جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES

كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MAHRAZ FES

N° d'ordre :

Centre des Etudes : *Sciences et Techniques et Sciences Médicales*
Formation Doctorale : *Formation Doctorale : Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable (RNE2D)*
Discipline : *Chimie/Biologique*
Spécialité : ***Chimie d'intérêt Biologique***
Laboratoire : *Laboratoire d'Ingénierie, d'Électrochimie, de Modélisation et d'Environnement (LIEME)*

THÈSE DE DOCTORAT

Eaux Des Oueds De La Ville De Taza : Source De Pollution, Qualité, Remédiation, Et Risques Sanitaires

Présentée par :
MAHMOUD Rachid

Soutenue le 08/03/2024 devant le jury :

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr. TALEB MUSTAPHA	FSDM-USMBA	PES	Président
Pr. TALEB Abdessalam	FST- Mohammedia	PES	Rapporteur
Pr. AINANE Tarik	EST- Khenifra	PH	Rapporteur
Pr. LAHKIMI Amal	USMBA-FSDM	PH	Rapporteuse
Pr. CHERROUD Sanaa	EST- Khenifra	PH	Examinatrice
Pr. EL HAJI Mounia	UH2C-ENIM	PES	Examinatrice
Pr. TOUNSADI Hanane	USMBA-FSDM	PH	Examinatrice
Pr. BERRADA Sanae	USMBA-FSDM	PA	Invitée
Pr. RAIS Zakia	USMBA-FSDM	PES	Directrice de thèse

Année Universitaire : 2023-2024

Dédicaces

À mes parents, qui m'ont toujours soutenus et encouragés dans ma quête de connaissance…

À ma femme, pour sa patience, son amour inconditionnel et son soutien constant tout au long de ce voyage académique…

À mes sœurs et mes frères, pour leur soutien et leur inspiration…

À mes neveux et nièces, avec l'espoir que ce travail puisse contribuer à un avenir meilleur pour eux…

À toute ma famille, pour son amour, son encouragement et son soutien indéfectible…

À mes collègues, pour leur collaboration, leurs idées partagées et leur amitié…

Que ce travail soit le fruit de l'amour, du dévouement et de la collaboration de toutes ces personnes exceptionnelles.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les personnes qui ont joué un rôle déterminant dans la réalisation de cette thèse, chacune à sa manière unique.

Tout d'abord, à **Mme Pr. Zakia Rais**, mon encadrante, qui a été bien plus qu'une guide académique. Elle a été mon coach psychique, me poussant à donner le meilleur de moi-même. Son encadrement d'un niveau exceptionnel, son altruisme et son dévouement sans faille ont été inestimables pour la réussite de ce travail.

Je tiens également à remercier chaleureusement le **Professeur Mustapha TALEB**, *Directeur du laboratoire d'Ingénierie d'Électrochimie de Modélisation et d'Environnement (LIEME),* qui a ouvert les portes de son laboratoire et qui était un ami précieux. Ses conseils avisés et ses directives éclairées ont été d'une grande sagesse tout au long de cette aventure académique.

Un remerciement spécial va à **M. Ben Abbou**, sans qui le travail sur le terrain n'aurait jamais été possible. Sa contribution a été essentielle pour la collecte de données cruciales.

À **Mme Zineb Majbar**, qui m'a initié au laboratoire, je suis infiniment reconnaissant pour son soutien inconditionnel et son aide précieuse.

À **Mme Imane Mehdaoui**, mon amie et collègue, je tiens à exprimer ma gratitude pour son aide au laboratoire et son soutien moral constant.

À **Mr Mokhtar Saoudi Hassani**, pour son soutien acharné et inconditionnel, je vous adresse un sincère merci.

À **Mme Fatimzahra El Madani**, malgré ses propres préoccupations, elle a toujours trouvé le temps de me prodiguer des conseils et de m'aider dans certaines parties de mon travail. Merci pour votre générosité et votre précieuse contribution.

Je tiens également à exprimer ma sincère reconnaissance envers les membres du jury de ma thèse, qui ont consacré leurs temps et leurs compétences à évaluer mon travail académique. Leurs commentaires et leurs suggestions ont contribué de manière significative à l'amélioration de cette recherche.

Que ce soit **M. Pr. TALEB Abdessalam**, **M. Pr. AINANE Tarik**, **Mme. Pr. EL HAJI Mounia**, **Mme. Pr. LAHKIMI Amal**, **Mme. Pr. CHERROUD Sanaa**, **Mme. Pr. TOUNSADI Hanane** ou **Mme Pr. BERRADA Sanae**, je vous remercie pour votre engagement envers l'excellence académique et pour avoir apporté votre expertise à l'évaluation de ma thèse. Votre évaluation a été essentielle pour valider la qualité de cette recherche, et je vous suis reconnaissant pour votre précieuse contribution à cette étape cruciale de mon parcours académique.

Chacun(e) d'entre vous a joué un rôle essentiel dans cette aventure académique, et cette thèse porte l'empreinte de votre dévouement et de votre soutien. Je vous en suis profondément reconnaissant.

Résumé

La ville de Taza, renommée pour son patrimoine écologique, est confrontée à une crise de gestion des déchets et des eaux usées, aggravant la situation des ressources hydriques ayant affaiblie par les périodes de sécheresses récurrentes.

Pour pallier cette problématique, nous avons abordé dans ce travail 2 parties :

La première consiste à étudier, d'une part, la qualité des eaux de surface des oueds recevant les eaux usées pour évaluer leur état environnemental via le système SEQ-EAU. Quatre zones ont été identifiées comme fortement polluées : amont des Oueds Jaouna et Taza, aval de l'Oued Larbâa, proximité de la décharge publique "Julien", et au confluent des Oueds Rhouireg et Dfali. Les niveaux de pollution dépassaient les normes marocaines pour la qualité des eaux de surface.

D'autre part, cette partie explore des stratégies intégrées pour réduire la pollution de l'eau, telles que l'utilisation des margines comme fertilisant pour le sorgho, et l'élaboration d'un biomatériau à base des aiguilles de pin d'Alep (P.A), ainsi que son application dans le traitement des eaux usées déversées dans les eaux de surface de la ville de Taza. Les margines brutes se caractérisent par une acidité élevée, une salinité importante, une charge élevée en matières organiques et inorganiques, ainsi qu'une teneur élevée en polyphénols. Les plantes irriguées avec des margines brutes montrent des signes de stress hydrique, avec des paramètres de croissance plus faibles. Cependant, l'irrigation avec des margines semi-diluées présente des résultats prometteurs, avec des rendements comparables au témoin pour la plupart des paramètres.

Les analyses physicochimiques et spectroscopiques du biomatériau (P.A) préconisent son utilisation son application sur le traitement des eaux usées déversées dans les eaux de surface de la ville par adsorption, a réduit sa charge organique de 94%.

La deuxième partie concerne l'étude de la prévalence des maladies à transmission hydrique (l'hépatite A, la fièvre typhoïde et la gastroentérite aigüe GEA) à Taza via une enquête épidémiologique transversale. L'analyse des données a montré des liens entre les symptômes des maladies et divers paramètres sociodémographiques et cliniques, soulignant l'impact des eaux usées sur la santé publique locale.

Mots clés : Qualité des eaux de surface ; SEQ-EAU ; Remédiation ; Traitement, Adsorption, Pin d'Alep ; Étude épidémiologique

Abstract

The city of Taza, renowned for its ecological heritage, is facing a waste and wastewater management crisis, which exacerbates the situation of water resources weakened by recurring droughts.

To address this issue, our work is divided into two parts:

The first part involves studying the surface water quality of the rivers receiving wastewater to assess their environmental condition using the SEQ-EAU system. Four areas were identified as highly polluted: the upstream sections of Oueds Jaouna and Taza, the downstream area of Oued Larbâa, the vicinity of the public dump "Julien", and the confluence of Oueds Rhouireg and Dfali. Pollution levels exceeded Moroccan standards for surface water quality.

Additionally, this part explores integrated strategies to reduce water pollution, such as using olive mill wastewater as a fertilizer for sorghum and developing a biomaterial made from Aleppo pine needles (P.A.) and its application in treating wastewater discharged into the surface waters of Taza. Raw olive mill wastewater is characterized by high acidity, significant salinity, a high load of organic and inorganic matter, and a high content of polyphenols. Plants irrigated with raw olive mill wastewater show signs of water stress, with lower growth parameters. However, irrigation with semi-diluted olive mill wastewater presents promising results, with yields comparable to the control for most parameters.

Physicochemical and spectroscopic analyses of the biomaterial (P.A.) recommend its use in treating wastewater discharged into the surface waters of the city through adsorption, reducing its organic load by 94%.

The second part focuses on studying the prevalence of waterborne diseases (Hepatitis A, Typhoid fever, and Acute Gastroenteritis) in Taza through a cross-sectional epidemiological survey. Data analysis revealed links between disease symptoms and various sociodemographic and clinical parameters, highlighting the impact of wastewater on local public health.

Keywords: Surface water quality; SEQ-EAU; Remediation; Treatment; Adsorption; Aleppo pine; Epidemiological study

ملخص

تواجه مدينة تازة، المعروفة بتراثها البيئي، أزمة في تدبير النفايات والمياه العادمة، مما يفاقم وضع الموارد المائية التي ضعفت بفعل فترات الجفاف المتكررة.

لمعالجة هذه المشكلة، قمنا بتناول موضوعين في هذا العمل:

الأول يتعلق بدراسة جودة المياه السطحية للوديان التي تستقبل المياه العادمة لتقييم حالتها البيئية باستخدام نظام SEQ-EAU. تم تحديد أربع مناطق على أنها ملوثة بشدة: عالية وديان جعونة وتازة، وسافلة وادي الأربعاء، قرب المكب العمومي "جوليان"، وعند التقاء وديان الغويرغ والدفالي. تجاوزت مستويات التلوث المعايير المغربية لجودة المياه السطحية.

بالإضافة إلى ذلك، تستكشف هذه الدراسة استراتيجيات متكاملة للحد من تلوث المياه، مثل استخدام مرج الزيتون كسماد للذرة الرفيعة (أبعلي) وتطوير مادة حيوية مصنوعة من إبر الصنوبر الحلبي (P.A.) وتطبيقها في معالجة المياه العادمة التي تُصرف في المياه السطحية لمدينة تازة. يتميز مرج الزيتون الخام بوجود حموضة عالية، وملوحة كبيرة، وحمولة عالية من المواد العضوية وغير العضوية، بالإضافة إلى محتوى عالٍ من البوليفينولات. تُظهر النباتات المسقية بمرج الزيتون الخام علامات على الإجهاد المائي، مع معلمات نمو أقل. ومع ذلك، فإن الري بهذه المادة على شكلها المخفف جزئيًا يظهر نتائج واعدة، مع عوائد مماثلة للعينات المرجعية لمعظم المعلمات.

توصي التحليلات الفيزيكوكيميائية والطيفية للمادة الحيوية (P.A.) باستخدامها في معالجة المياه العادمة التي تُصرف في المياه السطحية للمدينة من خلال الإمصاص، مما يقلل حمولتها العضوية بنسبة 94%.

الجزء الثاني يتعلق بدراسة انتشار الأمراض المنقولة عبر المياه (التهاب الكبد A، وحمى التيفوئيد، والإسهال الحاد) في تازة من خلال مسح وبائي عرضي. أظهرت تحليلات البيانات وجود روابط بين أعراض الأمراض ومجموعة من المعلمات السوسيو-ديموغرافية والسريرية، مما يسلط الضوء على تأثير المياه العادمة على الصحة العامة المحلية.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه السطحية؛ SEQ-EAU؛ تثمين؛ معالجة؛ إدمصاص؛ صنوبر حلبي؛ دراسة وبائية

Table des matières

Dédicaces II
Remerciements III
Résumé V
Abstract VI
ملخص VII
Liste des Tableaux 11
Liste des Figures 12
Glossaire 14
Introduction Générale 16
Partie I : Eaux des oueds de la ville de Taza : Sources de pollution, Qualité et Remédiation 22
Partie I : Eaux des oueds de la ville de Taza : Sources de pollution, Qualité et Remédiation 23
Chapitre I : Revue bibliographique : Eaux de surfaces, Pollution, impacts, réglementation, efforts étatiques et de la communauté scientifique 24
I. Introduction **24**
II. État de l'art des eaux de surface aux niveaux international et national **25**
II. 1. Effet du changement climatique 25
II. 2. Effet de la surexploitation 27
II. 3. Effet de la pollution 28
III. Impact de la détérioration de la qualité des eaux sur le développement durable **29**
IV. Stratégies de la gestion des eaux au niveau national et international **30**
V. Contexte juridique des eaux au niveau du Maroc **31**
VI. Efforts étatiques au niveau national pour la dépollution des eaux de surface **34**
VII. Système d'évaluation de la qualité des eaux **35**
VII. 1 Synthèse bibliographique **35**
VII. 2 Système de surveillance de la qualité de l'eau au Maroc **38**
VII. 3 Gestion informatique et géographique des données **38**
VII. 4 Tests statistiques **39**
VIII. Techniques de traitement et remédiation des eaux de surface polluées **42**
VIII. 1 Techniques de traitement des eaux **42**
VIII. 2 Techniques de remédiation des eaux de surface **49**
Conclusion **55**
Chapitre II : Approches méthodologiques 56
I. Introduction **56**
II. Détermination de la zone d'étude **56**
III. Méthodes d'échantillonnage et d'analyses physicochimiques et bactériologiques **57**

III. 1 Échantillonnage **57**
III. 2 Description des techniques analytiques **58**
NF EN ISO 6878, Méthode spectrophotométrique au molybdate d'ammonium 59
IV. Système d'évaluation de la qualité des eaux de surface (SEQ-Eau) **60**
V. Méthodes d'analyses informatiques **63**
V. 1 Système d'Information Géographique 63
V. 2 Analyse de la variance ANOVA 64
VI. Solutions intégrées pour la remédiation des eaux de surface de la ville de Taza **64**
VI. 1 Exploitation des margines comme fertilisant de la culture de sorgho 65
VI. 2 Elaboration d'un adsorbant à base des aiguilles de pin d'Alep (P.A) 68
VI. 2. 1. Caractérisation de la poudre des aiguilles de pin d'Alep (adsorbant) 68
VI. 2. 2. Caractérisation des eaux usées déversées dans les eaux de surface 70
VI. 2. 3. Mise en œuvre du phénomène d'adsorption 71
Conclusion **74**
Chapitre III : État des lieux de la pollution des eaux de surface traversant la ville de Taza 75
I. Introduction **75**
II. État des lieux des eaux de surface traversant la ville de Taza **75**
II. 1. Identification des industries avoisinant les eaux de surface de la ville de Taza 75
II. 2. Identification des activités agricoles avoisinantes les eaux de surface de la ville de Taza 79
II. 3. Présentation du réseau d'assainissement liquide de la ville de Taza 80
III. Sites de Prélèvement **82**
Conclusion **84**
Chapitre IV : Évaluation de la qualité des eaux de surface de la ville de Taza et contribution à l'amélioration de leur qualité 85
I. Introduction **85**
II. Évaluation de la qualité des eaux étudiées **85**
II. 1. Paramètres physico-chimiques 85
II. 2. Paramètres bactériologiques 92
II. 3. Indices de pondération et d'altération des cinq sites d'étude 94
II. 4. Cartographie des paramètres physico-chimiques et bactériologiques 95
Conclusion **99**
Chapitre V : Initiatives à la remédiation de la pollution des eaux de surface de la ville de Taza 100
I. Introduction **100**
II. Exploitation des margines dans l'irrigation du Sorgho **100**
II. 1. Caractérisation des margines 100
II. 2. Température du milieu de culture du sorgho 102

II. 3. Les paramètres physiologiques 103
III. Elaboration d'un biomatériau à la base des aiguilles de pin d'Alep de la province de Taza-Maroc 107
III. 1 Identification du biomatériau PA 107
III. 2 Application de la poudre de pin d'Alep pour le traitement d'une eau usée 113
Conclusion 119
Partie II : Risques sanitaires liés à la pollution des eaux des oueds de la ville de Taza 120
Partie II : Risques sanitaires liés à la pollution des eaux des oueds de la ville de Taza. 121
Chapitre I : Revue bibliographique 122
I. Introduction 122
II. Généralités sur l'épidémiologie 123
III. Types d'études épidémiologiques 125
IV. Epidémiologie des maladies à transmission hydrique 127
IV. 1. La gastro-entérite aigüe 129
IV. 2. Fièvres typhoïdes 131
IV. 3. L'hépatite virale A 136
Chapitre II : Epidémiologie des maladies à transmission hydrique au niveau de la ville de Taza : 138
I. Introduction 138
II. Méthodologie de travail 138
II. 1. Méthodes de collecte des données sanitaires 138
II. 2. Etude épidémiologique transversale des maladies à transmission hydrique dans les zones d'étude 139
III. Résultats et discussion 145
Introduction 145
III. 1 Analyse descriptive 145
III. 2 Analyse Bivariée 148
III. 3 Test ANOVA 152
Conclusion 153
Conclusion Générale et Perspectives 154
Référence 158
Annexes 181

Liste des Tableaux

N° du Tableau	Titre	Page
1	Indices de pondération et modifications des résultats physicochimiques, bactériologiques et métalliques	33
2	Techniques physicochimiques de Traitement des eaux usées de différentes natures	43
3	Techniques biologiques de Traitement des eaux usées	45
4	Méthodes d'analyses des différents paramètres (Rodier, 2009)	59
5	Description des conditions d'incubation des paramètres bactériologiques étudiés pour les eaux de surface	60
6	Classes de qualité des eaux par indice d'altération	61
7	Types d'adsorption en fonction des valeurs RL	73
8	Estimation des charges polluantes industrielles	78
9	Moyennes des indices d'altération et de pondération physicochimiques et bactériologiques des eaux des oueds étudiées	94
10	Caractérisation physicochimique et microbiologique des margines	101
11	T-Test de conformité	106
12	Paramètres physicochimiques du biomatériau P.A (Sinus Halepensis)	107
13	Liste des crêtes de cristal PA	110
14	Eléments constituant le biomatériau P.A	113
15	Caractérisation des eaux usées avant le traitent	113
16	Constantes des Modèles de Freundlich et de Langmuir	118
17	Exemple de germes pathogènes de risque biologiques	128
18	Répartition des participations selon les arrondissements de la ville de Taza	145
19	Caractéristiques Sociodémographique, Économique, Sanitaires et Environnementales selon l'enquête réalisée	147
20	Analyse Bivariée entre l'association entre les maladies à transmission hydrique et les données sociodémographiques	149
21	Analyse Bivariée entre les associations entre des maladies à transmission hydriques et les données cliniques et spécifiques	150
22	Résultats du Test ANOVA liant la qualité des eaux étudiées aux maladies les plus probables	152

Liste des Figures

N° de figure	Titre	Page
1	Principe de la filtration membranaire	37
2	Schéma du processus d'adsorption	46
3	Évolution de la production nationale annuelle d'olives au Maroc entre 2000 et 2018	47
4	Documents en relation avec le mot « Sorghum » selon les champs de recherche	50
5	Mots-clés pertinents apparus dans les articles publiés dans le domaine de la qualité de l'eau	52
6	Zone de prélèvement des margines après décantation	66
7	Parcelles du sorgho	66
8	Mesure de l'absorbance de CO2(A) ; la transpiration (E) et la conductance stomatique (Gs) par l'appareil LCi	67
9	Mesure de l'efficience du photosystème II par le Fluorimètre	68
10	Localisation géographique du Parc Tazekka	68
11	Préparation du biomatériau (Pin d'Alep). A : Biomatériau : Pin d'Alep ; B : Aiguilles de pin d'Alep ; C : Poudre tamisé	69
12	Image de l'Oued Larbaâ pollué par les margines	77
13	Répartition des terres irriguées sur les rives de l'Oued Larbaâ	79
14	Nombre total actuel des rejets dans les cours d'eau de la ville de Taza. (Source : RADEETA)	80
15	Vue d'ensemble de la zone d'étude, localisation des sites d'échantillonnage dans les oueds traversant la ville de Taza	83
16	Variation de la température de l'eau dans les différents sites de prélèvement	86
17	Variation du pH de l'eau dans les différents sites de prélèvement	86
18	Variation de la conductivité de l'eau dans les différents sites	87
19	Variation de la concentration de la turbidité dans les différents sites	87
20	Variation de la concentration d'O2 dissous dans les différents sites de prélèvement	88
21	Variation de la concentration de la DBO_5 dans les différents sites de prélèvement	88
22	Variation de la DCO dans les différents sites de prélèvement	89
23	Variation du rapport DCO/DBO_5 dans les différents sites de prélèvement	89
24	Variation de l'azote Kjeldahl dans les différents sites de prélèvement	90
25	Variation de la concentration de l'Ammonium dans les différents sites de prélèvement	90
26	Variation de la concentration des Nitrates dans les différents sites de prélèvement	90

