. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2016.11.016.
- N.U. (2015). *Transformer notre monde : le Programme de développement durable à l'horizon 2030* Retrieved from, [Repport].
- Narita, K., Matsui, Y., Iwao, K., Kamata, M., Matsushita, T., & Shirasaki, N. (2014). Selecting pesticides for inclusion in drinking water quality guidelines on the basis of detection probability and ranking. *Environ Int*, 63, 114-120. doi:https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.019.
- Nwabor, O. F., Nnamonu, E., Martins, P., & Christiana, A. (2016). *Water and Waterborne Diseases: A Review* (Vol. 12).
- Ohta, A., & Nagai, M. (2014). Prevalence and incidence of polymyositis and dermatomyositis in Japan. *Modern Rheumatology*, 24(3), 477-480. doi:10.3109/14397595.2013.844308.
- Omor, A., Rais, Z., El Rhazi, K., Merzouki, M., El Karrach3, K., Elallaoui1, N., & Taleb, M. (2017). Optimization of the method wastewater treatment of unit bovine hides's unhairing liming. *Journal of Materials and Environmental Sciences*8(4), 1235-1246.
- ONEE. (2017). L'Office National d'Eau et d'Électricité, Acteur principal dans le développement du secteur de l'assainissement au Maroc.
- OREDD. (2014). *Evaluation Intégrée de l'Environnement de la Région de Fès - Boulemane*. Retrieved from.
- Ouazzani, N. T., Ferguene, A., & Larbi, J. (2015). Nouvelles zones d'activités et redynamisation de l'artisanat traditionnel au Maroc. Le cas de la dinanderie dans la zone d'Aïn Nokbi à Fès. *La revue des économistes critiques*, 32(8), 113-134.
- 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). *Environ Technol*, 33(18), 2077-2088. doi:10.1080/09593330.2012.660644.
- Papazova, P., & Simeonova, P. (2013). Environmetric data interpretation to assess the water quality of Maritsa River catchment. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48(8), 963-972. doi:10.1080/10934529.2013.762743.
- Park, J. D., Park, J. H., Lee, J. K., & Oh, S. Y. (2015). Analyzing impairment of water bodies considering watershed characteristics in Geum River basin in Korea. *Desalination and Water Treatment*, 53(9), 2312-2323. doi:10.1080/19443994.2014.927121.

- Pastor, A., Babault, J., Owen, L., Teixell, A., & Arboleya, M. (2015). *Extracting dynamic topography from river profiles and cosmogenic nuclide geochronology in the Middle Atlas and the High Plateaus of Morocco* (Vol. 663).
- Péron, J.-M. (2016). Hepatitis E Virus Infection and Cirrhosis of the Liver. *Gastroenterology & Hepatology*, 12(9), 565-567.
- 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*, 510, 26-34. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.002.
- Perrin, J. L., Salles, C., Bancon-Montigny, C., Rais, N., Chahinian, N., Dowse, L., . . . Tournoud, M. G. (2018). Comparison of index systems for rating water quality in intermittent rivers. *Environ Monit Assess*, 190(2), 70. doi:10.1007/s10661-017-6396-2.
- RADEEF. (2014). Inauguration de la Station d'épuration des eaux usées de Fès.
- Rahman, Z., & Singh, V. P. (2016). Assessment of heavy metal contamination and Hg-resistant bacteria in surface water from different regions of Delhi, India. *Saudi Journal of Biological Sciences*. doi:https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.09.018.
- Rahman, B. A., Wasfy, M. O., Maksoud, M. A., Hanna, N., Dueger, E., & House, B. (2014). Multi-drug resistance and reduced susceptibility to ciprofloxacin among *Salmonella enterica* serovar Typhi isolates from the Middle East and Central Asia. *New Microbes New Infect*, 2(4), 88-92. doi:10.1002/nmi.246.
- Ren, X., Wu, P., Wang, L., Geng, M., Zeng, L., Zhang, J., . . . Yu, H. (2017). Changing Epidemiology of Hepatitis A and Hepatitis E Viruses in China, 1990-2014. *Emerg Infect Dis*, 23(2), 276-279. doi:10.3201/2302.161095.