27	*Variation de la concentration des Sulfates dans les différents sites de prélèvement*	*90*
28	*Variation de la concentration du phosphore total dans les différents sites de prélèvement*	*91*
29	*Variation de la concentration des orthophosphates dans les différents sites de prélèvement*	*91*
30	*Concentration bactériologique dans les différents sites de prélèvement*	*93*
31	*Carte thématique de la répartition des mesures bactériologiques*	*96*
32	*Carte thématique du taux de la matière organique exprimé en DBO et DCO*	*97*
33	*Cartographie des éléments azotés et phosphatés*	*98*
34	*Variation journalière de la température dans le site de culture de sorgho*	*102*
35	*Assimilation photosynthétique(A) chez les différentes plantes du sorgho en fonction du temps*	*103*
36	*Transpiration du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigation*	*104*
37	*Conductance stomatique du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigation*	*104*
38	*Variation de l'efficacité de la PSII du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigation*	*105*
39	*Azote Kjeldahl dans les feuilles en fin de croissance*	*106*
40	*Point de la charge zéro de la poudre du biomatériau PA*	*107*
41	*Spectre Infrarouge du biomatériau P.A*	*108*
42	*Diffractogrmme X du biomatériau P.A*	*109*
43	*Observation au microscope électronique à balayage du biomatériau P.A*	*112*
44	*Spectre de dispersion en énergie (EDX) du biomatériau P.A*	*112*
45	*Cinétique d'adsorption de la matière organique sur le P.A*	*114*
46	*Modèle pseudo-deuxième ordre de la cinétique d'adsorption de la charge organique sur le PA*	*115*
47	*L'influence de la masse de l'adsorbant sur le taux d'abattement de la DCO (à pH neutre ; DCOi = 3947,52 mg(O_2)/L ; T = 25 °C)*	*116*
48	*Effet du pH sur le taux d'abattement de la DCO (m=0,2 g/L; DCOi = 3947,52 mg(O_2)/L ; T = 25 °C*	*117*
49	*Les isothermes d'adsorption de la charge organique (DCO) sur le biomatériau PA sont représentées comme suit : (a) : Modèle de Langmuir ;(b) : Modèle de Freundlich. 118*	*118*
50	*Visualisation des mots-clés en relation avec la transmission de la fièvre typhoïde*	*133*
51	*Cadre régional de l'étude épidémiologique*	*140*

Glossaire

AAE	**Association Africaine de l'Eau**
ABHS	Agence du Bassin Hydraulique Sebou
ACP	Analyse en Composante Principale
ADN	Acide Désoxyribonucléique
AFNOR	Association Française de Normalisation
ANE	Agence Nationale de l'Eau
APE	Agence de Protection de l'Environnement
CA	Cluster Analysis
CCNUCC	Convention-cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CCPSC	Clinique Communautaire de Pointe-Saint-Charles
CDC	Centers for Disease Control
CPE	Cellule Préfectorale d'Epidémiologie de Taza
DD	Decimal Degrees
DMS	Degrees-Minutes-Seconds
DREVS	Direction Régionale et Epidémiologique de Veille Sanitaire
EAH	Eau-Assainissement-Hygiène
EDS	Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy
EI	Entérocoques Intestinaux
FAO	Food and Agriculture Organization
GEA	Gastro-Entérite Aigue
GIEC	Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
HCEFLCD	Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification
INDH	Initiative Nationale de Développement Humain
IPCC	Intergovernmental Panel on Climat Change
IPQG	Indice Pondéré de Qualité Globale
IQP	Indice de Qualité Pondéré
MDS	Multidimentional Scale
MEB	Microscopie Electronique à Balayage
MTL	Ministère de Transport et de Logistique
NMQES	Normes Marocaines de la Qualité des Eaux de Surface
ODD	Objectifs de Développement Durable
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OMW	Olive Mill Wastewater
ONEE	Office National de l'Eau et de l'Electricité
PA	Pin d'Alep
PEI	Programme d'Extension de l'Irrigation
PNAL	Plan National d'Assainissement Liquide
PNE	Plan National de l'Eau

PNEEI	Programme National d'Economie d'Eau en Irrigation
PNSE	Programme National en Santé et Environnement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRISMA	Preferref Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis
RADEETA	Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Eletcricité de Taza
SARS-CoV-19	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 19
SEEE	Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux
SEQ	Système d'Evaluation de la Qualité
SIG	Système d'Investigation Géographique
SME	Stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement
SNPE	Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement
SWAT	Soil and Water Assessment Tools
UNEP	United Nation- Environmental Programm
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
VHA	Virus de l'Hépatite A
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization (OMM)
WQA-HDE	Water Quality Assessment method based on the Harmony of Degree Equation
WQI	Water Quality Index
WRI	World Resources Institute

Introduction Générale

L'un des problèmes les plus complexes et persistants auxquels sont confrontés la plupart des pays en voie de développement est l'impact de la mauvaise gestion des déchets urbains et industriels sur la santé (Ferronato et Torretta 2019). Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), à l'échelle mondiale, 2,1 milliards de personnes, soit 30 % de la population mondiale, n'ont toujours pas accès à une eau potable sûre, et 60 % n'ont pas accès à des systèmes d'assainissement gérés de manière sûre (« OMS | Eau, assainissement et hygiène » 2017). En raison de ce problème, 1,7 milliards de cas de diarrhée ont été enregistrés en 2010 chez les enfants de moins de cinq ans dans les pays à revenus faibles et intermédiaires, entraînant environ 750 000 décès (Walker et *al*. 2013). En fait, contrairement à l'idée reçue, cette maladie tue plus d'enfants que les trois maladies combinées, à savoir le sida, la tuberculose et le paludisme (Bartram et Cairncross, 2010a). Cela a conduit à la création d'une multitude de dispositifs institutionnels, juridiques et financiers, tant aux niveaux international, national que régional, visant à surveiller et contrôler la qualité de ces eaux. Ces initiatives sont destinées à répondre aux divers défis liés à la gestion et à la préservation des ressources en eau, ainsi qu'à la satisfaction de leurs besoins à court, moyen et long terme, d'ici 2030.

Au niveau mondial, plusieurs accords et initiatives majeures ont été mis en place pour relever les défis liés à l'eau. En 1992, la Déclaration de Dublin (Bino 2003) a jeté les bases de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), soulignant l'importance de l'eau pour la vie et le développement durable. Dans la même année, l'Agenda 21, issu du Sommet de la Terre de Rio, a renforcé cet engagement en mettant l'accent sur la gestion durable de l'eau et l'accès universel à l'eau potable (Bled et Carassus, 2015).

La Convention des Nations Unies sur les cours d'eau internationaux, adoptée en 1997, encourage la coopération internationale dans la gestion des cours d'eau transfrontaliers. Les Objectifs de développement durable (ODD), en particulier l'ODD 6, visent à assurer l'accès à l'eau propre et à l'assainissement pour tous d'ici 2030 (Caflisch, 1997).

En 2018, les Nations Unies ont proclamé la Décennie internationale d'action "L'eau pour le développement durable" (2018-2028) pour mettre en avant le rôle catalyseur de l'eau dans le développement durable. Le Cadre pour l'Action des Nations Unies sur l'eau (UN-Water)

coordonne les efforts des agences des Nations Unies pour aborder les questions liées à l'eau et à l'assainissement (Kangombe 2020).

Ces décisions internationales témoignent de l'engagement mondial en faveur d'une gestion responsable et équilibrée des ressources en eau, permettant de répondre aux besoins actuels tout en préservant l'environnement pour les générations futures. Elles incarnent l'idée que l'eau est un bien commun de l'humanité qui nécessite une action collective pour garantir son utilisation durable et son accès universel.

Au Maroc, plusieurs efforts ont été déployés par l'État pour éradiquer ce type de maladies en garantissant la salubrité de l'eau, par la mise en place des réseaux d'assainissement pour les agglomérations, et renforçant l'arsenal juridique et réglementaire par l'adoption de plusieurs lois, notamment la loi 23-12 modifiant la loi 28-00 relative à la gestion des déchets et la loi 35-15 modifiant la loi 10-95 relative à l'eau, à ses usages, sa protection, sa préservation, son traitement et à son recyclage. De plus, le Département de l'Environnement, en partenariat avec le ministère de la Santé et l'OMS, a lancé un Programme national en santé et environnement (PNSE). Ce programme vise à identifier les risques sanitaires prioritaires liés à la dégradation de l'environnement, à renforcer les mesures de prévention à l'échelle nationale, régionale et locale, et à promouvoir l'intégration de la promotion de la santé environnementale dans les politiques de développement. Les priorités du programme incluent l'amélioration de la gestion des risques, la prise en compte des spécificités locales, et la protection des personnes vulnérables contre les expositions nocives pour la santé (MTEDD 2017a).

Divers autres programmes ont été mis en place pour réduire la mortalité et la morbidité liées à des facteurs de risque spécifiques. Ces efforts ont permis de contrôler voire de réduire l'incidence de maladies qui constituaient autrefois une menace sérieuse pour la santé publique, telles que le choléra, le paludisme et les maladies diarrhéiques. De nombreux projets de prévention ont également été lancés pour maintenir la qualité de l'environnement et minimiser les effets de la pollution sur la santé humaine. Parmi ces initiatives, citons l'Initiative Nationale de Développement Humain (INDH), la Stratégie de Mise à Niveau de l'Environnement (SME), la Stratégie Nationale de Protection de l'Environnement (SNPE), la Stratégie Nationale de Développement Durable (MTEDD 2017b), le Plan National d'Assainissement Liquide (PNAL), entre autres. De plus, des accords de coopération ont été conclus entre différentes entités afin d'établir un cadre institutionnel et juridique propice à la gestion collaborative et durable des problèmes environnementaux et sanitaires partagés.

La ville de Taza est l'une des régions à haut risque de maladies d'origine hydrique (Ben Abbou et *al*. 2014). En effet, le développement des activités socio-économiques et les changements de modes de vie et de consommation ont conduit à un dépôt de déchets supplémentaire de plus en plus, sans avoir le temps d'acquérir des équipements modernes en termes de réseaux d'assainissement et unités de traitement des eaux usées. Selon les statistiques des services de santé publique, quatre maladies d'origine hydrique sont les plus courantes dans la ville. Il s'agit de la gastro-entérite aiguë, de l'hépatite A, de l'intoxication alimentaire collective et de la typhoïde. Alors que le choléra a disparu depuis 1997 selon le ministère de la Santé (« Ministère de la Santé » 2014).

De plus, la décharge "Julien" est installée sur un site commun, site choisi au hasard sans étude d'impact. C'est une décharge sauvage, qui reçoit toutes sortes de déchets solides à l'état brut (ménagers, industriels, hospitaliers et agricoles). Les émissions de polluants émanent en permanence de la décharge, des écoulements de surface incontrôlés ou de l'infiltration de lixiviat dans le sous-sol, ainsi que du biogaz produit par la décomposition de la matière organique. Par ailleurs, les incendies fréquents et le développement de fumées ainsi que les mésusages généralisés (évacuation des déchets, chiffonniers, pâturage du bétail, et aspects hygiéniques) restent à nommer, entraînant des risques importants et de graves nuisances écologiques.

Un diagnostic organoleptique a permis de noter certaines observations concernant la qualité de l'eau des puits et sources proches du débit des eaux usées de la ville de Taza : forte salinité et parfois une mauvaise odeur. Une étude physico-chimique préliminaire de la plupart des puits sur les deux rives de l'Oued Larbâa a montré la possibilité d'une contamination des eaux souterraines par infiltration des eaux usées(Ben Abbou et *al*. 2013).

Le problème nécessite donc la mise en place d'un système de surveillance de la qualité de l'eau, en particulier lorsqu'il s'agit de l'eau destinée à l'irrigation des produits consommés directement par les citoyens. Il existe plusieurs systèmes de surveillance de la qualité de l'eau, notamment l'indice de qualité de l'eau (WQI), basé sur les fonctions d'agrégation pour l'analyse de vastes ensembles de données sur la qualité de l'eau qui varient à la fois dans l'espace et dans le temps pour fournir une seule valeur, l'indicateur de qualité de l'eau, qui décrit la qualité du corps d'eau (Uddin, Nash, et Olbert 2021). Il existe également des techniques statistiques multivariées telles que l'analyse de regroupement (*Cluster Analysis* : CA), l'échelle multidimensionnelle (*Multidimentional Scale : MDS)* et l'analyse en composantes principales (ACP) qui sont

utilisées pour analyser et comparer les données des analyses physicochimiques et bactériologiques afin d'identifier plus précisément les sources potentielles de pollution (Abhijna 2016). Une nouvelle méthode d'évaluation de la qualité de l'eau basée sur l'équation du degré d'harmonie (WQA-HDE) a été proposée par (Zuo et *al.* 2018). Il s'agit d'une méthode composite qui combine l'évaluation mono-factorielle et l'évaluation globale, ce qui peut fournir une unification du système d'évaluation de la qualité de l'eau et peut servir de référence dans d'autres évaluations globales.

Dans cette optique, nous avons examiné en 1er lieu la qualité des eaux traversant la ville de Taza. EN 2ème lieu, nous avons évalué la répartition géographique des maladies à transmission hydrique enregistrées dans les différents quartiers et municipalités de la ville de Taza, et leur lien avec la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface. Cette analyse a été réalisée en utilisant le Système d'Évaluation Globale de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau), ainsi que des outils de Système d'Information Géographique (SIG), des tests statistiques et une approche de corrélation (SIG-SEQ). Cette méthodologie s'appuie principalement sur les réglementations marocaines élaborées par la Direction des Ressources et la Planification de l'Eau au Maroc, en plus d'une étude épidémiologique basée sur une enquête transversale. (El Madani et *al.* 2019; Fdil et *al.* 2012). Et en 3eme lieu, nous avons proposé quelques méthodes de remédiation des eaux de surface par la valorisation de quelques déchets liquides (les margines) dans m'irrigation et solides (aiguilles de pin d'Alep) pour la production d'un matériau adsorbant.

Ce travail se divise en trois parties distinctes :

- Première partie :

La première partie vise à caractériser la qualité des eaux de surface de la ville de Taza, en mettant particulièrement l'accent sur les polluants qui sont associés à l'émergence des maladies à transmission hydrique. Pour ce faire, nous avons utilisé des outils tels que le Système d'Information Géographique (SIG), le Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux (SEQ-Eau), ainsi que l'analyse de la variance (ANOVA). Notre objectif est également d'observer l'évolution spatiotemporelle de la qualité de ces eaux sur une période d'un an. Cette démarche, en collaboration avec les parties prenantes concernées, permettra de mieux comprendre les zones présentant une pollution significative et définira les points de prélèvement d'échantillons d'eau.

Cette première partie se compose de cinq chapitres :

1. Le premier chapitre consiste en une revue de littérature, basée sur une démarche scientométrique, abordant l'impact de la pollution, de la surexploitation et du réchauffement climatique sur la disponibilité et la qualité des eaux de surface à l'échelle internationale, nationale et locale, ainsi que les risques environnementaux associés à leur pollution. Il rappelle également les méthodes d'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau, les techniques de son traitement, ainsi que les stratégies de dépollution aux niveaux national et local.

2. Le deuxième chapitre décrit les méthodes utilisées pour délimiter les zones d'étude, évaluer les eaux échantillonnées, surveiller leur évolution spatio-temporelle et déterminer. Il décrit aussi les déchets à valoriser ; les margines utilisées comme fertilisant pour la culture du sorgho, et les aiguilles de pin d'Alep (*Pinus halepensis*) traitées pour élaborer un biomatériau adsorbant des polluants des milieux.

3. Le troisième chapitre présente les résultats du diagnostic, notamment la délimitation des zones d'étude et les emplacements de prélèvements d'eau.

4. Le quatrième chapitre met en lumière les résultats du suivi spatio-temporel des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux analysées, ainsi que l'évaluation de leur qualité globale grâce aux techniques du SEQ-Eau et du SIG. Il traite également l'impact de la période de prélèvement et des activités locales sur ces paramètres, en utilisant des méthodes statistiques telles que l'ANOVA. Il présente aussi les résultats de la valorisation des margines et la caractérisation des aiguilles de pin d'Alep et son exploitation dans le traitement des eaux usées déversées dans les eaux de surfaces de la ville de Taza.

5. Dans le cinquième chapitre, sont exposées des stratégies pour contrer la pollution des eaux de surface à Taza. Celles-ci incluent l'utilisation des margines dans l'irrigation du sorgho, ainsi que l'intégration des aiguilles de pin d'Alep dans le traitement des eaux usées déversées dans les oueds traversant la ville.

Deuxième partie :

La deuxième partie de cette étude se concentre sur l'étude de l'impact de la pollution des eaux de surface de la ville de Taza sur l'incidence des maladies à transmission hydrique qui sont la typhoïde, l'hépatite A et la gastro-entérite aigue (GEA). Cette partie est composée de deux chapitres distincts :

1. Le premier chapitre offre une revue bibliographique approfondie sur les risques sanitaires associés à la pollution des eaux de surface, en mettant en évidence la situation actuelle des maladies à transmission hydrique, leurs mécanismes d'action, et les méthodes d'évaluation des risques sanitaires. Il aborde également les initiatives gouvernementales visant à réduire ces risques.

2. Le deuxième chapitre explore l'approche méthodologique utilisée pour recueillir et analyser les données épidémiologiques liées aux maladies à transmission hydrique, y compris le calcul des taux de prévalence et la taille de l'échantillon, ainsi que les enquêtes épidémiologiques et les outils d'analyse spatiale et statistique des données. Ensuite, il présente l'état de ces maladies dans les six zones d'étude identifiées de la ville de Taza, en mettant en évidence leur situation épidémiologique actuelle. Il examine également les résultats d'un questionnaire mené dans ces zones, en effectuant des analyses descriptives et bivariées pour comparer les variables qualitatives et quantitatives. Enfin, une analyse des associations entre la prévalence des maladies à transmission hydrique et d'autres variables de l'étude a eu lieu.

Cette étude se conclut par une synthèse générale récapitulant les principaux résultats obtenus, ainsi que des perspectives pour de futures recherches scientifiques dans ce domaine.

Partie I : Eaux des oueds de la ville de Taza : Sources de pollution, Qualité et Remédiation

Partie I : Eaux des oueds de la ville de Taza : Sources de pollution, Qualité et Remédiation

L'évolution des risques environnementaux et leurs effets sur la santé sont devenus un enjeu scientifique et environnemental majeur. Cependant, l'augmentation démographique accompagnée d'une mauvaise gestion des eaux usées, contribuent à la détérioration des écosystèmes aquatiques et l'éclosion des maladies à transmission hydrique.

Dans cette partie, nous nous concentrons sur les aspects liés à l'environnement qui présentent :

La situation actuelle des eaux usées dans la ville de Taza, la description de l'approche méthodologique utilisée, l'évaluation spatio-temporelle de la qualité des eaux usées de la ville de Taza et son impact sur l'environnement à l'aide des outils SIG, SEQ-Eau et ANOVA, les difficultés de la gestion des eaux usées en l'absence d'une station de traitement des eaux usées, les solutions ou les remèdes qui contribueront à réduire l'impact de leur pollution.

Chapitre I : Revue bibliographique : Eaux de surfaces, Pollution, impacts, réglementation, efforts étatiques et de la communauté scientifique

I. Introduction

Le changement climatique, la pollution et la surexploitation de l'eau sont autant de défis auxquels nous sommes confrontés au niveau mondial et qui ont des répercussions importantes sur les ressources en eau, en particulier sur les eaux de surface, qui sont essentielles à la sécurité alimentaire, à la protection de l'environnement et au bien-être humain (IPCC 2014; Gorelick et Zheng 2015; Mujere et Moyce, 2018) . En effet, ces problèmes ont été observés récemment à travers le monde, avec des phénomènes majeurs tels que les inondations, exacerbées par le changement climatique et ses effets sur les précipitations, causant des dégâts importants dans de nombreuses régions. Selon l'Organisation météorologique mondiale, le nombre d'inondations a augmenté de façon significative ces dernières années, atteignant un niveau record en 2019 avec 806 inondations enregistrées dans le monde (WMO 2019).

Il est à citer également la crise de l'eau en Afrique du Sud, où la sécheresse prolongée et la surexploitation d'eau ont conduit à des restrictions sur l'utilisation de l'eau et à une baisse des niveaux des réservoirs d'eau, affectant l'agriculture et l'industrie du pays, ainsi que la vie quotidienne des habitants. Selon l'Agence nationale de l'eau du pays, les réservoirs d'eau du pays ont atteint des niveaux historiquement bas en 2018, avec seulement 18% de capacité restante (Relief Web, 2019).

De plus, la pollution de l'eau reste un problème majeur dans de nombreuses régions du monde, avec des incidents de contamination de l'eau ayant des impacts graves sur la qualité de l'eau et sur la santé humaine, en particulier dans les communautés vulnérables. Selon l'Organisation mondiale de la santé, environ 2,1 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à une eau potable saine. Aussi environ 4,5 milliards de personnes n'ont pas accès à des installations sanitaires adéquates (UNICEF 2015; Nations 2015).

Le Maroc est considéré comme l'un des pays les plus vulnérables aux changements climatiques (Abdelali et *al*. 2012), en particulier en raison de la diminution des précipitations observée au cours de la dernière décennie (Tramblay et *al*. 2012). Selon les projections, le Maroc sera l'un des pays qui souffriront le plus de la sécheresse et de l'augmentation des températures à l'avenir

(Tramblay et *al.* 2012 ; Hagemann et *al*. 2013). Cela pourrait avoir de graves répercussions sur la disponibilité de l'eau douce, ce qui aura un impact sur la santé et l'économie du pays.