- Rida, H. H., Bouchra, S., & Mohammed, E. H. (2017). Evaluation of physico-chemical and bacteriological quality of natural waters in the Fez region (Morocco) and health risk associated with their consumption. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 19(1), 185-190.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'Analyse d'eau*.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). *L'Analyse de l'eau*.
- Rytönen, M. J. P. (2004). Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. *International Journal of Circumpolar Health*, 63(1), 9-24. doi:10.3402/ijch.v63i1.17542.
- Saad, Youness, Alami. (2018). Fès-Gestion des déchets: Près de 120 millions de DH pour un centre de traitement. *Economiste*.
- Sadid, N., Haun, S., & Wieprecht, S. (2017). An overview of hydro-sedimentological characteristics of intermittent rivers in Kabul region of Kabul river basin. *International Journal of River Basin Management*, 15(4), 387-399. doi:10.1080/15715124.2017.1321004.
- Sakelarieva, L., & Varadinova, E. (2013). Water Quality and Ecological State Assessment of the Blagoevgradska Bistritsa River (South-West Bulgaria) Based on Macrozoobenthos Collected by Two Sampling Standards. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 27(3), 3787-3790. doi:10.5504/BBEQ.2013.0019.
- Saleem, M., Iqbal, J., & Shah, M. H. (2015). Geochemical speciation, anthropogenic contamination, risk assessment and source identification of selected metals in freshwater sediments—A case study from Mangla Lake, Pakistan. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 4, 27-36. doi:https://doi.org/10.1016/j.enmm.2015.02.002.
- Santra, S., Wright, J., Santra, A., & Ghosh, A. (2015). An integrated water balance model for assessing water scarcity in a data-sparse interfluvium in eastern India. *Hydrological Sciences Journal*, 60(10), 1813-1827. doi:10.1080/02626667.2014.934248.
- SDAU. (2017). *Analyse territoriale et enjeux de développement - Groupement URAM Intl. - GHC*. Retrieved from .

- SEEE. (2008). *Fiche sur le nouveau système d'évaluation de la qualité des eau*. Retrieved from 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.
- Sherwood, L. (2013). Research Articles: Water Shortage, Food Security, and Virtual Water in China. *Environmental Practice*, 15(3), 253-261. doi:10.1017/S1466046613000264.
- Singh, H., Singh, D., Singh, S. K., & Shukla, D. N. (2017). Assessment of river water quality and ecological diversity through multivariate statistical techniques, and earth observation dataset of rivers Ghaghara and Gandak, India. *International Journal of River Basin Management*, 15(3), 347-360. doi:10.1080/15715124.2017.1300159.
- SNDD. (2015). Stratégie Nationale de Développement Durable, volonté royale et projet de société.
- 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). doi:10.1126/science.1259855.
- Talouizte H, M. M., Alami EL Ouali a, Bennani L, Benlemlih M. (2008). Evolution de la charge microbiennede la laitue irriguée avec les eaux usées urbaines de la ville de fès au maroc. *Tribune de l'eau*, 642, 51-61.
- Tamersit, S., Bouhidel, K.-E., & Zidani, Z. (2018). Investigation of electro dialysis anti-fouling configuration for desalting and treating tannery unhairing wastewater: Feasibility of by-products recovery and water recycling. *Journal of Environmental Management*, 207, 334-340. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.058
- Tampo, L., Gnazou, M., Akpataku, V., Bawa, L., Djaneye-Boundjou, G., Nuto, Y., . . . Guenda, W. (2015). Application des méthodes statistiques à l'étude hydrochimique des eaux d'un hydrosystème tropical : cas du bassin versant de la rivière zio (togo). *European Scientific Journal (ESJ)*, 15(14), 205-225.
- Tanner, J. L., & Hughes, D. A. (2015). Surface water-groundwater interactions in catchment scale water resources assessments—understanding and hypothesis testing with a hydrological model. *Hydrological Sciences Journal*, 60(11), 1880-1895. doi:10.1080/02626667.2015.1052453.