Pour faire face à ces défis, le Maroc a mis en place des initiatives et des programmes pour gérer de manière durable les ressources en eau et les protéger. Selon le ministère de l'Équipement et de l'Eau du Maroc, le pays a investi plus de 5,139 milliards de dirhams (environ 492 millions de dollars) au titre du budgets 2022 dans les infrastructures de traitement de l'eau et la construction des barrages (MTL 2021).

Pour promouvoir la coopération internationale en matière de gestion de l'eau et protéger les ressources en eau, le Maroc a ratifié plusieurs traités internationaux, notamment la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (Nations Unies 2010). Le pays développé des partenariats avec diverses sociétés africaines (AAE 2017). Il a également mis en place des programmes pour sensibiliser les citoyens à l'importance de l'eau sa gestion ; composé de deux parties : une lutte contre les gaspillages d'eau dans les situations courantes et une mise en avant de gestes simples et de bonnes habitudes en matière d'économies d'eau potable (Ministère de l'Equipement de l'Eau 2022).

II. État de l'art des eaux de surface aux niveaux international et national

II. 1. Effet du changement climatique

Le concept de changement climatique remonte au XIXe siècle, lorsque les scientifiques ont commencé à comprendre l'effet de serre (Haldar 2011). Toutefois, ce n'est que dans la seconde moitié du XXe siècle que la question a suscité un intérêt général. En 1988, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) ont créé le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) afin d'évaluer les données scientifiques relatives au changement climatique (IPCC 2023). Au cours des années suivantes, le GIEC a publié une série de rapports décrivant les preuves croissantes du changement climatique causé par l'homme et les conséquences potentielles si aucune mesure neserait prise pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (IPCC 2023). En 2015, l'accord de Paris, un traité international visant à lutter contre le changement climatique, a été adopté par 195 pays, dont les États-Unis. L'accord a fixé l'objectif de limiter le réchauffement de la planète bien en dessous de 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels, avec pour objectif de parvenir à des émissions nettes de gaz à effet de serre nulles dans la seconde moitié du siècle (Horowitz 2016).

Le changement climatique a un impact considérable sur les ressources en eau de surface dans le monde (Pokhrel et *al.* 2021). En effet, l'eau douce de surface représente seulement 0,3% de l'eau mondiale, ce qui signifie que près d'un tiers de la population mondiale est confrontée à une pénurie d'eau (Cooley, Ryan, et Smith 2021). Le réchauffement global entraîne une augmentation de l'évaporation et de la vapeur d'eau atmosphérique, ce qui amplifie les contrastes entre les régions humides et sèches, les saisons et les événements extrêmes (Allan et *al.* 2020). De plus, les rivières, les lacs et les autres masses d'eau de surface sont également en train de se réchauffer. En effet, La diminution de la couverture de glace en hiver et l'augmentation de la température de surface des lacs modifient les régimes de mélange des lacs et accélèrent leur évaporation (Woolway et *al.* 2020). Le changement climatique est également à l'origine de la fonte des calottes glaciaires, qui peut entraîner une hausse du niveau de la mer et des inondations des zones côtières, ainsi que de la contamination des réserves d'eau douce de surface (Banaji 2022).

De plus, le changement climatique modifie la distribution et la disponibilité des ressources en eau de surface. Certaines régions connaissent des sécheresses plus fréquentes et plus graves, ce qui peut avoir des conséquences dévastatrices pour l'agriculture et les communautés qui dépendent de l'eau de surface pour leur survie. D'autres régions sont touchées par des pluies excessives et des inondations, entraînant une hausse du niveau des eaux de surface et de l'érosion (Konapala et *al.* 2020). Cette situation va s'aggraver dans les années à venir, car il est prévu que plus de la moitié de la population mondiale sera touchée par la pénurie d'eau d'ici 2025 et que la demande mondiale en eau augmentera de 55% d'ici 2050 (Boretti et Rosa 2019).

Au Maroc, le changement climatique a un impact considérable sur les ressources en eau. Selon Le *World Resources Institute* (WRI), le Maroc atteindra un niveau de stress hydrique extrêmement élevé d'ici 2040 (Maddocks, Young, et Reig 2015). Les régions du sud et du sud-est du pays comme Zagora, qui sont déjà confrontées à des problèmes de sécheresse chronique, sont particulièrement vulnérables (NatGeoFrance 2017). En outre, le pays est confronté à des périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes et prolongées, ce qui entraîne une baisse des niveaux de réservoirs et de nappes phréatiques et une diminution de la disponibilité de l'eau douce (Hssaisoune et *al.* 2020 ; Belhassan 2022).

II. 2. Effet de la surexploitation

La population mondiale a connu une croissance importante au cours des dernières décennies et cette croissance ne montre aucun signe de ralentissement. Selon les projections, la population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'ici 2050 et 11,2 milliards d'ici 2100 (Nations 2017). Cette croissance de la population entraîne une augmentation de la demande en eau, ce qui entraîne une pénurie de cette source vitale et d'autres problèmes qui y sont liés dans de nombreuses régions du globe. Le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, l'Afrique subsaharienne, la Chine, l'Inde, les petites îles d'Océanie et le sud-ouest des États-Unis sont particulièrement touchés (McNabb 2019).

L'augmentation de la demande en eau est particulièrement préoccupante, car l'eau est un élément vital pour la vie humaine et la survie des écosystèmes. Elle est utilisée pour la production alimentaire, l'irrigation, l'industrie, le transport, la production d'électricité et de nombreuses autres activités essentielles. Malheureusement, de nombreuses régions du monde sont confrontées à une pénurie d'eau en raison de la croissance de la population, de la déforestation, de la pollution et du changement climatique (McNabb 2019). Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), D'ici 2025, 1 800 millions de personnes devraient vivre dans des pays ou des régions souffrant d'un manque d'eau "absolu" (<500 m^3 par an et par habitant), et deux tiers de la population mondiale pourraient se trouver dans des conditions de "stress" (entre 500 et 1 000 m^3 par an et par habitant) (FAO 2022).

La surexploitation de l'eau est un problème majeur dans de nombreuses régions du monde, y compris au Maroc. Depuis le déclenchement du Plan Maroc vert en 2008, le gouvernement marocain a mis en place des initiatives visant à développer l'agriculture et à renforcer la sécurité alimentaire (Molle et Tanouti 2017). Cela a entraîné une augmentation de la surface des terres irriguées selon deux programmes : Le **Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation** (PNEEI), qui concerne le développement de l'irrigation localisée sur une superficie totale de 550 000 ha et le **Programme d'Extension de l'Irrigation** (PEI) à l'aval des barrages : qui vise à la création de nouveaux périmètres irrigués et le renforcement de l'irrigation des périmètres existant sur une superficie de 130 000 ha (Ministère de l'agriculture 2021). La demande en eau a par conséquence, augmenté, ce qui a conduit à une surexploitation de cette ressource dans certaines régions du Maroc comme la région Souss-Massa (Mansir et *al.* 2021).

II. 3. Effet de la pollution

La pollution de l'eau est principalement due à la croissance démographique rapide, à l'industrialisation, à l'utilisation déraisonnable d'engrais et de pesticides et au manque de sensibilisation de la population à la protection de l'environnement (Owa 2013). En effet, l'accumulation des déchets urbains, industriels, artisanaux et agricoles dans la nature entraîne des altérations sévères et persistantes de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de surface et souterraines pouvant entraîner des maladies graves, notamment des maladies endocriniennes (diabète, thyroïde, etc.) (El Madani et *al.* 2021 ; 2019), des maladies d'origine hydrique (Fièvre typhoïde, hépatite virale, etc.), intoxications chimiques et métalliques, allergies cutanées, et certains types de cancer. De plus près de 2 milliards de personnes utilisent une source d'eau contaminée par des matières fécales causent environ 80 % des maladies dans le monde (WHO 2017b).

Au niveau mondial, et de manière inquiétante, en raison de la dégradation du milieu naturel par la civilisation moderne, le problème de la pollution de l`eau est devenu un enjeu environnemental, sanitaire et scientifique majeur. En conséquence, certaines eaux de surface sont désormais tellement polluées qu'elles peuvent être impropres à des usages domestiques, industriels et parfois agricoles (Halder et Islam 2015). L'agriculture, qui représente 70 % des prélèvements d'eau dans le monde, est la source majeure de la pollution des eaux au niveau mondial (Javier et *al.* 2017). En effet, toutes les activités inclues dans ce secteur génèrent des produits chimiques qui peuvent contaminer les ressources hydriques superficielles ou souterraines, en particulier l'utilisation de fertilisants et de pesticides qui peuvent conduire à une contamination chimique de l'eau et à un phénomène d'eutrophisation(Withers et *al.* 2014). peuvent altérer gravement la qualité de l'eau. De plus, lors de l'élevage des bovins, les déjections peuvent être rejetées directement dans les cours d'eau, ce qui peut contaminer l'eau avec des bactéries et des parasites (Zhang et *al*. 2019). L'industrie est la deuxième source de pollution des eaux ; les rejets industriels tels que les déchets chimiques (colorants, métaux lourds…) et organiques peuvent polluer gravement les cours d'eau et les nappes phréatiques (Singh et *al.* 2020).

Au Maroc, il y a de nombreuses causes de pollution de l'eau, y compris la mauvaise gestion des déchets. Leur rejet par la population dans les rivières, les lacs ou la mer, et leur accumulation dans les zones humides. Ajoutons à cela les activité agricole et industrielles par l'utilisation excessive d'engrais et des substances chimiques (El Hajjami et *al.* 2022 ; Kanga et *al.* 2020).

Cela pourrait aussi entraîner une pollution de l'air et du sol, et donc des répercussions sur la santé humaine et l'environnement. Selon le secrétariat d'État chargé du développement durable, à l'horizon 2030, le gisement total des déchets au niveau national atteindra 39 millions de tonnes, avec une augmentation de 45% par rapport à l'année 2015 où le gisement des déchets totalisait 26,8 millions de tonnes (Ministère de l'environnement 2015). En 2022, le Maroc a atteint un taux de collecte de 90% mais avec un taux de recyclage qui ne dépasse pas 20% (Ministère de l'environnement 2015) ayant permis de réduire légèrement la contamination des eaux de surface et souterraines.

III. Impact de la détérioration de la qualité des eaux sur le développement durable

La pollution de l'eau peut également affecter, d'une part, la qualité des produits de la pêche et de l'agriculture, entraînant une perte de revenus pour les pêcheurs et les agriculteurs ; d'autre part, elle impacte aussi la qualité de vie d'une région et la rendre moins attrayante pour les touristes et les investisseurs, entrainant ainsi une perte de valeur des biens immobilier.

La qualité de l'eau joue donc un rôle crucial dans le développement durable. En effet, une qualité d'eau insuffisante peut avoir des impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques, les populations humaines et les activités économiques qui dépendent de l'eau. Par exemple, depuis l'adoption de la loi américaine sur la propreté de l'eau en 1972, le gouvernement et l'industrie ont investi plus de 1000 milliards de dollars pour réduire la pollution de l'eau, soit 100 dollars par an et par personne (Keiser et Shapiro 2019) et d'autres coûts pour le traitement des eaux usées.

La contamination de l'eau de surface peut entraîner des problèmes de santé tels que des infections et des maladies gastro-intestinales. Selon l'OMS, environ 2,2 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à de l'eau potable et 297 000 enfants âgés de moins de 5 ans meurent de diarrhée en raison de services EAH (Eau-Assainissement-Hygiène) inadéquats (WHO 2019a).

Il est donc impératif que les états se dirigent vers des politiques intégrées pour la bonne gestion de l'eau dans les différentes activités anthropiques, et pour protéger l'économie d'un pays (Geng et *al.* 2020 ; Sun et Liu 2020). Cela exige à la fois une législation rigide et une orientation vers des techniques innovantes dans le domaine de la gestion des ressources hydriques.

IV. Stratégies de la gestion des eaux au niveau national et international

Il existe plusieurs traités internationaux qui visent à promouvoir la coopération internationale en matière de gestion de l'eau et à protéger les ressources en eau au niveau mondial. A savoir la convention des Nations Unies sur l'eau douce : Cette convention vise à promouvoir la coopération internationale en matière de gestion de l'eau douce et à protéger cette précieuse ressource. Elle prévoit notamment la mise en place de mécanismes de gestion de l'eau durable et la protection des écosystèmes aquatiques (Nations Unies 2018). On trouve aussi la convention de l'Union africaine sur l'eau : Cette convention vise à promouvoir la gestion durable de l'eau en Afrique et à assurer la sécurité alimentaire dans la région. Elle prévoit la mise en place de programmes de coopération internationale en matière de gestion de l'eau et la protection des sources d'eau douce (Yusuf 2010). Dans le même sens, la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques ratifiée par 197 pays, visait à atténuer les effets du changement climatique et à protéger les ressources en eau. Elle prévoyait notamment la mise en place de stratégies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et protéger les écosystèmes aquatiques contre les impacts du changement climatique (CCNUCC 1994). En 1971 la convention Ramsar, a été signé par 172 pays jusqu'aujourd'hui, constitué de 12 articles visant à protéger les zones humides dans le monde et à promouvoir leur gestion durable. Elle prévoyait la mise en place de programmes de coopération internationale pour la gestion des zones humides et la protection de leur biodiversité (« Convention RAMSAR » 1980). Dernièrement, nous citons la convention sur la diversité biologique qui vise à protéger la biodiversité dans le monde et à promouvoir sa gestion durable. Elle prévoit notamment la mise en place de programmes de coopération internationale pour la gestion de la biodiversité et la protection des écosystèmes aquatiques (CBD 1993).

Ces conventions ont mis en place plusieurs stratégies au niveau mondial pour préserver les eaux douces et gérer de manière durable cette précieuse ressource. Parmi ces stratégies, on trouve :

1. La mise en place de quotas de prélèvement
2. L'adoption de technologies plus efficaces en matière d'utilisation de l'eau, tels que l'irrigation goutte à goutte et les systèmes de traitement de l'eau de pluie (Ibrahima et *al*. 2020 ; P. Molle et *al.* 2013). Cela peut aider à prévenir la surexploitation des eaux de surface et à assurer leur disponibilité pour les générations futures (Wei et *al*. 2020).
3. La réduction de la pollution à travers la réglementation des activités industrielles et agricoles qui peuvent polluer les eaux de surface,

4. De mettre en place des programmes de gestion des déchets pour réduire la quantité de déchets qui finissent dans les eaux.
5. L'investissement dans des technologies de traitement,
6. Soutenir la recherche et le développement de ces technologies et les mettre en œuvre dans les régions où elles sont nécessaires.
7. L'organisation des campagnes de sensibilisation au niveau social pour encourager les individus à adopter des pratiques plus durables en matière d'utilisation et de préservation de l'eau, …

Au Maroc la gestion des eaux est un défi important car le pays est confronté à une pénurie d'eau en raison de la nature semi-aride de son climat et de la croissance rapide de sa population. A cet effet, le gouvernement marocain a pris des mesures pour améliorer la gestion de cette denrée rare telle que la mise en place :

1. Plan National de l'Eau (PNE, objectif 2030) (MAP 2019), qui vise à garantir une gestion intégrée et durable des ressources en eau. Ce plan comprend des programmes pour la modernisation des infrastructures de traitement des eaux usées, la construction de nouvelles infrastructures de collecte et de traitement de l'eau potable, et la mise en œuvre de mesures de conservation de l'eau.
2. Des programmes pour encourager l'irrigation efficiente et la réduction de la consommation d'eau dans les secteurs industriel et agricole.
3. Des programmes pour sensibiliser les citoyens à l'importance de la conservation de l'eau et à son utilisation rationnelle, ...

Malgré ces efforts, le Maroc continue à faire face à des défis en matière de gestion des eaux, notamment en raison de la dégradation de la qualité de l'eau, de la sécheresse persistante et de la pression croissante exercée sur les ressources en eau par la croissance démographique et les activités économiques pour garantir un avenir durable pour le pays.

V. Contexte juridique des eaux au niveau du Maroc

Au Maroc, la gestion et la préservation des ressources hydriques sont régies par plusieurs lois et politiques. Le Ministère Délégué auprès du ministre de l'Energie, des Mines de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Eau au Maroc a établi en 2016 une nouvelle loi sur l'eau 36-15 pour renforcer l'ancienne loi sur l'eau 15-95. Ce même recueil ministériel (n° 1276-01 2002) définit les normes de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation. La nouvelle loi publiée dans les

bulletins officiels (n° 6506 du 30 Kaada 1438), apporte plusieurs réformes, notamment la propriété générale de l'eau, le droit pour tous les citoyens d'avoir accès à l'eau, un environnement sain et une bonne gouvernance. Elle prône également une gestion décentralisée des ressources hydriques (« loi 36-15 sur l'Eau – Direction Générale de l'Eau » 2015).

L'article 1 du recueil décrit la norme marocaine relative aux eaux de surface basée sur la grille de qualité simplifiée (tableau 1). L'article 2 déclare que cette norme s'applique uniquement aux eaux de surface qui sont soumises à une influence de pollution. La grille donne cinq classes de qualité déterminées par des valeurs seuils que les différents paramètres ne doivent pas dépasser. Afin de déterminer la qualité physique, chimique et bactériologique, chaque classe est représentée par une couleur distinctive : excellente (bleu), bonne (vert), moyenne (jaune), mauvaise (rouge), très mauvaise (violet). En effet, Le système national d'évaluation de la qualité des eaux de surface au Maroc, dont cette grille fait partie, est un indicateur important de développement durable.

Tableau 1 : Indices de pondération et modifications des résultats physicochimiques, bactériologiques et métalliques

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	<6.5 ou >9.2	<6.5 ou >9.2
Oxygène dissous mg(O_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 mg(O_2). L^{-1}	<30	30-35	35-40	40-80	>80
DBO_5 mg(O_2). L^{-1}	<3	3-5	5-10	10-25	>25
Chlorures mg. L^{-1}	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
Sulfate mg. L^{-1}	<100	100-200	200-250	250-400	>400
Nitrates mg. L^{-1}	≤10	10-25	25-50	>50	-
Ammonium mg. 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 mg. 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 N/100mL	≤20	20-2000	2000-20000	>20000	-

L'article 54 de ce recueil interdit de jeter les eaux usées dans les oueds à sec, les pluies, les abreuvoirs publics, les forages, les canaux, et les galeries de captage des eaux. Seul l'évacuation des eaux résiduelles ou usées domestiques dans des puits filtrants ou une fosse septique est autorisée. Il interdit également tout épandage en enfouissement des effluents et tout dépôt de déchets susceptible de polluer les eaux souterraines ou les eaux de surface.

Les efforts déployés par le Maroc pour préserver les ressources hydriques et améliorer la qualité de l'eau de surface sont importants et font partie de son engagement pour un développement durable.

En plus de ces lois et politiques, le Maroc a également ratifié plusieurs traités internationaux sur l'eau afin de promouvoir la coopération internationale en matière de gestion de l'eau et de protection des ressources en eau et les écosystèmes aquatiques au niveau mondial, tels que :

1- Convention des Nations Unies sur l'eau douce et la Convention de l'Union africaine sur l'eau (Garane 2008)
2- Convention-cadre des Nations Unies sur les ressources en eau douce.
3- Convention sur le droit relatif aux utilisations des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation (Garane 2008).
4- Convention de Barcelona sur la protection de la mer Méditerranée contre la pollution par les hydrocarbures (UNEP 1978).

VI. Efforts étatiques au niveau national pour la dépollution des eaux de surface

Le Maroc a mis en place plusieurs initiatives et programmes pour préserver les ressources en eau et gérer de manière durable cette précieuse ressource. Quelques exemples incluent :

- Le Plan national de l'eau (PNE, objectif 2030) : Le PNE est un document de politique qui fixe les orientations et les objectifs de la gestion de l'eau au Maroc. Il vise à assurer la disponibilité de l'eau de manière durable et à préserver la qualité de l'eau, selon trois piliers qui sont : 1) La gestion de la demande en eau et valorisation de l'eau ;2) Le développement de l'offre ;3) La préservation des ressources en eau, du milieu naturel et adaptation aux changements climatiques (Direction Générale de l'Eau 2009).
- Le Programme National d'Économie d'Eau en Irrigation : Le PNEEI vise à optimiser l'utilisation de l'eau pour l'irrigation sur une superficie totale de 550 000 ha. Il prévoit notamment la mise en place de systèmes d'irrigation efficaces et la sensibilisation des agriculteurs aux bonnes pratiques en matière d'utilisation de l'eau. Ce programme a permis d'économiser 2 milliards m^3 d'eau chaque année depuis le lancement du programme en 2008 (Ministère de l'agriculture 2021)
- L'Adoption de technologies plus efficaces en matière d'utilisation de l'eau comme l'irrigation goutte à goutte ou les systèmes de traitement de l'eau de pluie.
- La Protection des sources d'eau douce comme les rivières, les lacs et les nappes phréatiques.
- La Réduction de la pollution de l'eau par les activités industrielles et agricoles qui peuvent polluer les eaux de surface et mis en place des programmes de gestion des déchets pour réduire la quantité de déchets qui finissent dans les eaux.

- La Sensibilisation de la population à l'importance de l'eau par l'organisation des campagnes de sensibilisation pour encourager les individus à adopter des pratiques plus durables en matière d'utilisation de l'eau et à ne pas la polluer.
- La Prise en compte des impacts du changement climatique pour ses effets sur les ressources en eau, comme la mise en place de systèmes de gestion de l'eau adaptés au changement climatique et la restauration des écosystèmes aquatiques.
- La Coopération internationale : collaboration avec d'autres pays et organisations internationales pour gérer de manière durable les ressources en eau et protéger l'environnement. Cela peut inclure la participation à des traités internationaux sur l'eau et l'échange de connaissances et de technologies pour améliorer la gestion de l'eau.
- L'Investissement dans des technologies de traitement de l'eau en vue d'éliminer les contaminants de l'eau, la rendre potable et réduire les risques pour la santé humaine.

En plus de ces initiatives, le Maroc a également mis en place des programmes de recherche et de développement pour améliorer l'évaluation de la qualité de l'eau, la gestion de l'eau et protéger les ressources en eau. Ces programmes visent à développer de nouvelles technologies qui permettent une exploitation intégrée des ressources hydriques dans les domaines industriels et agricoles. Ainsi que la valorisation et le traitement des déchets solides et liquides avant de les verser dans les milieux naturels.

Le paragraphe suivant présentera une synthèse sur les systèmes d'évaluation de la qualité des eaux en mettant en accent sur ceux appliqués au Maroc. Il donnera également un aperçu sur les outils informatiques aidant à collecter, saisir et traiter les données spatiales liées à la qualité de l'eau.

VII. Système d'évaluation de la qualité des eaux

VII. 1 Synthèse bibliographique

La qualité de l'eau est un élément important à prendre en compte dans la gestion des ressources en eau et dans la protection de la santé humaine et de l'environnement. On distingue plusieurs méthodes et systèmes pour évaluer la qualité de l'eau, qui peuvent être utilisés seuls ou en combinaison. Pour faire un recueil des différents systèmes, nous avons réalisé une analyse systémique des publications qui sont en relation avec le « *water quality assessment system* » dans la plateforme Scopus. Afin d'éviter tout jugement biaisé, nous avons suivi la méthode PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (Page et al.

2021), qui se base sur la définition et les différentes étapes suivies pour arriver aux résultats. Ensuite nous avons réalisé une cartographie des mots clés en utilisant le logiciel VOSviewer^{R} version 1.6.17 (0). Ce logiciel permet de visualiser les différents liens entre les mots qui sont en relation avec le sujet étudié. En effet, la distance entre les nœuds et leur densité indique la proximité relative entre eux (Dash et Kalamdhad 2021). Les mots-clés suivants ont été saisis : TITLE-ABS-KEY (water AND Quality AND Morocco). Un total de 880 documents publiés a été initialement extrait. Ces ouvrages littéraires publiés ont ensuite été soumis à une deuxième étape, qui est le processus de « sélection », basé sur les critères d'inclusion-exclusion. Un processus de sélection en trois étapes a été adopté en fonction de la portée de la recherche actuelle.

Premièrement, les articles disponibles en ligne durant le période 2011-2021, ont été inclus.

Deuxièmement, les articles entrant dans le champ des « Sciences de l'environnement », « Sciences agricoles et biologiques », « Sciences de la Terre et des planètes », « Ingénierie », « La science des matériaux », « chimie », et « La médecine » ont été inclus, car notre champ d'application se limite à ces seuls domaines. Enfin, seuls les articles de recherche publiés en anglais ont été pris en compte, tandis que les articles de conférence et les chapitres de livres ont été exclus.

La troisième étape concernait les critères d'« éligibilité », où les articles extraits après sélection ont été soumis à une évaluation de la qualité pour éviter toute duplication de données.

De plus, tous les articles ont été étudiés par leurs titres, résumés et mots-clés afin d'identifier leur existence dans le champ de la recherche. Tous les articles non pertinents qui dépassaient le cadre de l'enquête ont été exclus. La quatrième et dernière étape décrit la signification de l'utilisation d'un seul mot ou d'une combinaison de mots, à travers la fonction « inclus ». Lors de l'utilisation d'une combinaison de mots, les mots-clés ont été saisis à l'aide d'opérateurs booléens tels que (AND ou OR), en fonction des exigences.

Après le dernier tour de sélection, un total de 378 articles a été sélectionné pour l'analyse scientométrique qui a montré qu'un nombre total de 150 articles ont traité le sujet de la qualité des eaux souterraines au Maroc (figure 5a). Ces études se sont spécifiquement concentrées sur l'évaluation de l'hydrogéochimie (Bahir et *al*. 2012) , la caractérisation de la qualité des eaux souterraines qui puissent servir aussi bien à la consommation qu'à des fins d'irrigation (Bahir et *al*. 2021 ; El Bilali et *al*. 2021 ; Idrissi et *al*. 2018 ; Mouhanni et *al*. 2012). Les zones confrontées

à une pénurie d'eau de surface ont été les principales régions d'intérêt comme les régions d'Essaouira et d'Agadir, car elles dépendent entièrement des aquifères locaux pour répondre à leurs besoins en eau. L'interprétation subjective des données collectées sur la qualité des eaux nécessite le développement de l'indice de la qualité de l'eau basé sur des approches mathématiques. La cartographie des mots-clés (figure 5b) montre que le mot « WQI » est utilisé pour caractériser la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation dans les régions d'Essaouira et Béni-Mellal. Ainsi que l'analyse par composante principale (PCA), il s'agit d'une analyse descriptive multidimensionnelle qui vise à chercher les paramètres qui sont les plus corrélés (Duby et Robin 2006). De plus nous avons constaté que la représentation des données sous forme de carte thématique en utilisant le système d'information géographique (SIG) et lié à la détermination de la qualité de l'eau.

Alors que les travaux ayant traité le sujet de la qualité des eaux de surface sont moins nombreux (96 articles), et portaient principalement sur l'évaluation de la qualité de l'eau à travers le suivi des paramètres physico-chimiques (El Mrissani et *al*. 2021; Souilmi et Tahraoui 2021) et de la biodiversité biologique représentée par des macro-invertébrés benthiques, ainsi que certains indices biotiques (Guellaf et Kettani 2021; Lakhloufi et *al*. 2021).

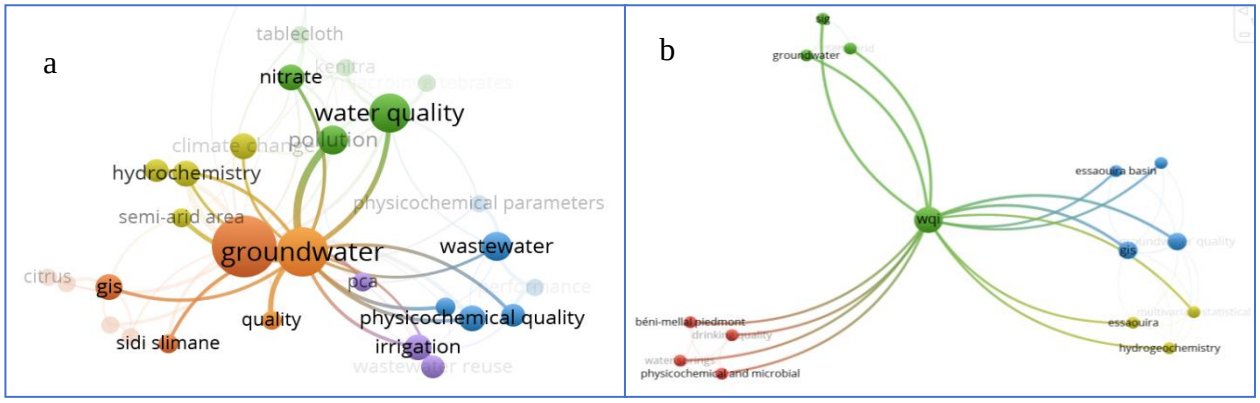

Figure 1. Mots-clés pertinents apparus dans les articles publiés dans le domaine de la qualité de l'eau

En résumé, il existe plusieurs systèmes d'évaluation de la qualité de l'eau, chacun ayant des objectifs et des méthodes différents, mais tous visant à garantir que l'eau est sûre et de qualité pour les humains et l'environnement. Voici quelques exemples de chaque système d'évaluation de la qualité de l'eau

VII. 2 Système de surveillance de la qualité de l'eau au Maroc

Au Maroc, la qualité de l'eau est évaluée et surveillée par plusieurs organismes et agences qui mettent des programmes de surveillance de la qualité de l'eau et de gestion intégrée de l'eau dans les différentes régions de pays et publient régulièrement des rapports sur la qualité des de l'eau

- L'Agence Nationale de l'Eau (ANE) : cette agence est chargée de la gestion intégrée de la qualité de l'eau et de la protection des ressources en eau au Maroc.
- Le Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLCD) : cet organisme est chargé de la gestion des ressources en eau et de la lutte contre la désertification au Maroc
- L'Agence de Protection de l'Environnement (APE) : cette agence est chargée de la protection de l'environnement au Maroc, y compris de la qualité de l'eau.

En plus de ces organismes, il existe également des réseaux de surveillance de la qualité de l'eau gérés par les autorités locales et les universités, qui font le même travail.

VII. 3 Gestion informatique et géographique des données

Le système d'information géographique (SIG) est une technique utilisée dans l'évaluation de la qualité de l'eau pour collecter, gérer, analyser et visualiser efficacement les données spatiales liées aux paramètres de qualité de l'eau, permettant aux chercheurs et aux décideurs de mieux comprendre la distribution, les tendances et les facteurs affectant la qualité de l'eau dans des zones géographiques spécifiques.

L'utilisation de la combinaison des indices de qualité de l'eau et des outils SIG constitue une approche puissante pour sensibiliser les décideurs à la disponibilité et à la qualité des eaux dans une zone d'étude donnée. Cette démarche permet non seulement de quantifier la situation actuelle, mais aussi d'anticiper les défis futurs liés à la gestion de ces ressources précieuses (Jarray et *al.* 2023)

Dans cette optique, une étude récente a utilisé le système d'information géographique (SIG) en conjonction avec le modèle SWAT (*Soil and Water Assessment Tools)* pour évaluer l'impact des changements d'affectation des sols sur le débit des cours d'eau et le ruissellement des sédiments. Cette analyse a été réalisée en tenant compte de divers scénarios de développement futur basés sur des considérations économiques, offrant ainsi une vision prospective des changements environnementaux (Nguyen et *al*. 2023).

De plus, une approche multicritère combinant les SIG et une approche de classification hiérarchique a été mise en œuvre pour prendre des décisions éclairées. Cette méthodologie a permis d'intégrer différentes couches d'information spatiale pour mieux comprendre les implications des actions entreprises sur l'environnement (Osseni et *al*. 2023).

Un autre exemple de l'application du SIG dans la gestion des ressources en eau concerne l'utilisation du modèle DRASTIC. Ce modèle, basé sur le SIG, a été employé pour estimer la vulnérabilité inhérente à la contamination de l'aquifère alluvial de Ghiss Nekkor. Cette évaluation s'appuie sur l'analyse de sept paramètres hydrogéologiques standards, permettant ainsi d'identifier les zones présentant un risque plus élevé de contamination (El Yousfi et *al*. 2023). L'évaluation de l'ensemble des données collectées et obtenues par analyse pourrait se faire aussi par des tests statistiques afin d'extraire des connaissances et fournir des éléments significatifs et opérationnels pour une prose de décision adaptée.

VII. 4 Tests statistiques

Les tests statistiques jouent un rôle crucial dans l'analyse des résultats expérimentaux, permettant de prendre des décisions éclairées en tenant compte de l'incertitude des observations. Ces tests se basent sur des calculs complexes pour évaluer le risque d'erreur lié aux données et aux hypothèses statistiques, en particulier l'hypothèse nulle, par rapport à une problématique spécifique.

Les principaux objectifs de ces tests sont de définir précisément le cadre rigoureux des études et de déterminer si les différences observées sont statistiquement significatives par rapport à un seuil défini. Deux hypothèses, H_0 (hypothèse nulle) et H_1 (hypothèse alternative), sont toujours en opposition dans tout test statistique :

- L'hypothèse nulle, H_0, suggère qu'il n'y a pas de différence significative entre les paramètres étudiés ou qu'il n'y a pas de diversité parmi une valeur distinctive et un paramètre donné.
- L'hypothèse alternative, H_1, indique qu'il existe une différence significative entre les paramètres ou qu'une valeur distinctive est présente parmi les paramètres eux-mêmes.

Selon la valeur de l'alpha (α), qui représente le seuil de signification statistique, les tests peuvent être classés comme significatifs (*), très significatifs (**) ou hautement significatifs (***). Par exemple, si $1\% < \alpha < 5\%$, cela signifie une différence statistiquement significative, souvent notée par (*).

Il existe plusieurs types de tests statistiques, chacun ayant une finalité spécifique en fonction du nombre et du type de variables, des hypothèses sur la distribution des données et de la manière dont les échantillons sont constitués. Parmi les tests couramment utilisés, on trouve les tests de normalité, de Student, de Fisher, de Khi-Deux, d'analyse de la variance (ANOVA) et de corrélation.

Le test de normalité évalue si les données suivent une distribution normale, ce qui permet d'estimer la probabilité de présence d'une variable sous-jacente normale. Pour les données continues, le test de normalité est une étape importante pour décider des mesures de tendance centrale et des méthodes statistiques d'analyse des données (Mishra et *al*. 2019) ;

Le test T, également appelé test T de Student, est une méthode d'analyse statistique initialement conçue par William Sealy Gosset en 1908 dans le but de contrôler la qualité des bières brunes. Qu'il soit utilisé pour examiner les différences potentielles entre les moyennes de deux échantillons indépendants ou pour évaluer un seul échantillon (comme mentionné précédemment), le concept de base reste le même. Néanmoins, dans les cas où les moyennes des deux échantillons ne présentent pas de différence notable, l'écart tendra à s'approcher de zéro. Par conséquent, dans de telles situations, il devient essentiel d'effectuer un test statistique supplémentaire pour déterminer s'il est raisonnable de considérer la différence comme pratiquement égale à zéro (Kim 2015).

Le test exact de Fisher est un outil statistique précieux lorsqu'il s'agit de données catégorielles, en particulier lorsque la taille des échantillons est faible, que le nombre de cellules attendues est bas ou que les tests chi-carré traditionnels ne sont pas appropriés en raison de leurs

hypothèses. Il permet aux chercheurs d'évaluer avec précision l'importance des associations entre les variables, ce qui en fait un outil crucial dans divers domaines de recherche et d'analyse (Warner 2013).

Le test de Khi-Deux (également écrit "χ^2" ou "test du chi carré") est un test statistique utilisé pour déterminer s'il existe une association significative ou une indépendance entre deux variables catégorielles dans un tableau de contingence. Il s'agit d'un outil courant dans l'analyse des données et la vérification des hypothèses, en particulier lorsqu'il s'agit de données nominales ou ordinales (McHugh 2013).

L'analyse de variance (ANOVA) offre une approche plus souple de l'analyse des variations spatiales. Elle permet de diviser les données en groupes ou en facteurs qui peuvent représenter des zones hétérogènes ou des sous-populations spécifiques. En comparant les moyennes de ces groupes à l'aide de l'ANOVA, on peut détecter des variations significatives et mieux comprendre la structure spatiale sans devoir supposer la stationnarité (Davidson et Csillag 2003)

Les tests de corrélation en statistiques sont des outils utilisés pour évaluer la relation entre deux variables. Ils mesurent la force et la direction de l'association entre ces variables. Les tests de corrélation les plus courants sont la corrélation de Pearson (Isaac 2018), qui évalue les relations linéaires entre les variables continues, la corrélation de Spearman, adaptée aux données ordinales ou non paramétriques, et la corrélation de Kendall, qui mesure la concordance entre deux ensembles de données (Croux et Dehon 2010). Ces tests sont essentiels pour comprendre les relations entre les variables et peuvent aider à prendre des décisions éclairées sur la base des résultats obtenus.

Le choix du test statistique le plus approprié pour les études environnementales dépend de la nature des données et des objectifs de l'étude. Chaque test statistique a ses propres avantages et limites, et le choix doit être guidé par la question de recherche spécifique et les caractéristiques des données.

Pour notre étude, nous avons utilisé l'analyse de variance comme outil d'analyse pour examiner divers paramètres ; que ce soit pour la caractérisation de la qualité des eaux de surface dans la ville de Taza, ou pour analyser les résultats de l'enquête épidémiologique visant à évaluer l'impact de la qualité de l'eau sur la santé publique.

Par ailleurs, parmi des programmes de recherche et développement que le Maroc a mis en œuvre pour protéger les ressources en eau, celui de la valorisation et/ou le traitement des déchets solides et liquides.

Dans le paragraphe suivant, nous allons citer quelques techniques de traitement et de remédiation des eaux usées contaminant des eaux de surface. Ces techniques sont comparées par deux critères qui sont : i) le taux de rendement et ii) le coût d'investissement.

VIII. Techniques de traitement et remédiation des eaux de surface polluées

VIII. 1 Techniques de traitement des eaux

Plusieurs techniques de traitement biologiques et physico-chimiques sont disponibles pour le traitement des eaux polluées. Le choix de la technique de traitement la plus appropriée est en fonction de la nature et de la concentration des contaminants présents dans l'eau de surface. Il peut être nécessaire de combiner plusieurs techniques pour obtenir un traitement efficace. De plus les techniques physico-chimiques ne sont pas toujours la meilleure option pour éliminer les contaminants de l'eau de surface. Elles peuvent être coûteuses, nécessiter l'utilisation de produits chimiques et générer des sous-produits qui peuvent être polluants. Par ailleurs, certaines techniques, comme la filtration et l'adsorption, peuvent être limitées par leur capacité à traiter des volumes importants d'eau.

Par conséquent, il faut considérer ces facteurs pour choisir la technique de traitement la plus appropriée en fonction de la nature et de la concentration des contaminants présents dans l'eau de surface, ainsi que des objectifs de traitement et des contraintes opérationnelles. Il peut être nécessaire de combiner plusieurs techniques de traitement pour obtenir un traitement efficace et durable de l'eau de surface.

VIII.2. 1. Le traitement biologique

Cette technique utilise des microorganismes pour décomposer les contaminants présents dans l'eau. Le taux d'abattement des contaminants organiques peut atteindre 90%. Cependant, il peut varier considérablement en fonction de la nature et de la concentration des contaminant, ainsi que les conditions opérationnelles. Elle peut inclure l'utilisation de procédés de bioremédiation, de biodégradation ou de biofiltration (Tableau 2).

- La bioremédiation : consiste à l'utilisation des microorganismes ou des plantes pour neutraliser ou éliminer les polluants existant dans les eaux contaminées.
- La biodégradation : consiste à l'utilisation des microorganismes pour la décomposition de la charge organique biodégradable qui se trouve dans les eaux polluées. Il existe deux types de biodégradation : biodégradation aérobie et biodégradation anaérobie.
- La biofiltration : est une technique de traitement des eaux résiduaires qui consiste à faire passer l'effluent à travers un matériau filtrant de type granulaire colonisé par une biomasse épuratrice.

Tableau 2 Techniques biologiques de Traitement des eaux usées

Biologique	**Traitement anaérobie**	Production d'énergie (biogaz), réduction de la toxicité des déchets / effluents	Dégagement des odeurs désagréables, production d'une quantité non négligeable de boues épuisées, inhibition du processus de digestion des bactéries pour les effluents de fortes charges organiques en particulier les composés phénoliques	Ioannou-Ttofa et *al.* 2017 ; Sarris et *al.* 2017)
	Traitement aérobie	Réduction importante de la DCO	Génération de boues, consommation excessive d'oxygène	Yaakoubi et *al.* 2009 ; Michailides et *al.* 2011 ; Lucas et *al.* 2013 ; Michael et *al.* 2014 ; Aquilanti et *al.* 2014

VIII.2. 2. Le traitement par ozonation

Cette technique utilise l'ozone, un puissant oxydant, pour éliminer les contaminants de l'eau. Elle est particulièrement efficace pour éliminer les contaminants organiques et peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres techniques de traitement. Le rendement de cette technique peut atteindre jusqu'à 100 % (Mecha et Chollom 2020).

VIII.2. 3. Le traitement par ultraviolet

Cette technique utilise de la lumière ultraviolette pour détruire les contaminants présents dans l'eau. Elle est particulièrement efficace pour éliminer les contaminants organiques et est souvent utilisée en combinaison avec d'autres techniques de traitement. Le taux d'abattement des

contaminants biologiques par cette technique peut atteindre 97 % (Struk-Sokołowska et *al.* 2024)

VIII.2. 4. Le traitement par osmose inverse

Cette technique utilise une membrane fine pour filtrer les contaminants de l'eau. Elle est particulièrement efficace pour éliminer les contaminants organiques et inorganiques et est souvent utilisée pour traiter l'eau de mer ou l'eau contaminée par des substances chimiques avec un rendement qui peut atteindre 95 % (Park et *al.* 2022).