- Tekken, V., & Kropp, J. P. (2015). Sustainable water management - perspectives for tourism development in north-eastern Morocco. *Tourism Management Perspectives*, 16, 325-334. doi:https://doi.org/10.1016/j.tmp.2015.09.001.
- UNECE, I. C. d. I. C. é. d. N. U. p. I. E. C.-O. (1979). Convention CEE-ONU sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (CLRTAP). Retrieved from https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/info-specialistes/protection-de-l_air-au-plan-international/convention-cee-onu-sur-la-pollution-atmospherique-transfrontiere.html.
- Usherbrooke. (2017). statistiques officielles de l'Université de Sherbrooke, [rapport].
- von Holdt, J. R., & Eckardt, F. D. (2018). Dust activity and surface sediment characteristics of the dustiest river in southern Africa: the Kuiseb River, Central Namib. *South African Geographical Journal*, 100(1), 104-121. doi:10.1080/03736245.2017.1339627.
- Vu, H. P., Black, J. R., & Haese, R. R. (2017). Changes in Formation Water Composition During Water Storage at Surface and Post Re-injection. *Energy Procedia*, 114, 5732-5741. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1711.
- Wain. (2015). Typhoid fever. *The Lancet*, 385(9973), 1136-1145. doi:https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62708-7.
- 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. doi:10.1080/10406638.2016.1220960.

- Wang, R., Liu, Z., Jiang, L., Yao, Z., Wang, J., & Ju, J. (2016). Comparison of surface water chemistry and weathering effects of two lake basins in the Changtang Nature Reserve, China. *J Environ Sci (China)*, *41*, 183-194. doi:10.1016/j.jes.2015.03.016.
- Wang, Y., Yan, W., Guo, H., Mahmood, Q., Guo, J., Liu, C., . . . Liu, D. (2017). Trace element analysis and associated risk assessment in mining area soils from Zhexi river plain, Zhejiang, China. *Environmental Forensics*, *18*(4), 318-330. doi:10.1080/15275922.2017.1368046.
- Wang, Z.-M., Chen, L.-D., Zhang, H.-P., & Sun, R.-H. (2014). Multivariate Statistical Analysis and Risk Assessment of Heavy Metals Monitored in Surface Sediment of the Luan River and its Tributaries, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, *20*(6), 1521-1537. doi:10.1080/10807039.2013.867701.
- wasihun, A. G., Wlekidan, L. N., Gebremariam, S. A., Welderufael, A. L., Muthupandian, S., Haile, T. D., & Dejene, T. A. (2015). Diagnosis and Treatment of Typhoid Fever and Associated Prevailing Drug Resistance in Northern Ethiopia. *International Journal of Infectious Diseases*, *35*, 96-102. doi:10.1016/j.ijid.2015.04.014.
- Weill, F.-X. (2010). La fièvre typhoïde n'est plus aussi simple à soigner. *Med Sci (Paris)*, *26*(11), 969-975.
- World Health, O. (2018). Typhoid vaccines: WHO position paper, March 2018 – Recommendations. *Vaccine*. doi:https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.04.022
- Wain. (2015). Typhoid fever. *The Lancet*, *385*(9973), 1136-1145. doi:https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62708-7.
- Yan, Y., Qian, Y., Wang, Z., Yang, X., & Wang, H. (2018). Ecological risk assessment from the viewpoint of surface water pollution in Xiamen City, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 1-8. doi:10.1080/13504509.2017.1422567.
- 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. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.026.
- Zemzami, M., & Elkadiri, R. (2017). Temporal dynamics of monthly rainfall time scales in semi-arid area, Morocco. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, *5*(1), 1-8. doi:10.1080/23249676.2015.1105159.
- Zhang, C.-M., Du, C., Xu, H., Miao, Y.-H., Cheng, Y.-Y., Tang, H., . . . Wang, X.-C. (2015). Occurrence of tetracycline-resistant fecal coliforms and their resistance genes in an urban river impacted by municipal wastewater treatment plant discharges. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, *50*(7), 744-749. doi:10.1080/10934529.2015.1011995.