VIII.2. 5. Les techniques physico-chimiques

Ces techniques consistent à utiliser des méthodes physiques et chimiques pour éliminer les contaminants de l'eau (tableau 3). Elles peuvent inclure l'utilisation de filtres, de réacteurs chimiques ou de procédés de coagulation et de floculation.

Tableau 3 Techniques physicochimiques de Traitement des eaux usées de différentes natures

Procédés	Techniques	Efficacité	Remarques	Références
Physiques	Distillation	92% de réduction de la DCO	Forte acidité du distillat produit	(Ouabou, Anouar, et Hilali 2014 ; El-Abbassi et *al*. 2013 ; 2012)
	Évaporation naturelle	Peu efficace	Production de boues, dégagement d'odeurs indésirables	(Souilem et *al*. 2017 ; Jarboui et al. 2010)
	Évaporation forcée	Peu efficace	Production de boues, consommation d'énergie, dégagement d'odeurs indésirables	(Souilem et *al*. 2017)
	Ultra-nanofiltration, osmose inverse, électrodialyse	90 % de réduction de la DCO, faible consommation d'énergie	Entassement et colmatage des membranes, coûts très élevés d'investissement et d'exploitation	(Charcosset 2009 ; Coskun, Debik, et Demir 2010 ; Dhaouadi et Marrot 2010 ; Yahiaoui et *al.* 2011) ; (Cicci et *al*. 2013) ; (Souilem et *al.* 2017) ; (Shirazi et *al*. 2020)
Physico-chimiques	Coagulation-floculation	Peu efficace	Production de grandes quantités de boues	(Achak et al. 2008); (Rizzo et *al.* 2010) ; (Sbai et Loukili 2015) ; (Bawab et *al*. 2018 ; Rizzo et *al.* 2008 ; Lafi et *al.* 2010 ; Pelendridou et *al.* 2014)
	Oxydation avancée, ozonation, oxydation photo-fenton, photocatalyse, oxydation électrochimique, oxydation humide	Taux d'abattement important de la DCO (80%)	Coût d'investigation élevé	(Kiril Mert et *al.* 2010) ; (Nieto et *al*. 2011) ; (Michael et *al.* 2014) ; (Mseddi et *al.* 2016) ; (Flores et *al.* 2018 ; Lucas et *al.* 2013)
	Électrocoagulation	Taux d'abattement important de la DCO (98%) dépendant des conditions d'essai et de type d'électrodes	Taux de traitement peut atteindre 9.6L/j avec consommation de 12 à 14 KWh/m^3	(Ben Abbou et *al*. 2014) ; (Nasr et EL Shahawy 2016) ; (Sbai et Loukili 2015; Rais et *al*. 2017 ; Flores et *al.* 2018 ; Hanafi et *al.* 2009)
	Adsorption	99% et 99.9% de réduction des composés métalliques et des colorants respectivement	Faible coût de régénération	(Ouafi et *al.* 2021 ; Ahmadi et Izanloo 2023 ; Alardhi et *al.* 2023)

VIII.1.5. 1. Filtration

C'est un procédé membranaire consistant à l'utilisation d'une membrane d'un matériau poreux semi-perméable permettant le passage sélectif de certains constituants d'un milieu à l'autre sous l'effet d'une force de transfert. En effet selon la taille de la particule, différents types de filtration membranaire peuvent être envisagées (Figure 1), à savoir la microfiltration, l'ultrafiltration, la nanofiltration, l'osmose inverse et l'électrodialyse (Devi et *al.* 2022). La filtration peut être très efficace pour éliminer les contaminants solides de l'eau, avec des taux d'abattement de près de 99,28 %, 97,93 % et 100 % pour la DCO, la DBO et la couleur, respectivement (Shirazi et *al.* 2020).

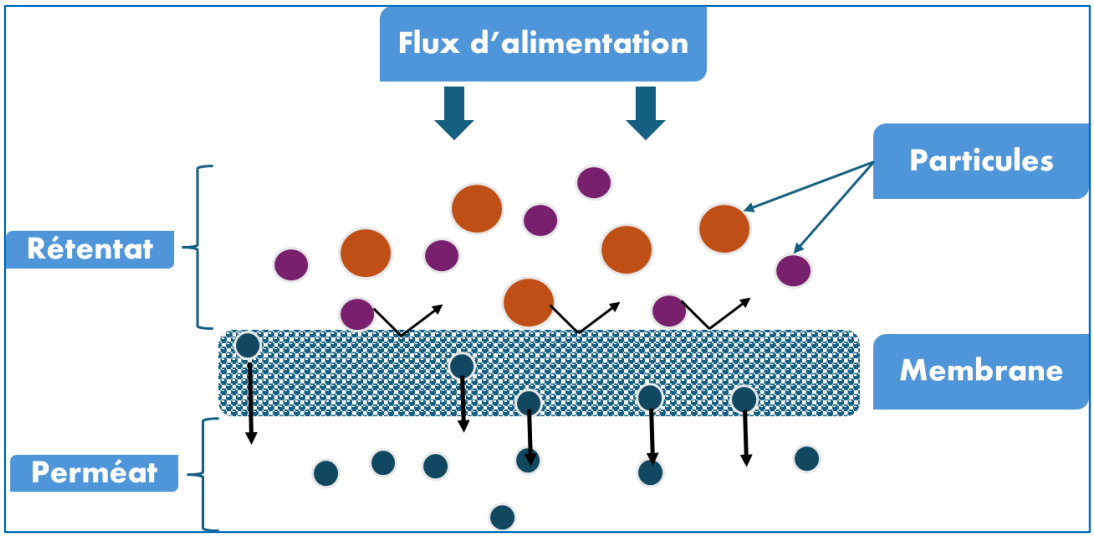

Figure 2. Principe de la filtration membranaire

VIII.1.5. 2. Coagulation et floculation

Il s'agit d'un processus physico-chimique favorisant l'agrégation des petites particules dissoutes et en suspension dans l'eau, également connues sous le nom de colloïdes. Ces particules sont rendues instables par l'ajout d'un coagulant sous agitation rapide ; la charge positive du coagulant neutralise la charge négative des colloïdes. Les coagulants les plus couramment utilisés sont : le sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$, l'aluminate de sodium $NaAlO_2$, le chlorure ferrique $FeCl_3$, Le sulfate de Fer $FeSO_4$ (Majdy et *al.* 2015)

Le processus débute par l'ajout d'un coagulant qui neutralise les charges électriques des particules, les faisant coaguler pour former des agrégats appelés flocs. Ensuite, un floculant est ajouté pour favoriser l'agrégation des particules coagulées en flocs plus volumineux et plus facilement séparables de l'eau. Ce processus conduit à la formation de flocs plus gros et plus lourds, permettant une clarification efficace de l'eau traitée (Pelendridou et *al.* 2014).

La coagulation et la floculation sont généralement efficaces pour éliminer la matière en suspension dans l'eau, avec un taux réduction de la turbidité et des coliformes qui peut atteindre 94.96% et 100% respectivement (Touhari et *al*. 2023).

VIII.1.5. 3. Adsorption

Il s'agit d'un phénomène de surface où un composé, appelé adsorbat, se fixe énergétiquement sur la surface d'un solide absorbant. Cette interaction résulte de liaisons formées entre l'adsorbat et l'adsorbant. Le processus se déroule dans un système ternaire comprenant l'adsorbant, l'adsorbat (polluant) et le solvant (solution aqueuse) (Yan et *al.* 2022), et il existe deux types d'adsorption : la chimisorption et la physisorption (figure 2).

La chimisorption, favorisée par des températures élevées, résulte d'une interaction chimique entre les molécules de l'adsorbant et celles du soluté, formant un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce processus est caractérisé par son caractère irréversible, sa sélectivité élevée et une énergie d'activation qui peut dépasser 100 KJ/mol (Ospina-Montoya et *al*. 2024) .

Tandis que la physisorption est un processus exothermique, non spécifique et réversible, impliquant des énergies de liaison relativement faibles telles que les forces de Van der Waals et les liaisons hydrogène, avec une énergie d'activation ne dépassant pas 100 KJ/mol (Rashidi et *al*. 2014).

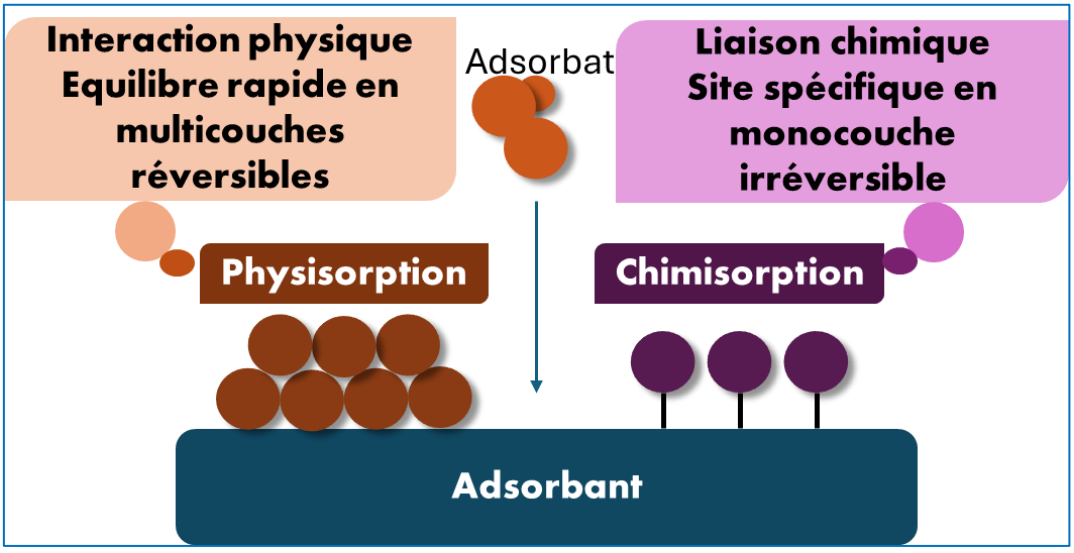

Figure 3. Schéma du processus d'adsorption

L'adsorption peut être très efficace pour éliminer les contaminants organiques de l'eau, mais elle est moins efficace pour éliminer les métaux lourds et les composés inorganiques. Les taux d'abattement de la DBO_5 et de la DCO peuvent atteindre 92 % et 97 % respectivement (Sahya et *al*. 2023).

a. Cinétique d'adsorption

La cinétique de l'adsorption décrit le changement de la concentration du couple adsorbant-adsorbat au fil du temps et comment l'adsorption atteint un état d'équilibre avec la phase en solution. Elle vise donc à comprendre les mécanismes et les taux auxquels les molécules sont adsorbées sur la surface du matériau. Ces mécanismes peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la nature du matériau adsorbant, les propriétés physico-chimiques de la substance à adsorber, la température et la concentration initiale de la substance dans la solution (Ibriz 2016).

Les modèles cinétiques d'adsorption sont utilisés pour décrire mathématiquement les courbes de cinétique d'adsorption et pour estimer les paramètres cinétiques tels que la vitesse d'adsorption, le coefficient de transfert de masse et la capacité d'adsorption. Parmi les modèles les plus couramment utilisés, on trouve les modèles cinétiques de pseudo-premier ordre (PFO), de pseudo-second ordre (PSO), d'intraparticulaire et d'intrapore (Miyah et *al.* 2015).

b. Paramètres influençant le processus d'adsorption

Plusieurs paramètres influencent l'équilibre, la cinétique et la capacité d'adsorption d'un soluté sur un adsorbant. Ces paramètres sont associés aux conditions opératoires telles que le pH, la concentration, la granulométrie et la masse de l'adsorbant. Ils dépendent également de la nature de l'adsorbant et de l'adsorbat.

- **Nature de l'adsorbat :** Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat, comme sa taille moléculaire, sa polarité et sa charge électrique, déterminent son interaction avec l'adsorbant. Par exemple, les molécules plus petites peuvent diffuser plus rapidement à travers les pores de l'adsorbant, accélérant ainsi la cinétique d'adsorption. De plus, les adsorbats ayant une plus grande polarité ou une charge électrique peuvent interagir plus fortement avec les sites actifs de l'adsorbant, augmentant ainsi leur capacité de fixation. En comprenant ces interactions, il devient possible de concevoir des processus d'adsorption plus efficaces dans diverses applications, telles que le traitement des eaux (Karume et *al.* 2023).
- **Structure de l'adsorbant :** Les caractéristiques de porosité, la surface spécifique et la distribution des sites actifs influencent directement l'efficacité de l'adsorption. En effet une capacité d'adsorption élevée et une sélectivité élevée vis-à-vis de l'adsorbat sont attendues et recherchées, ce qui peut être réalisé en régulant la structure de l'adsorbant. Cette dernière est déterminée par les procédures de préparation (Liu et *al*. 2022).

❖ **Paramètres opératoires :** Les paramètres opératoires tels que le pH, la concentration initiale, la dose de l'adsorbant, et la température sont des éléments influençant l'équilibre, la cinétique et la capacité de fixation des adsorbats. L'étude de ces paramètres vient après l'étude de la cinétique pour examiner leurs effets sur le processus d'adsorption (Zhang et *al*. 2022).

❖ **Effet de la température :** La cinétique d'adsorption peut être modifiée par les variations de température, qui modifient la nature des interactions entre les adsorbants et les sites actifs de l'adsorbant. Par conséquent, une augmentation de la température dans un processus endothermique améliore généralement l'élimination de l'adsorbat. Cependant, une température plus élevée peut également provoquer une dégradation physique du matériau absorbant, ce qui entraîne une réduction du taux d'élimination du polluant (Li et *al*. 2024).

L'étude de l'effet de la température permettra de déterminer les paramètres thermodynamiques de l'adsorption et indiquera sur le mécanisme mis en jeu.

VIII. 2 Techniques de remédiation des eaux de surface

Les techniques de remédiation jouent un rôle essentiel dans la protection de l'environnement en s'attaquant à la pollution et à la contamination causées par les activités humaines. Parmi ces méthodes, la gestion des déchets solides et le traitement des effluents hautement contaminés sont particulièrement importants. Une bonne gestion des déchets implique des stratégies telles que la réduction à la source, le recyclage et le compostage, qui visent toutes à minimiser la production de déchets tout en tirant le meilleur parti des déchets générés. Lorsqu'il s'agit d'effluents hautement contaminés, il est essentiel d'adapter des approches intégrées contribuent non seulement à la lutte contre la pollution, mais jouent également un rôle important dans la protection des écosystèmes et de la santé publique.

Dans cette étude, nous avons développé deux approches pour traiter ou valoriser deux déchets liquide et solide :

- les margines sont des effluents résultant de la trituration des olives, principaux polluants responsables de la pollution des eaux de surface de la ville de Taza, seront utilisées comme fertilisant pour la culture du sorgho.
- Les aiguilles de pin d'Alep sont traitées pour élaborer un biomatériau possédant des propriétés d'adsorption afin de traiter les eaux usées déversées dans les eaux de surface de la ville.

VIII.2. 1. Les margines

La production d'huile d'olive est principalement concentrée dans les pays du pourtour méditerranéen : Espagne, Italie, Grèce, Turquie, Syrie, Tunisie et Maroc. La production mondiale d'olives de table est d'environ 2 511 500 tonnes (IOC 2018).

Au Maroc, l'industrie oléicole a fait des progrès remarquables grâce sur le « plan vert » adopté par le ministère de l'agriculture (fig. 3). En 2018, la production totale était d'environ 2 000 000 tonnes d'olives (MAP 2018). Ainsi, le taux de croissance annuel moyen de la production d'huile d'olive au Maroc de 2000 à 2018 a été de 11,93% (IOC 2018)

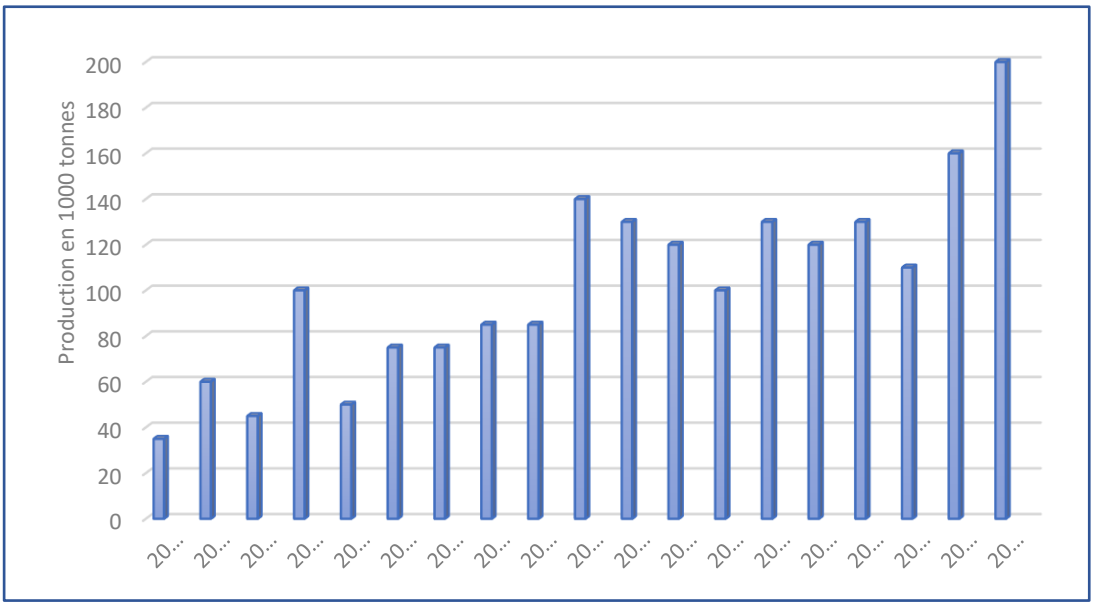

Figure 4. Évolution de la production nationale annuelle d'olives au Maroc entre 2000 et 2018

Si l'on considère que ce taux restera le même dans les 20 prochaines années, nous aurons une production d'olives qui atteindra 2 798 250 tonnes. Par ailleurs, on estime que la trituration de 100 kg d'olives par les unités oléicoles triphasées produit de 50 à 120 litres de margines et de 33 à 65 kilogrammes de grignons d'olives (Béchir et *al*. 2014). Ainsi, en 2040, ces unités déverseront plus de 2.2.106 tonnes de margines et plus de 13.106 tonnes de grignons d'olives dans les milieux naturels.

Malgré sa contribution de 5% au PIB agricole national (MAPMDREF 2014), l'industrie oléicole a divers impacts environnementaux en termes d'eutrophisation des eaux confirmée par la prolifération de certaines algues diatomées telles que *Nitzschia palea* et *Gomphonema parvulum*(Slim et *al.* 2013), et de dégradation des sols (Aharonov-Nadborny et *al.* 2018). Ces

impacts varient en fonction des pratiques et des techniques utilisées pour la trituration des olives.

Les margines sont bien connues pour leur teneur élevée en nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore et le potassium (NPK) (Ben Abbou et *al*. 2014), ce qui les rend particulièrement précieuses pour l'enrichissement des sols agricoles. Leur capacité à enrichir le sol avec ces nutriments offre une solution prometteuse, en particulier pour les cultures nécessitant un soutien nutritionnel substantiel. Dans ce contexte, l'utilisation des margines comme solution d'irrigation pour le sorgho - une culture résistante à l'aridité qui prospère avec une fertilisation adéquate - apparaît comme une possibilité intrigante. Bien que les margines soient acides, elles peuvent être ajustées et appliquées de manière à optimiser la croissance du sorgho. Le sorgho, de par sa nature rustique, peut tolérer les fluctuations du pH et utiliser efficacement les nutriments disponibles, ce qui pourrait augmenter ses rendements. Ce lien entre les margines et le sorgho offre de nouvelles possibilités de gestion durable des ressources tout en valorisant les sous-produits agricoles.

VIII.2. 2. Le sorgho

Plus de 300 millions de personnes vivant dans les régions tropicales semi-arides d'Afrique bénéficient du sorgho (CIRAD 2023), pour leur subsistance. Le sorgho est une plante annuelle, membre de la famille des poacées, qui se distingue par sa capacité exceptionnelle à résister à la sécheresse et à la chaleur extrêmes. En plus de sa résistance, il offre des avantages nutritionnels remarquables car il est riche en protéines, vitamines et minéraux, qui le rendent un pilier de l'alimentation des habitants locaux.

Le sorgho possède également des avantages pour la santé humaine, tels que sa richesse en antioxydants et en composés phytochimiques qui peuvent aider à prévenir les maladies cardiovasculaires et le cancer (Hadbaoui et M.YOUSF 2007). Le sorgho est utilisé dans de nombreuses pratiques traditionnelles et médicinales, ce qui le fait un aliment polyvalent. Sa durabilité et sa résistance aux maladies et aux ravageurs les en font une culture agricole particulièrement fiable (Chantereau et *al.* 2013).

Le sorgho est également apprécié pour son cycle de croissance court, qui lui permet de produire plusieurs récoltes annuelles avec peu d'intrants. Cette caractéristique est essentielle pour la sécurité alimentaire des personnes vivant dans les régions tropicales semi-arides (Hossain et *al.*

2022). En résumé, le sorgho est plus qu'une simple céréale : il joue un rôle important dans la subsistance et la santé pour des millions de personnes à travers le monde.

Nous avons constaté une croissance constante de l'intérêt pour cette plante au cours des vingt dernières années en analysant les publications en relation avec le mot "Sorghum" sur la base de données Scopus. Un nombre impressionnant de 22893 documents ont été trouvés, répartis sur divers domaines de recherche. Ces documents sont classés par pourcentage en fonction de leur domaine (fig. 4) : 44,1 % dans les sciences biologiques et agricoles ; 13,6 % en biochimie, génétique et biologie moléculaire et 10.1 % dans les sciences environnementales

L'étendue de l'intérêt du sorgho et la variété de ses aspects sont démontrées par cette diversité de domaines de recherche. Le sorgho est devenu populaire en raison de sa capacité à répondre aux besoins nutritionnels croissants à la suite de la croissance démographique mondiale ces dernières décennies, ainsi que de sa capacité à résister aux conditions climatiques extrêmes. En raison de sa résilience et de ses avantages nutritionnels, le sorgho est une plante très recherchée dans les régions semi-arides (Galassi et *al*. 2023).

Selon des études scientifiques, cette plante est très riche en protéines, vitamines, minéraux, fibres alimentaires, antioxydants et composés phytochimiques, qui ont des effets positifs sur la santé (Espitia-Hernández et *al*. 2020). De plus, le sorgho est une culture agricole est très adapté aux environnements semi-arides et résistant à la sécheresse et à la chaleur. Cette quantité

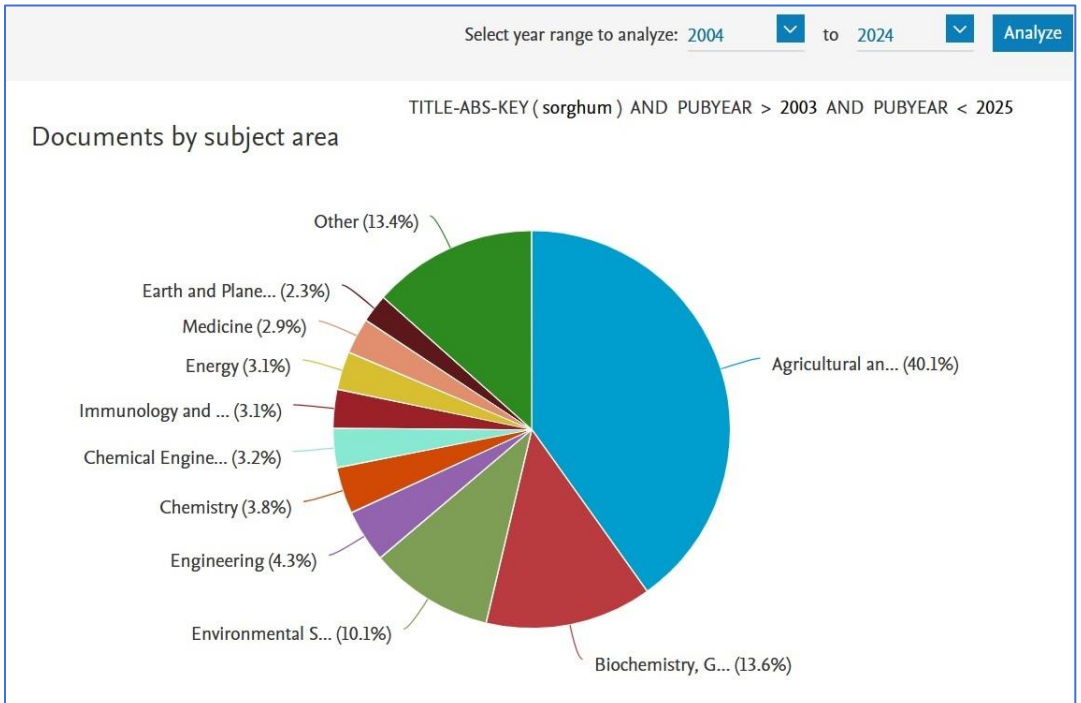

Figure 5. Documents en relation avec le mot « Sorghum » selon les champs de recherche

importante de publications scientifiques démontre l'importance du sorgho dans la recherche moderne et offre des perspectives prometteuses pour l'avenir de cette culture alimentaire cruciale.

Selon la classification élaborée par Doggett en 1988, le genre *Sorghum* est subdivisé en cinq sections (Doggett 1988). Et dans ce travail nous nous somme intéressé à l'espèce *Sorghum Bicolor*, car c'est l'espèce que les agriculteurs cultivent dans la région de Taza, Nord-Est du Maroc.

Bien que l'utilisation des marges pour irriguer le sorgho représente une méthode prometteuse pour tirer le meilleur parti de ces sous-produits agricoles, il est clair que les défis environnementaux spécifiques de Taza nécessitent des solutions innovantes supplémentaires. L'un des principaux problèmes est la gestion des déchets liquides urbains, qui contribuent de manière significative à la pollution des eaux de surface. À cet égard, l'utilisation d'aiguilles de pin d'Alep comme biomatériau adsorbant constitue une approche complémentaire intéressante. Cette méthode tire parti de l'abondance du pin d'Alep dans la région de Taza, offrant ainsi un moyen durable de lutter contre les polluants tout en minimisant les effets néfastes sur les forêts et les infrastructures d'assainissement.

VIII.2. 3. Le pin d'Alep

Le pin d'Alep (*Pinus halepensis*) est un conifère du genre Pinus appartenant à la famille des Pinacées. On le trouve essentiellement en Afrique du Nord et en Espagne (Assem et *al.* 2018). Il joue un rôle écologique et économique majeur dans les régions méditerranéennes de basses et de moyennes altitudes. De plus, cette espèce est bien adaptée aux conditions estivales sèches et colonisent avec succès les terres arables abandonnées et les zones brûlées (Deng et *al.* 2022).

Au Maroc, le pin d'Alep couvre une superficie de 65.000 hectares, répartie sur le versant méditerranéen du Rif, le moyen Atlas central et certaines vallées du Haut-Atlas (Assem et *al.* 2018). Au niveau du moyen Atlas, en particulier au sud-ouest de la ville de Taza –Région Fès-Meknès-Maroc, est situé le parc national de Tazekka (créé en 1950) qui abrite plusieurs espèces floristiques y compris le pin d'Alep. En effet, le pin de Tazekka est la plante résineuse la plus répandu et la plus connu sur tout le contour méditerranéen (Barbéro et *al.* 1998).

Plusieurs dérivés issus du pin d'Alep, sont utilisés comme matières premières dans différents domaines. Par exemple, la résine est utilisée pour fabriquer des peintures, des parfums pour les

produits d'entretiens, l'industrie pharmaceutique et des caoutchoucs. Les pignons sont utilisés dans le domaine culinaire. En effet, il entre dans de nombreuses recettes méditerranéennes (Assem et *al.* 2018). Alors que le bois est de mauvaise qualité (abondance de nœuds, mauvaise forme du fut, faible durabilité naturelle, poche de résine etc.), souvent utilisé dans le domaine de construction et comme source d'énergie par la population locale. Ce dernier usage peut être performé par la fabrication des palettes et de granulés (Elaieb et *al*. 2019). En plus, Des matières carbonées actives (AC-PW) et inactives (C-PW) ont été préparées à partir de la coquille de fruit du pin du Brésil et utilisées comme adsorbants pour les réactifs orange de décoloration 16 (RO-16) pour les effluents aqueux, (Calvete et *al.* 2010). La valeur des déchets de sciure de pin et du charbon de bois de sciure de pin, autrefois utilisés comme adsorbants pour Ni(II), Zn(II), Cd(II) et leurs mélanges dans la fabrication de briques d'argile poreuse, un type de brique important pour leur légèreté et mélanges, (Simón et *al.* 2021). On trouve aussi l'utilisation de l'écorce de pin d'Alep dans les formulations de colles pour bois, (Saad et *al*. 2014).

Tandis que les aiguilles persistantes des pins d'Alep ne sont pas exploitées. Leur présence en grande qualité constitue un risque accru d'incendies de forêt, surtout en période de sécheresse (Balaguer-Romano et *al.* 2020). Ainsi, la gestion appropriée de ces aiguilles devient essentielle pour atténuer ces risques. Des mesures de gestion des déchets forestiers, telles que l'élimination adéquate des aiguilles sèches, peuvent contribuer à réduire le potentiel combustible. Ces actions peuvent inclure des pratiques comme le débroussaillage, le nettoyage régulier des zones à risque, et même des approches novatrices telles que la production de biomatériaux aux usages variés, y compris le traitement des eaux usées.

Conclusion

A travers la synthèse bibliographique, nous avons constaté qu'il y a une détérioration de la qualité des eaux de surface qui est le résultat de divers facteurs, notamment l'impact du changement climatique, la surexploitation des ressources en eau et la pollution. Ces éléments ont des conséquences significatives sur la santé humaine et l'environnement.

Pour faire face à ces défis, des stratégies de gestion des eaux ont été développées à l'échelle nationale et internationale. Au Maroc, le contexte juridique régissant les eaux de surface joue un rôle crucial dans la protection de ces ressources en développant des systèmes de leur évaluation et leur surveillance.

Un outil essentiel dans cette démarche est le Système d'Évaluation de la Qualité des Eaux de Surface (SEQ-Eau), qui permet de surveiller et d'analyser la qualité de l'eau. En outre, la gestion informatique et géographique des données est aussi devenue indispensable pour une gestion efficace et éclairée de ces précieuses ressources

Ensuite, des techniques de traitement des eaux usées sont mises en œuvre, comme l'utilisation des margines pour irriguer le sorgho, ce qui permet non seulement de recycler ce sous-produit, mais aussi d'enrichir le sol. Parallèlement, les aiguilles de pin d'Alep sont utilisées comme adsorbants naturels pour éliminer les polluants des eaux usées, améliorant ainsi la qualité des eaux de surface tout en utilisant les ressources locales.

Chapitre II : Approches méthodologiques

I. Introduction

La qualité des eaux de surface a un impact direct sur la santé publique et l'environnement, car ces eaux sont utilisées pour diverses activités humaines, telles que la production d'eau potable, l'irrigation des cultures, la pêche, les loisirs aquatiques, etc. La consommation d'eau contaminée peut causer de graves problèmes de santé, notamment des maladies diarrhéiques, des infections parasitaires, des maladies virales et des maladies d'origine bactérienne.

Dans ce chapitre, nous allons étudier la qualité des eaux de surface de la ville de Taza. Nous allons commencer par la détermination de la zone d'étude et la sélection des sites de prélèvement des échantillons d'eau de surface pour obtenir des échantillons représentatifs. Ensuite, Nous allons réaliser une caractérisation globale des eaux de surface en analysant différents paramètres tels que la température, le pH, la turbidité, les matières en suspension, les nutriments, les métaux lourds, les micro-organismes, etc., afin d'identifier les paramètres qui dépassent les normes marocaines de la qualité des eaux de surface. Après, nous allons également effectuer un suivi spatio-temporel de la qualité des eaux de surface pour comprendre les variations saisonnières et spatiales de la qualité de l'eau. Cela va nous permettre d'identifier les zones à risque élevé. Une fois la caractérisation et le suivi spatio-temporel de la qualité des eaux de surface est réalisée, nous allons procéder à une évaluation de la qualité globale des eaux de surface étudiées en utilisant la méthode SEQ-Eau. Cette méthode permet de synthétiser les données et d'avoir une note globale à la qualité de l'eau.

Enfin, Nous allons utiliser l'outil cartographique SIG pour visualiser la répartition géographique de la qualité globale des différents sites. Cette visualisation va nous permettre de mieux comprendre la répartition spatiale de la qualité de l'eau dans la zone étudiée.

II. Détermination de la zone d'étude

Le choix des points d'échantillonnage pour une étude environnementale est une étape cruciale pour obtenir des résultats fiables et représentatifs de la situation dans la zone d'étude. Pour cela, il est important de prendre en compte plusieurs facteurs tels que la localisation géographique, les activités industrielles et agricoles, ainsi que la densité de population.

Dans le cadre de notre étude environnementale, menée dans la région de Taza en collaboration avec la Régie Autonome de Distribution de l'Eau et de l'Électricité de Taza (RADEETA), nous avons choisi les points d'échantillonnage en se basant sur les concertations faites avec les organisations concernées.

En effet, nous avons organisé plusieurs réunions avec les autorités locales, la Chambre de Commerce, d'Industrie et de Services de Taza, l'Agence du Bassin Hydraulique Sebou (ABHS), l'Agence Urbaine de Taza, le Haut-Commissariat au Plan ainsi que le département d'exploitation des Eaux et Assainissement de la RADEETA. Nous avons également consulté l'Office National de l'Eau et de l'Électricité (ONEE) pour échanger sur les différents aspects de l'étude.

Ces concertations nous ont permis de mieux comprendre les enjeux environnementaux de la région et d'identifier les zones les plus susceptibles d'être affectées par les activités humaines. Nous avons ainsi choisi les points d'échantillonnage en nous basant sur les données fournies par ces organisations et en prenant en compte les facteurs mentionnés précédemment.

Par ailleurs, nous avons également pris en compte les travaux réalisés par Ben Abbou et *al* réalisés en 2014, qui ont mis en évidence les zones les plus contaminées de la région de Taza. Ces travaux ont été utiles pour orienter notre choix des points d'échantillonnage en fonction des polluants identifiés dans leur étude.

En somme, le choix des points d'échantillonnage pour une étude environnementale doit se faire en concertation avec les organisations concernées et en prenant en compte les travaux antérieurs dans la zone d'étude pour assurer la fiabilité des résultats. Les données fournies par ces organisations et ces travaux préalables permettent de mieux comprendre les enjeux environnementaux de la zone d'étude et de sélectionner les points d'échantillonnage les plus pertinents pour obtenir des résultats représentatifs.

III. Méthodes d'échantillonnage et d'analyses physicochimiques et bactériologiques

III. 1 Échantillonnage

Afin de réaliser une évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de surface de la ville de Taza, nous avons utilisé une méthode d'échantillonnage composite spatiale et indépendante. Cette technique consiste à mélanger des échantillons prélevés en trois points ou plus répartis de manière égale sur la zone à caractériser, pour ensuite étudier les volumes d'eau ainsi obtenus en fonction du profil transversal du cours d'eau concerné. Nous avons suivi les normes AFNOR édictées par Rodier pour mener à bien cette opération (Rodier et *al.* 2016).

Le nombre de prélèvements d'eau réalisés dans ce cas est justifié par plusieurs raisons importantes. Tout d'abord, l'utilisation de l'eau dans l'irrigation des produits maraîchers peut constituer une source d'éclosion de maladies à transmission hydrique, ce qui souligne l'importance de surveiller régulièrement la qualité de l'eau destinée à cette utilisation.

Ensuite, l'arrêté conjoint n° 1276-01 du 17 octobre 2002 qui fixe les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation, et exige un nombre minimal de prélèvements annuels de l'ordre de 6. Nous avons réalisé une campagne par deux mois de prélèvement d'eau sur tous les sites d'échantillonnage entre février 2021 et janvier 2022 pour respecter ces exigences réglementaires.

Enfin, les conditions hydrologiques stables dans lesquelles les échantillons ont été prélevés garantissent la fiabilité des résultats obtenus. L'utilisation des normes AFNOR édictées par Rodier (Rodier et *al*. 2016) pour le prélèvement et la conservation des échantillons assure une méthodologie rigoureuse et standardisée.

III. 2 Description des techniques analytiques

III.2. 1 Paramètres physicochimiques

Les tests ont été réalisés selon les méthodes décrites par Rodier et *al*. 2016. Les mesures des paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous et conductivité électrique (CE)) ont été réalisées in situ avec une multisondes qui ont été calibrés avant chaque campagne, la turbidité avec un turbidimètre, et l'oxygène dissous par un oxymètre (Tableau 4).

Les analyses chimiques portant sur les paramètres suivants : Demande biologique en oxygène (DBO_5), Démence chimique en oxygène (DCO), Azote Kjeldahl (NTK), Phosphore total (Pt), Orthophosphates (PO_4^{3-}), ammonium (NH_4^+), nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-) , et sulfates (SO_4^{2-}) sont réalisés selon les normes AFNOR fixées par Rodier. Les éléments minéraux comme fer, cadmium, chrome, aluminium, arsenic et le plomb ont été analysés par Spectrométrie d'émission atomique Couplée à un Plasma Induit (ICP AES) Ultima 2 – *JobinYvon*.

Tableau 4. Méthodes d'analyses des différents paramètres chimiques des eaux de surface de la ville de Taza (Rodier et al. 2016)

Paramètres physico-chimiques	**Méthode / Appareillage**	**Unité**
Conductivité (χ)	CONSORT – Modèle C535 Portable	$\mu s.cm^{-2}$
pH	CONSORT – Modèle C535 Portable	_____
Température (T°)	CONSORT – Modèle C535 Portable	° C
Oxygène dissous (O_2)	Oxymètre HANNA-Model HI98196	mg d'O_2.L^{-1}
Turbidité	Turbidimètre Type HACH-Modèle 2100P	NTU
DBO_5	DBO mètre Système Velp capteur de pression 6D gamme PV2000	mg d'O_2.L^{-1}
DCO	NF T90-101. Oxydation de la matière organique par le bichromate de potassium, oxydant fort/ Distillateur "PRO-NITRO M", "PRO-NITRO S" Semi-automatique et "PRO-NITRO A" Automatique	mg d'O_2.L^{-1}
Phosphore Total (P_t)	NF 11 885, Analyse par Spectrométrie d'émission atomique Couplée à un Plasma Induit (ICP AES) Ultima 2 – JobinYvon, après minéralisation des échantillons d'eau à analyser	mg.L^{-1}
Orthophosphates (PO_4^{3-})	NF EN ISO 6878, Méthode spectrophotométrique au molybdate d'ammonium	mg.L^{-1}
Nitrates (NO_3^-)	NFT 90-040, Méthode spectrométrique UV- visible au salicylate de sodium	mg.L^{-1}
Ammonium (NH_4^+)	NF EN ISO 15587-2/NF EN ISO 11885, Dosage par la méthode colorimétrique avec le salicylate / spectromètre UV-visible automatique	mg.L^{-1}
Sulfates (SO_4^{2-})	NM ISO 9280 (2000), Dosage des ions sulfates – Méthode gravimétrique	mg.L^{-1}
Azote Kjeldahl (NTK)	Distillateur Kjeldhal"PRO-NITRO, Dosage de l'azote Kjeldhal 4002430 : méthode après minéralisation au sélénium pour transformer l'azote organique en ammonium indice de classement T90110.	mg.L^{-1}
Analyse des métaux (As, Cr, Pb, Cd)	NF 11 885, Analyse par Spectrométrie d'émission atomique Couplée à un Plasma Induit (ICP AES) Ultima 2 – JobinYvon	mg. L^{-1}

III.2. 2 Paramètres bactériologiques

Les bactéries indicatrices de contamination fécale, à savoir les coliformes fécaux (CF), l'Escherichia coli (EC) et l'Entérocoque Intestinal (EI), ont été quantifiées par la méthode de fermentation en tubes multiples MPN, en utilisant des tables statistiques spéciales développées par Mac Crady (Edberg, Allen, et Smith 1988; Rodier et *al.* 2016). Les prélèvements d'eau pour les analyses bactériologiques ont été effectués conformément au protocole suivant : les échantillons ont été prélevés à l'aide de flacons en verre borosilicaté préalablement nettoyés à l'eau distillée, stérilisés dans un autoclave à 120°C et sous pression à 120 kg/cm^2 pendant 30 minutes. Les échantillons ont ensuite été stockés dans des flacons de 500 mL et étiquetés, puis conservés à une température comprise entre 0 et 4°C dans une glacière. Les échantillons ont été analysés conformément à la norme marocaine NM 03-7-003 modifiée. Les fiches d'échantillonnage ont été utilisées pour noter les informations sur le site d'échantillonnage, la date et les conditions sanitaires du site.

La méthode indirecte de fermentation en tubes multiples dans un bouillon lactosé a été utilisée pour dénombrer les Coliformes Fécaux (CF), les Coliformes Totaux (*Escherichia coli*) (CT) et les Entérocoques Intestinaux (EI). Le nombre a été déduit statistiquement en utilisant la méthode du nombre le plus probable selon (Rodier et *al*. 2016) (Tableau 5)

Tableau 5. Description des conditions d'incubation des paramètres bactériologiques étudiés pour les eaux de surface de la ville de Taza

Germes	Milieux utilises	Température/ durée d'incubation	Références
CT (coliformes totaux)	Bouillon lauryl sulfate de tryptose Bouillon lactosé bilié au vert brillant	37°c ± 1 °C/48 h	Nm 03.7.060 (2012)
CF (Escherichia coli)	Bouillon lauryl sulfate de tryptose	44°c ± 0.5 °C / 48 h	Nm 03.7.060 (2012)
	Ec medium	44°c + 0.5 °C/24 h	
EI (entérocoques intestinaux)	Bouillon glucose a l'azoture	37°c + 1 °C/48 h	Nm 03.7.252 (2012)

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

Ce type d'étude est confronté au défi de générer des données riches en big data mais pauvres en informations, ce qui rend leur interprétation très difficile. Pour résoudre ce problème, plusieurs chercheurs ont proposé différentes méthodes, notamment la technique de couplage des Systèmes d'Évaluation de la Qualité de l'Eau (SEQ) et de l'Information Géographique (SIG) pour faciliter l'interprétation des informations sur la qualité de l'eau (El Madani et *al*. 2019; Idrissi 2018). D'autres ont suggéré un nouvel indice de qualité des eaux fluviales basé sur la logique floue, en combinant des

seuils prédéfinis d'indicateurs de qualité extraits des législations marocaine et québécoise sur l'eau (Mourhir et *al.* 2014). D'autres ont utilisé l'analyse par composante principale pour étudier les corrélations possibles entre les différents paramètres (Jo et Kwon 2023; Karangoda et Nanayakkara 2023).