- Zhang, H., Zhu, M., Zhao, W., Li, S., & Feng, G. (2017). Molecular dynamics study of room temperature ionic liquids with water at mica surface. *Green Energy & Environment*. doi:https://doi.org/10.1016/j.gee.2017.11.002.
- Zhang, P., Chen, H., Li, L., Liu, H., Liu, G., Zhang, L., Jiang, L. (2017). Bioinspired Smart Peristome Surface for Temperature-Controlled Unidirectional Water Spreading. *ACS Appl Mater Interfaces*, *9*(6), 5645-5652. doi:10.1021/acsami.6b15802.
- Zhang, Y., Zhang, T., Guo, C., Hou, S., Hua, Z., Lv, J., . . . Xu, J. (2018). Development and application of the diffusive gradients in thin films technique for simultaneous measurement of methcathinone and ephedrine in surface river water. *Sci Total Environ*, *618*, 284-290. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.068.

Webographie

- Henning, B., Sensor Web Client: 52 North, Retrieved 2017, From <http://52north.org/communities/sensorweb/clients/SensorWebClient/index.html>.
<https://wiki.52north.org/bin/view/SensorWeb/SensorWebClient>.
- INRA; Carte de fertilité des sols cultivés au Maroc, Retrieved 2015, From <http://www.fertimap.ma/>.
- IRD, Approche spatialisée de l'impact des activités agricoles au Maghreb sur les transports solides et les ressources en eau de grands bassins versants (SIGMED) Retrieved 2017, From <http://www.maroc.ird.fr/les-activites/liste-des-projets-menes-au-marocpar-themes/ecosystemes-et-gestion-des-ressources-naturelles/approche-spatialisee-del-impact-des-activites-agricoles-au-maghreb-sur-les-transport-solides-et-les-ressources- en-eau-de-grands-bassins-versants-sigmed#>.
- IRD, Projet SUDMED, Retrieved 2017, From http://www.cesbio.ups-tlse.fr/fr/sud_med.html.
- Jurens, E. H., 52°North SOS Importer: 52North, Retrieved 2018, From <https://wiki.52north.org/bin/view/SensorWeb/SosImporter>.
- Markus, S., Deegree 3 Catalogue Service, Retrieved 2015, From <http://wiki.deegree.org/deegreeWiki/deegree3/CatalogueService>.
- MEDIAWIKI, 2016, From https://www.mediawiki.org/wiki/Manual:What_is_MediaWiki%3F.
- MMSP, Lancement du portail de géolocalisation des services publics Maps.service-public.ma. , Retrieved 2016, From <http://www.mmisp.gov.ma/fr/actualites.aspx?id=1022>. OGC, The Spatial Web, OGC White Paper, Retrieved 2013, From http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=3859&version=2&format=pdf.
- OGC, OpenGIS Sensor Observation Service, Retrieved 2017, From <http://www.opengeospatial.org/standards/sos>.
- OIEAU, SADIEAU, Retrieved 2017, From <http://www.oieau.fr/oieau/notre-actualite-et-avancement-de/a/sadieau>.
- OpenGeo, OpenGeo Suite User Manual, Retrieved 2017, From <http://suite.opengeo.org/opengeo-docs/>. <http://dev.openlayers.org/sandbox/sonxurxo/sos/examples/sos.html>.
- Plan Bleu, Echange d'informations et collecte de données sur l'eau.
- SEMIDE, Euro-Med meeting of water directors, Retrieved 2013, From <http://www.semide.net/documents/meetings/fo1148169/fo1890137>. Stallman, R., The GNU project, Retrieved 2014, From <https://www.gnu.org/gnu/thegnuproject.html>.
- United Nations Economic Commission for Europe, Convention sur L'accès a L'information, La participation du public au processus décisionnel et l'accès à la justice en matière d'environnement, Retrieved 2016, From <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/pp/documents/cep43f.pdf>.
- US Geological Survey, National Water Information System (NWIS): U.S. Geological Survey, Retrieved 2014, From <http://pubs.usgs.gov/fs/FS-027-98/>.