Enfin, une autre méthode populaire est basée sur le calcul de l'Indice de Qualité des Eaux (IQE) (Jo et Kwon 2023), qui évalue la qualité globale de l'eau en fonction de plusieurs paramètres tels que la turbidité, la conductivité, le pH, la demande chimique en oxygène, les nitrates et les phosphates.

Cependant, l'approche de système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ) (El Madani et *al*. 2019) basée sur l'Indice de Qualité Pondéré (IQP) et sur l'Indice d'Altération (IA) est une méthode couramment utilisée qui permet de déterminer la qualité globale de l'eau et d'identifier les divers types de dégradation de la qualité de l'eau. Cette méthode regroupe les paramètres de même nature ou de même effet sur l'aptitude de l'eau à la biologie et aux usages en 16 altérations de la qualité de l'eau, telles que les matières organiques et oxydables, les matières azotées, les matières phosphatées, les éléments traces métalliques, etc.

La SEQ est constituée de trois outils sur la base des paramètres qui composent les altérations :

1. Classes d'aptitude de l'eau aux usages et à la qualité de l'eau,
2. Classes et indices d'aptitudes à la biologie,
3. Classes et indices d'altération range la qualité de l'eau en excellente, bonne moyenne, mauvaise ou très mauvaise (Tableau 6).

Tableau 6. Classes de qualité des eaux par indice d'altération

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

Le processus de cette démarche se divise en quatre étapes bien distinctes.

1- La définition des altérations.
2- L'identification de l'indice pondéré de chaque paramètre (IPpa).
3- Le calculer de l'indice pondéré pour chaque altération.
4- L'évaluation de l'indice pondéré de qualité globale (IPQG).

Dans notre cas, nous avons pris en compte dix altérations à partir des paramètres les plus recommandés, comme mentionné dans le rapport du SEEE en 2008. Les dix altérations retenues sont la température, l'acidification évaluée par le paramètre pH, les matières organiques et oxydables

comprenant l'oxygène dissous, la DBO_5, la DCO et les ions ammonium, les matières azotées représentées par l'azote Kjeldahl (NTK), la minéralisation estimée par la conductivité électrique, les particules en suspension évaluées par la turbidité, les microorganismes représentés par les coliformes fécaux (CF), et les éléments traces métalliques regroupant six métaux, à savoir Cd, Cr, As, Zn, Pb et Ni (SEEE, 2008) (Annexe1).

Les différents types de pollution de l'eau sont caractérisés par des groupes de paramètres de même nature et sont utilisés pour évaluer la qualité de l'eau. Les valeurs des paramètres sont obtenues par des prélèvements sur les cinq oueds étudiés. Pour calculer l'indice d'une altération, la moyenne des valeurs pondérées des paramètres caractérisant cette altération est utilisée. Chaque classe de qualité est définie par un ensemble de valeurs seuils que les paramètres des différentes altérations ne doivent pas dépasser. L'indice pondéré de qualité globale (IPQG) de chaque site est défini en choisissant l'indice d'altération le plus bas parmi l'ensemble des altérations considérées, et est associé à une classe de qualité appropriée dans la grille d'évaluation de la qualité globale des eaux superficielles (Annexe 1). Le calcul de l'indice pondéré est effectué en attribuant un poids variable compris entre 0 et 100 aux différents paramètres physico-chimiques, bactériologiques et métalliques analysés, selon leur priorité dans la pollution de l'eau (équation 1) (El Madani et *al*. 2019).

$$\boldsymbol{IP_{pa} = Ii + [(Is - Ii)/(bs - bi)] * (bs - Pa)} \text{ (eq1)}$$

Avec :

– Ii : Indice inférieur

– Is : Indice supérieur

– bi : Borne inférieure

– bs : Borne supérieure

– Pa : Paramètre analysé

Dans notre étude nous avons procédé à un couplage entre le SIG et le SEQ-eau, méthode innovante qui permet de regrouper les avantages des deux outils, pour une évaluation plus précise et plus complète de la qualité des eaux de surface. En effet, le SIG permet une meilleure visualisation des données géospatiales et une gestion plus efficace des informations collectées sur le terrain. Tandis que le SEQ-eau, basé sur l'Indice de la Qualité Pondérée et l'indice d'Altération, fournissent :

- Une évaluation quantitative de la qualité des eaux ;
- Une analyse plus fine des données via des cartes thématiques qui présentent les différents niveaux de dégradation de la qualité de l'eau ;
- Les sites les plus impactés par la pollution, indiquant ainsi sur l'orientation des actions de protection et de réhabilitation des ressources en eau ;

- La facilité de collecte des données sur le terrain via des outils géospatiales tels que les GPS et les applications mobiles de collecte de données. Ces outils permettent une collecte plus rapide et plus précise des données géographiques sur les sites étudiés.

V. Méthodes d'analyses informatiques

V. 1 Système d'Information Géographique

Dans notre étude, nous avons utilisé des cartes thématiques SIG pour représenter les résultats de l'évaluation spatiotemporelle des eaux de surface. Ces cartes ont permis de localiser géographiquement les principaux problèmes de qualité de l'eau et de prévalence des maladies à transmission hydrique dans les sites d'échantillonnage. Pour exploiter ces résultats, nous avons rassemblé les données dans un tableau Excel, qui a ensuite été converti en fichier CSV pour être utilisé dans le logiciel QGIS 3.22.

Pour afficher les données sur une carte, nous avons dû convertir les coordonnées géographiques qui étaient dans le format DMS en format DD. Cette conversion a été réalisée à l'aide de fonctions de calcul dans le logiciel QGIS. La conversion des unités DMS en DD nous a permis de localiser précisément chaque point d'échantillonnage sur une carte.

Pour convertir les coordonnées de Taza (Latitude 34° 13' 22" N et longitude 4° 00' 59" O) de l'unité DMS à l'unité DD, nous avons appliqué la formule de conversion :

- DD = D + (M/60) + (S/3600), où D représente le nombre de degrés, M représente le nombre de minutes et S représente le nombre de secondes.
- Si la direction est Nord ou Est, le résultat est positif. Si la direction est Sud ou Ouest, le résultat est négatif.

En utilisant cette formule, nous avons converti les coordonnées géographiques de Taza de l'unité DMS à l'unité DD. Les coordonnées géographiques de Taza en unité DD sont les suivantes :

- Latitude : 34.2228° N (34 + (13/60) + (22/3600) = 34.2228)
- Longitude : - 4.0164° W (-(4 + (0/60) + (59/3600)) = - 4.0164)

Nous avons ensuite utilisé Google Maps pour superposer les données géoréférencées sur un fond cartographique, créant ainsi des cartes thématiques contenant des informations précieuses pour notre analyse. L'analyse et l'interprétation de ces cartes nous ont permis de comprendre les relations géographiques entre différents facteurs, tels que les variations de la qualité de l'eau ou la prévalence des maladies à transmission hydriques. En fin de compte, la superposition des données géoréférencées

sur une carte est une étape cruciale pour l'analyse et l'interprétation des données de manière géographique dans notre projet.

V. 2 Analyse de la variance ANOVA

L'analyse de la variance ANOVA a été réalisé par le logiciel IBM SPSS (*Statistical Package for Social Sciences*) ; largement utilisé dans le domaine de l'analyse statistique. Il est utilisé pour effectuer une variété d'analyses, y compris l'analyse de variance (ANOVA), qui est une technique statistique utilisée pour évaluer si les moyennes de deux ou plusieurs groupes sont significativement différentes les unes des autres.

Pour effectuer une analyse ANOVA dans IBM SPSS (Pallant 2020), les étapes suivantes doivent être suivies :

- Importation des données : Les données doivent être importées dans le logiciel IBM SPSS. Elles peuvent être de sources différentes telles que des fichiers Excel, des fichiers CSV, des fichiers texte, etc.
- Création des variables : Les variables doivent être créées dans le logiciel IBM SPSS pour chaque facteur que l'on souhaite inclure dans l'analyse ANOVA. Les variables sont des caractéristiques des données telles que l'âge, le sexe, la taille, etc.
- Sélection de l'option ANOVA : Pour effectuer une analyse ANOVA dans IBM SPSS, l'option ANOVA doit être sélectionnée dans la liste des analyses disponibles.
- Configuration de l'analyse : Après avoir sélectionné l'option ANOVA, il est nécessaire de configurer l'analyse en fonction des besoins spécifiques. Cela peut inclure la sélection de la variable dépendante et indépendantes, la spécification du modèle, le choix de la méthode d'analyse, etc.
- Exécution de l'analyse : Une fois que l'analyse est configurée, il suffit de cliquer sur le bouton "Exécuter" pour lancer l'analyse ANOVA.
- Interprétation des résultats : Après avoir exécuté l'analyse ANOVA, les résultats doivent être interprétés pour tirer des conclusions. Les résultats comprennent des statistiques telles que la somme des carrés, les degrés de liberté, la moyenne carrée, le F-statistique, la valeur p, etc.

VI. Solutions intégrées pour la remédiation des eaux de surface de la ville de Taza

Notre contribution à la remédiation des eaux de surface de la ville suggère la valorisation de deux déchets, les margines et les aiguilles de pin d'Alep. En effet, les margines, eaux usées des unités de trituration des huiles d'olive, représentent près de 90% des eaux usées de la ville (L'agence urbaine de Taza 2014), leur exploitation comme fertilisant d'une culture adaptée aux conditions locales ; le

sorgho sera une solution durable. La culture du sorgho été choisi du fait qu'il est une denrée alimentaire largement consommée dans la région de Taza et au Maroc en général (Mekki 2006). En plus de sa valeur nutritionnelle, le sorgho présente l'avantage d'être capable de s'adapter à des conditions de stress hydrique et salin, ce qui en fait une culture idéale pour la région qui subit des épisodes de sécheresse et une baisse du niveau piézométrique.

Par ailleurs, la recherche d'un matériau adsorbant ou filtrant permettant de traiter les polluants de l'eau avant leur rejet dans les cours d'eau de la ville réduira leur charge polluante, leur impact sur la santé et les eaux de surface, et les frais de leur gestion. Le choix a été fait sur les aiguilles de pin d'Alep qui jonchent le sol du parc Tazekka à Taza (Abdelmajid et *al*. 2012). Ces aiguilles sont très abondantes et peuvent être une source de déclenchement des incendies de forêts (Balaguer-Romano et *al*. 2020 ; HANCHANE et IDRISSIA 2012), ce qui rend leur valorisation d'autant plus importante. Nous avons donc entrepris une caractérisation de la poudre issue de ces aiguilles afin d'évaluer ses caractéristiques d'un matériau adsorbant, et son pouvoir adsorbant.

VI. 1 Exploitation des margines comme fertilisant de la culture de sorgho

VI. 1 . 1 Les margines

Les margines ont été prélevées d'un réservoir de stockage situé à Tahla (province de Taza) (Figure 6). Elles ont été conservées à 4 °C et transportées au laboratoire selon les normes AFNOR, fixées par Rodier (Rodier, J. 2009).

Les échantillons des margines ont été caractérisés par mesure des paramètres physico-chimiques : pH, conductivité χ, salinité, humidité, densité, matière organique et inorganique, carbone organique total (COT), Demande chimique en oxygène (DCO), Demande biologique en oxygène (DBO_5), ions sodium (Na^+), potassium (K^+) et orthophosphates (PO_4^{3-}), selon les normes AFNOR.

Le pH et la conductivité électrique (CE) ont été mesurés en utilisant un modèle d'analyseur multiparamètres de type Consort-C535. La DBO_5 a été déterminée par OxiTop® IS 6 et la DCO par oxydation en milieu acide par un excès de dichromate de potassium à la température de 148 °C, en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure.

Les ions chlorure et calcium ont été estimés par la méthode volumétrique et les orthophosphates par spectrophotomètre à absorption moléculaire. Les ions sodium et potassium ont été mesurés par spectrophotomètre à flamme.



Figure 6. Zone de prélèvement des margines après décantation

VI. 1 . 2 Le Sorgho

Les semences que nous avons utilisé, ont été fournies par des pépinières locales. Nous les avons semé dans quatre parcelles de 1 m^2.

VI. 1 . 3 Amendement par les margines

Les margines ont été utilisées comme fertilisant du sorgho. L'enrichissement du sol a débuté à partir du 14ième jour après l'ensemencement et il a duré 6 semaines à raison de 5 L/semaine/m^2, en testant 3 concentrations : brute ; 1⁄2 et 1⁄4.

Quatre parcelles de 1 m^2 ont été semées (figure 7) dans un champ ouvert situé à Taza. Trois de ces parcelles ont été irriguées chacune avec une concentration et une avec de l'eau qui nous a servi de témoin.



Figure 7. Parcelles du sorgho

VI. 1 . 4 Méthodes de suivi de la croissance du Sorgho :

Le suivi de la croissance du Sorgho a eu lieu par mesure de plusieurs paramètres physiologiques : La photosynthèse (A), la transpiration (E), la conductance stomatique (Gs) et l'efficience du photosystème II (Fv/Fm), en fonction du temps et de la température ambiante. Les paramètres A, E et Gs ont été déterminées à l'aide d'un système portable d'analyse LCi (figure 8). En choisissant les feuilles qui ont la même altitude.



Figure 8. Mesure de l'absorbance de CO_2(A) ; la transpiration (E) et la conductance stomatique (Gs) par l'appareil LCi

Alors que l'efficience du photosystème II (Fv/Fm) (Cornic et Massacci 1996) a été mesuré à l'aide d'un Fluorimètre (type OSI 30 P) (Figure 9). Cette mesure indique sur l'état de la première phase de la photosynthèse. Il est donc permis de considérer la fluorimétrie comme un indicateur précis de l'état de la première phase de la photosynthèse, à savoir le piégeage de la lumière, le transfert de l'énergie d'excitation au niveau des chlorophylles et l'émission d'électrons par le PSII. Ces réactions sont sensibles aux conditions environnementales (stress nutritionnel ou hydrique), et la moindre perturbation est détectée par la fluorimétrie (Bilger, Schreiber, et Bock 1995). Ce paramètre est évalué par l'expression $F_v = F_m - F_0$ pour laquelle :

- F_m représente la fluorescence maximale, où tous les centres réactionnels du PSII sont fermés. Il s'agit de la fluorescence maximale à l'état adapté à l'obscurité.
- F_0 représente la fluorescence à l'état initial où tous les centres réactionnels du PSII sont ouverts (quinones oxydées). Il s'agit de la fluorescence minimale à l'état adapté à l'obscurité. La valeur prise en compte est obtenue par extrapolation à partir de la valeur F_{50} µs mesurée (Denden et *al*. 2005).



Figure 9. Mesure de l'efficience du photosystème II par le Fluorimètre

VI. 2 Elaboration d'un adsorbant à base des aiguilles de pin d'Alep (P.A)

VI. 2. 1. Caractérisation de la poudre des aiguilles de pin d'Alep (adsorbant)

VI. 2.1. 1 Approvisionnement du matériel végétal

Dans ce travail, le matériel végétal aiguilles d'arbre pin d'Alep (P.A) (Figure 11C) sont cueillies au printemps, du parc Tazekka, à Taza-Région Fès-Meknès (Figure10). Cette région est classée dans la catégorie des climats méditerranéens chauds et estivaux selon la classification climatique de Koppen-Geiger. Les précipitations annuelles moyennes sont de 563 mm et la température annuelle moyenne est de 17,9 °C/64,3 °F (Mahmoud et *al.* 2021).

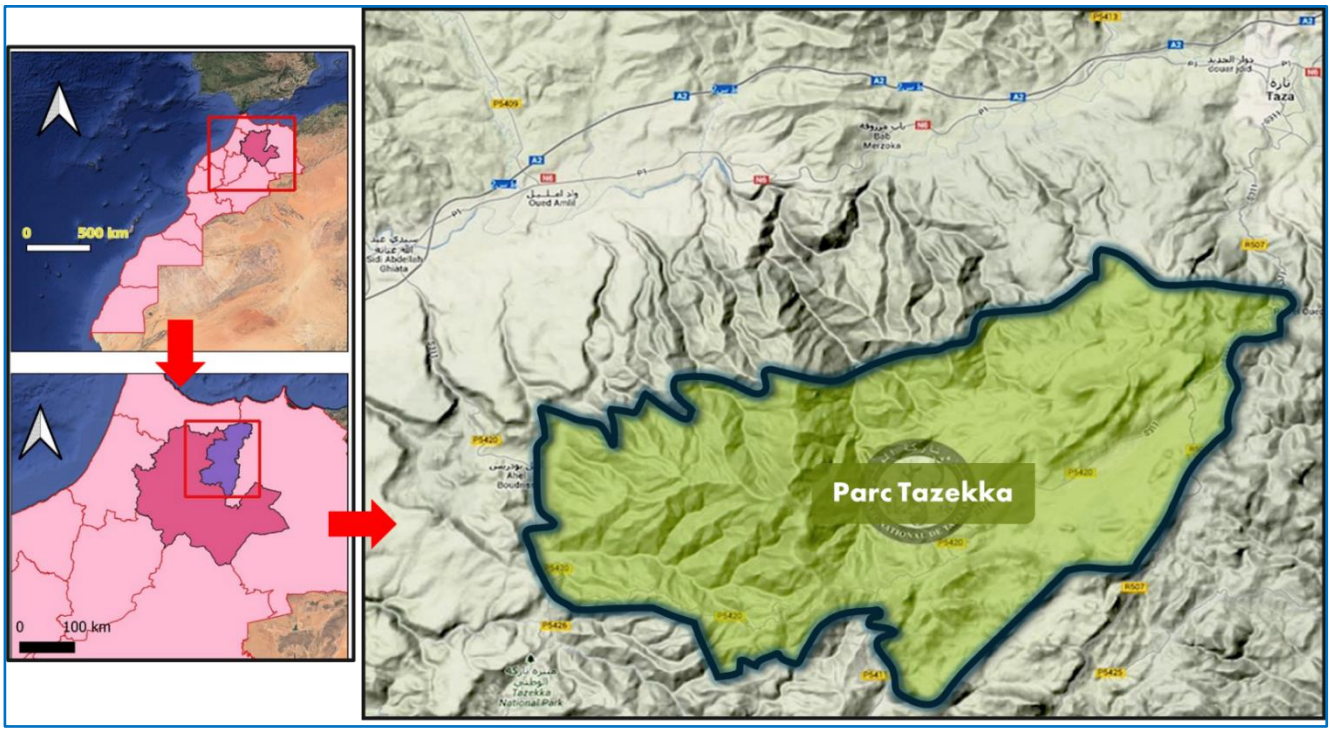

Figure 10. Localisation géographique du Parc Tazekka

VI. 2.1. 2 Préparation physique du biomatériau (adsorbant)

Les aiguilles de pin d'Alep (P.A) (Figure 11B) ont été séchées à l'air libre pendant une semaine puis dans l'étuve à 37°C, découpées manuellement puis broyées à l'aide d'un mixeur jusqu'à une granulométrie inférieure à 1mm. La poudre obtenue (Figure 11A), tamisée par un tamis de diamètre de maille égale à 1 mm, constitue la biomatériau étudiés (P.A)



Figure 11 Préparation du biomatériau (Pin d'Alep). A : Biomatériau : Pin d'Alep ; B : Aiguilles de pin d'Alep ; C : Poudre tamisé

VI. 2.1. 3 Caractérisation du biomatériau (P.A)

❖ *Analyse physico-chimique*

Le matériau P.A a été caractérisé par mesure des paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique CE, densité, matière organique CO, azote total Kjeldahl NTK, Phosphore, quelques éléments métalliques ; Fe, Mn, Mg, …).

Le taux d'humification a été effectué conformément à la norme *ISO 11465* (1993). Le potentiel d'hydrogène a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de type *HANNA*. La solution de mesure de la conductivité électrique a été préparée conformément à la norme *ISO10390* (2005). Un conductimètre *HANNA* EC 214 a été exploité pour effectuer cette mesure. L'évaluation de la densité a été réalisée à l'aide d'un pycnomètre conformément à la norme *ISO* 18753-2017. La matière organique a été analysée par calcination dans un four à moufle de type *Barnstead Thermolyne* à 1400°C selon la méthode *walkley* en utilisant la norme *ISO* 14235-1998. Selon la norme NF EN 13039-2011, le carbone organique total et la matière minérale ont été déduits de la matière organique. Selon la norme *ISO* 11261-1995, l'azote total *Kjeldahl* (TKN) a été déterminé à l'aide d'un distillateur type Selecta *Nitro-Pro*. Après avoir minéralisé l'échantillon solide pour le mettre en solution, la technique à plasma à couplage inductif (ICP-AES) a été utilisée pour analyser les éléments métalliques.

Le point de charge zéro (PCZ) a été déterminé en utilisant la méthode d'addition solide (Stadnik et *al*. 2023). Cette approche implique l'agitation de 5 g de biomatériau dans 150 ml de solution de NaCl

(0,05 M) pendant 48 heures, tandis que le pH initial (pH_i) est ajusté à l'aide de HCl ou KOH (0,1 M). Après la décantation, la valeur finale du pH (pH_f) du surnageant est mesurée. La différence entre les valeurs de pH initiales et finales par rapport à pH_i est représentée sous la forme d'une courbe ($\Delta pH = pHi - pH_f$). Le pH du point de charge zéro du PZC est identifié comme l'intersection des courbes résultantes où $\Delta pH = 0$.

Quant à la surface spécifique du biomatériau P.A, nous l'avons réalisée à l'aide de la méthode d'adsorption au bleu de méthylène (Kifuani et *al*. 2018). L'évaluation de la surface spécifique SL est obtenue à partir de la capacité d'adsorption maximale QmL (mg/g) en utilisant l'équation suivante (Eq. 2) : $$SL = QmL \times SBM \times NA \quad \text{(eq. 2)}$$

Où :

$SBM = 175.10^{-20}\, m^2$: Représente la surface occupée par une molécule de bleu de méthylène,

$NA = 6.022.10^{23}\, mol^{-1}$: Est le nombre d'Avogadro.

❖ *Analyses Spectroscopiques du biomatériau P.A*

Ces analyses comprennent la Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR), réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre FTIR Bruker (modèle Vertex 70, Allemagne), afin de déterminer les groupes fonctionnels (Sulejmanović et *al*. 2023), et la diffraction des rayons X (XRD) effectuée avec un diffractomètre X-ray PAN-CriticalX'Pert Pro équipé d'une source de rayons X Cu-Kα monochromatique (1,54 Å), dans le but d'identifier les phases cristallines présentes dans le APA. De plus, la microscopie électronique à balayage couplée à une sonde EDX (MEB-EDX), modèle QUANTA 200, a été utilisée pour étudier la morphologie de surface du biomatériau P.A.

VI. 2. 2. Caractérisation des eaux usées déversées dans les eaux de surface

VI. 2.2. 1 Echantillonnage

Les eaux usées ont été prélevées à partir de 4 points de rejets des eaux usées qui se trouvent au niveau des trois 4 points déterminés précédemment (O1, O2, O3 et O4), nous avons effectué 4 prélèvement (en mois de février) en utilisant la méthode d'échantillonnage composite et en suivant les normes AFNOR édictées par Rodier et *al.* 2016.

VI. 2.2. 1 *Détermination de la charge organique des eaux usées déversées dans les eaux de surface (DCO)*

Dans notre cas, l'étude porte sur le traitement des eaux usées déversées dans les eaux de surface de la ville de Taza, en utilisant l'adsorbant préparé (P.A). Pour évaluer l'efficacité du traitement, nous avons mesuré la DCO du filtrat conformément à la norme NF T-90-101.

Le processus d'adsorption commence par déterminer le temps de réaction optimal, correspondant à la meilleure élimination de la matière organique en termes de DCO. Ensuite, à ce moment défini par l'étude cinétique, nous avons varié les paramètres influant sur la capacité d'adsorption des polluants sur l'adsorbant. Enfin, nous avons étudié les isothermes d'adsorption.

VI. 2. 3. Mise en œuvre du phénomène d'adsorption

VI. 2.3. 1 Cinétique d'adsorption

L'étude cinétique a été réalisée pour les quatre prélèvements en mettant en suspension 0.1 g de P.A dans 100 mL des eaux usées prélevées, avec la valeur de DCO initiale des points O1, O2, O3 et O4 de 2696.44 mg(O_2) /L, 3022,87 mg(O_2) /L, 1753,69 mg(O_2) /L et 3947,52 mg(O_2) /L successivement. Le mélange a été soumis à une agitation constante de 300 rpm, à température ambiante et à pH de 7,84. Différents échantillons ont été prélevés à différents moments. La DCO des échantillons a été ensuite mesurée. La capacité d'adsorption des de la matière organique par le biomatériau P.A a été calculée selon l'équation 3 (Vedula et Yadav 2022) :

$$Q_t = \frac{(C_i - C_t) \times V}{m} \qquad \text{(eq3)}$$

Où Ci (mg/L) représente la DCO initiale, Ct (mg/L) est la DCO au temps t, V (L) est le volume de la solution, et m (g) est la masse de l'adsorbant.

Les résultats de l'étude cinétique ont été analysés en utilisant les modèles du pseudo-premier ordre (équation 4) ou du pseudo-deuxième ordre (équation 5).

$$ln(q_e - q_t) = ln(q_e) - k_1 t \qquad \text{(eq4)}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 {q_e}^2} + \frac{1}{q_t} \qquad \text{(eq5)}$$

Où q_e et q_t représentent respectivement la quantité de matériau adsorbé (mg/g) à l'équilibre et au temps t, k_1 (g/mg.h) est la constante cinétique du premier ordre, et k_2 est la constante cinétique du pseudo-deuxième ordre (g/mg.h).

Le taux initial d'adsorption, h, lorsque t = 0, est défini par l'équation 6 :

$$h = k_2 \times q_e^2 \qquad \text{(eq6)}$$

En outre, les résultats de la cinétique d'adsorption ont permis d'identifier le mécanisme de diffusion à l'aide du modèle de diffusion intraparticulaire, décrit par l'équation 7 selon Weber et Morris.

$$Q_t = K_t . t^{(\frac{1}{2})} + C \qquad \text{(eq7)}$$

Où K_t : la constante de vitesse de la diffusion intraparticulaire. La valeur de C indique l'épaisseur de la couche limite. Elle correspond à la valeur d'interception.
Dans ce modèle, si la courbe de q_t en fonction de $t^{(1/2)}$ présente une ligne droite passant par l'origine, la vitesse du phénomène d'adsorption est considérée comme limitée par le processus de diffusion intraparticulaire.

VI. 2.3. 2 Etude de l'effet de certains paramètres opératoires sur le processus d'adsorption

Le processus d'adsorption est fortement influencé par plusieurs paramètres qui définissent les conditions opératoires, notamment la masse de l'adsorbant, le pH du milieu et la concentration des polluants adsorbés.

- **L'effet de masse :** L'impact de la masse de l'adsorbant a été étudié en variant la masse de P.A de 0,1 à 2 g/L. Les autres conditions opératoires ont été maintenues constantes, à savoir la température ambiante, le temps de contact déterminé par l'étude cinétique, le pH, ainsi que la DCO.
- **L'effet du pH :** La DCO des eaux usées a été déterminé en utilisant des valeurs de pH allant de 3 à 12, tandis que les autres conditions opératoires sont restées constantes. Chaque paramètre optimisé a été pris en compte dans la poursuite du travail.

VI. 2.3. 3 Isotherme d'adsorption

Les isothermes d'adsorption expliquent la manière dont les molécules d'adsorbat se répartissent entre les phases liquide et solide lorsque le processus d'adsorption atteint un état stable. Elles ont été déterminées en ajoutant une masse de 5 mg d'adsorbant à une série de flacons de 250 ml contenant 100 ml de chaque prélèvement d'eau utilisé dans les tests d'adsorption. Les solutions ont été agitées à 300 rpm pendant le temps d'équilibre déterminé par la cinétique de réaction à température ambiante

(20 ± 2°C), en maintenant le pH du milieu constant. Les modèles isothermes considérés sont ceux de Langmuir (Eq 6) et Freundlich (Eq 8).

- Le modèle de Langmuir est un modèle d'adsorption basé sur la formation d'une seule couche d'adsorbat à la surface de l'adsorbant. Il est représenté par l'équation 8 (Naji et *al.* 2020):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{K_L \times q_m} \qquad \text{(eq 8)}$$

Où q_e (mg/g) représente la quantité du matériau adsorbé à l'équilibre, K_L est la constante de Langmuir liée à l'affinité des sites de liaison et à l'énergie d'adsorption, et C_e est DCO à l'équilibre (mg/L).

En traçant C_e/q_e en fonction de C_e, nous pouvons déterminer q_m et K_L.

Les caractéristiques les plus importantes de l'isotherme de Langmuir peuvent être représentées par le facteur de séparation R_L, qui peut être calculé à l'aide de l'équation 9 :

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_0} \qquad \text{(eq9)}$$

Où K_L est la constante de l'isotherme de Langmuir, et C_0 est la concentration initiale la plus élevée (mg/L).

La confirmation du facteur de séparation R_L est basée sur les critères suivants :

Tableau 7. Types d'adsorption en fonction des valeurs R_L

R_L	**$0 < R_L < 1$**	**$R_L > 0$**	**$R_L = 1$**	**$R_L = 0$**
Type d'adsorption	Adsorption est favorable	Adsorption défavorable	Adsorption linéaire	Adsorption irréversible

- L'isotherme de Freundlich est présentée sous sa forme linéarisée définie par l'équation 10. Elle suppose que l'adsorption se produit sur une surface hétérogène selon un processus d'adsorption multicouches, et que la quantité adsorbée augmente en fonction de la concentration (Vigdorowitsch et *al*. 2021).

$$log\, q_e = log\, K_F + \frac{1}{n} log\, C_e \qquad \text{(eq10)}$$

Où K_F et n sont les constantes de Freundlich, et q_e est la capacité d'adsorption maximale de saturation. Les valeurs du paramètre d'intensité 1/n indiquent la variation de l'isotherme d'adsorption par rapport à la linéarité :

- Lorsque 1/n = 1, le processus d'absorption est linéaire, ce qui indique une homogénéité des sites et l'absence d'interaction entre les espèces adsorbées.
- Lorsque 1/n < 1, le processus d'adsorption est favorable, la capacité de rétention augmente et de nombreux nouveaux sites d'adsorption apparaissent.
- Et lorsque 1/n > 1, le processus d'adsorption n'est pas favorable et les chaînes d'adsorption deviennent plus faibles, entraînant une diminution de la capacité d'adsorption.

Conclusion

La caractérisation de la qualité des eaux de surface de la ville de Taza a été rendue possible grâce aux méthodes et aux matériaux utilisés dans ce chapitre. Le Système d'évaluation de la qualité des eaux (SEQ-EAU) a servi de base à l'évaluation de la qualité. De plus, l'utilisation d'outils statistiques tels que l'ANOVA a été cruciale pour identifier les éventuelles associations entre les nombreux paramètres mesurés vue la grande quantité de données collectées pendant la période d'étude. Des solutions ont été suggérées pour remédier à la pollution des eaux de surface par les rejets d'eaux usées ; à savoir la valorisation des margines dans l'irrigation et la fertilisation du sorgho et la préparation et la caractérisation d'un biomatériau pour son utilisation comme adsorbant des polluants d'eau.

Chapitre III : État des lieux de la pollution des eaux de surface traversant la ville de Taza

I. Introduction

En utilisant les rapports de la régie *RADEETA* et de l'Agence du Bassin de Sebou, nous dressons un état des lieux de la pollution des oueds traversant la ville de Taza dans ce chapitre. Nous expliquerons comment les activités industrielles et agricoles, ainsi que les problèmes d'assainissement urbain, sont liés à la propagation des maladies à transmission hydrique, mettant en évidence l'importance de comprendre et de contrôler ces facteurs afin de protéger la santé de la population.

II. État des lieux des eaux de surface traversant la ville de Taza

II. 1. Identification des industries avoisinant les eaux de surface de la ville de Taza

Selon les données du diagnostic et du recensement des informations de divers organismes, tels que la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Taza (RADEETA) (Tableau 8), la Chambre de l'Industrie et du Commerce, ainsi que les Centres Hospitaliers de la région, la ville de Taza se caractérise par une zone industrielle relativement modeste, composée principalement de quelques types d'entreprises. Nous citons celles qui traitent les olives, les entreprises textiles qui se spécialisent exclusivement dans la fabrication, et celles qui conservent les olives. Les entreprises se trouvent principalement dans le quartier industriel de la ville, qui s'étend le long des rives des oueds Jaouna et Larbâa. Malgré la petite taille de son industrie. Il est important de noter que cette activité produit des rejets importants de polluants, principalement de matière organique, dans les cours d'eau naturels de la région. En général, les industriels semblent ignorer le coût réel de l'eau, sa rareté et les effets de sa pollution. Cependant, l'augmentation du prix de l'eau potable grâce à l'introduction de taxes d'assainissement pourrait progressivement changer leur perception de l'eau, car ils la considéraient auparavant comme une ressource bon marché, ce qui les incitait peu à adopter des pratiques de conservation ou à investir pour réduire leur consommation d'eau. Néanmoins, cette prise de conscience risque d'être entravée par le fait que de nombreuses industries pourraient remplacer l'eau du réseau par de l'eau provenant de forages privés, échappant ainsi au coût de l'eau.

Il est nécessaire de mettre en place des instruments incitatifs pour pousser les industriels à mettre en place une gestion environnementale rigoureuse, axée essentiellement sur une économie circulaire (Stahel 2016) qui passe forcément par des procédures holistiques visant à économiser l'eau, à réutiliser les matériaux et à recycler les déchets, même si les unités industrielles de Taza sont de petites tailles.

Ceci s'applique essentiellement pour les secteurs suivants (par ordre d'importance) :

- Trituration des olives : Environ 80 000 tonnes d'olives sont produites chaque année dans la région de Taza, ce qui représente environ 10% de la production totale du pays. 65 unités de trituration gèrent cette récolte, mais 11 d'entre elles sont actuellement inactives, que ce soit de manière temporaire ou permanente. En particulier, 20 000 tonnes d'olives sont produites par le cercle de Taza (Agence urbaine de Taza 2014).
- Textile : Selon leur activité et le type de traitement qu'ils utilisent pour apprêter, colorer ou finir la préparation de fibres, de tissus ou de vêtements, les unités de textile peuvent présenter des caractéristiques fortes différentes. C'est cette variété d'activités qui entraîne des rejets très différents d'une unité à l'autre. Cependant, le secteur textile de la ville de Taza se limite à la confection. Cette activité ne produit que les rejets liquides assimilés aux rejets domestique en plus des rejets solide car elle ne nécessite pas d'eau dans le processus.
- Conserves d'olives : cette activité utilise l'olive et l'eau comme matières premières, l'acide acétique, la soude et d'autres sels comme produits chimiques. Ces usines utilisent l'eau de ville distribuée par la RADEETA (environ 10 m^3/j) pour l'usage domestique (laboratoire, sanitaire), tandis que l'eau du process est prélevée à partir du puits aménagé à l'intérieur de l'usine (environ 10 m^3/j). Pour intégrer le manque à gagner, l'étude tarifaire devra tenir compte de cette situation. Le lavage et la désamérisation de 1 tonne d'eau par tonne d'olives produisent des rejets d'eau polluée. Étant donné la nature des matériaux et des produits chimiques utilisés, ces eaux contiennent des niveaux élevés d'huile, de graisses, de sels et de DBO_5. D'ailleurs, les colatures de collecte des eaux de processus font paraître des traces d'huile relativement importantes. Cependant, étant donné la taille de ces appareils, leurs émissions restent peu importantes, ne dépassant pas 20 m^3/j.

D'après les données précédentes, nous avons constaté que les margines représentent environ 94 % des rejets polluants dans la région. Elles sont la principale cause de la pollution industrielle qui affecte la région. En raison de leur composition chimique notamment en polyphénols, les margines sont particulièrement préoccupantes. Ces derniers peuvent nuire aux écosystèmes aquatiques lorsqu'ils sont relâchés dans les cours d'eau, ils peuvent perturber l'équilibre biologique en réduisant la concentration d'oxygène dissous. De plus, les margines présentent également une turbidité élevée (Mahmoud et *al.* 2021) qui rend l'eau trouble et opaque (figure 12). Cela entrave la pénétration de la lumière du soleil dans l'eau qui est essentielle pour la croissance des plantes aquatiques et la survie des organismes photosynthétiques. En conséquence, la faune et la flore des rivières de la région seront impactées.



Figure 12. Image de l'Oued Larbaâ pollué par les margines

Tableau 8. Estimation des charges polluantes industrielles (L'agence urbaine de Taza 2014)

Trituration D'olives	**Unité**	**2003**	**2004**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	
Production Annuelle	**Tonnes**	**12 650**	**13 118**	**16 313**	**19 563**	**23 460**	**28 133**	**33 738**	**Traitement des margines par évaporation naturelle**
Débits	**m^3/j**	**98**	**102**	**127**	**152**	**182**	**219**	**262**	
Charge Polluante DBO_5	**Kg (O_2) /j**	**4 217**	**4 373**	**5438**	**6 004**	**6 629**	**7 319**	**8 080**	
Charge Polluante DCO	**Kg (O_2) /j**	**9 136**	**9 474**	**11 782**	**14 129**	**16 943**	**20 319**	**24 366**	
Mes	**Kg/j**	**1 827**	**1 895**	**2 356**	**2 826**	**3 389**	**4 064**	**4 873**	
Conserve D'olives	**Unité**	**2003**	**2004**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	
Production Annuelle	**Tonnes**	**6 961**	**7 219**	**8 977**	**10 765**	**12 910**	**15 481**	**18 565**	
Débits	**m^3/j**	**19,1**	**19,8**	**24,6**	**29,5**	**35,4**	**42,4**	**50,9**	**Raccordé au Réseau**
Charge Polluante DBO_5	**Kg (O_2) /j**	**15,3**	**15,8**	**19,7**	**23,6**	**28,3**	**33,9**	**40,7**	
Charge Polluante DCO	**Kg (O_2) /j**	**22,9**	**23,7**	**29,5**	**35,4**	**42,4**	**50,9**	**61,0**	
Mes	**Kg/j**	**19,1**	**19,8**	**24,6**	**29,5**	**35,4**	**42,4**	**50,9**	
Confection	**Unité**	**2003**	**2004**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	
Nombre D'employés		**1 970**	**2 043**	**2 540**	**3 047**	**3 653**	**4 381**	**5 254**	
Débits	**m^3/j**	**296**	**306**	**381**	**457**	**548**	**657**	**788**	**Raccordé au Réseau**
Charge Polluante DBO_5	**Kg (O_2) /j**	**59**	**61**	**76**	**91**	**110**	**131**	**158**	
Charge Polluante DCO	**Kg (O_2) /j**	**148**	**153**	**191**	**228**	**274**	**329**	**394**	
Mes	**Kg/j**	**148**	**153**	**191**	**228**	**274**	**329**	**394**	
Source De Pollution	**Unité**	**2003**	**2004**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**	**Raccordé au Réseau**
Abattoirs	**Kg DBO_5/j**		**203**	**223**	**238**	**258**	**276**	**295**	

Total industries raccordées au réseau	**Unité**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**
Conserves D'olives	**Kg/j**	**19,7**	**23,6**	**28,3**	**33,9**	**40,7**
Confections	**Kg/j**	**76**	**91**	**110**	**131**	**158**
Abattoirs	**Kg/j**	**223**	**238**	**258**	**276**	**295**
Total charge industrie	**Kg/j**	**319**	**353**	**396**	**441**	**494**

II. 2. Identification des activités agricoles avoisinantes les eaux de surface de la ville de Taza

Lors de nos visites sur le terrain, effectuées pendant la période de collecte d'échantillons d'eau des Oueds, nous avons observé des activités agricoles préoccupantes le long des rives de l'Oued Larbâa ; des zones dédiées aux cultures maraîchères (figure 13). Même si elles sont essentielles à la subsistance des habitants locaux, les eaux polluées de l'oued sont utilisées pour irriguer ces cultures. La sécurité alimentaire et la santé publique sont gravement affectées par cette pratique à cause de la contamination de ces cultures par des produits chimiques et des agents pathogènes présents dans les eaux usées non traitées. De plus, en travaillant avec des sources d'eau contaminées, la santé des agriculteurs eux-mêmes est en danger.

Selon les résultats de l'enquête menée au niveau de la ville de Taza, malgré la pollution des eaux des oueds, la population urbaine et les riverains continuent à utiliser ces eaux dans la plupart de leurs activités. Ces eaux contaminées sont principalement utilisées pour irriguer les cultures maraîchères, céréalières et légumineuses, ainsi que l'élevage des moutons et de bovins. En outre, même si elles sont polluées, les résidents autorisent les enfants à se baigner dans ces rivières et les utilisent pour nourrir leurs animaux domestiques, entre autres utilisations.



Figure 13. Répartition des terres irriguées sur les rives de l'Oued Larbaâ

II. 3. Présentation du réseau d'assainissement liquide de la ville de Taza

II.3. 1. Description du réseau existant

La ville de TAZA dispose d'un système d'assainissement de type unitaire qui couvre la majorité de la ville, avec un réseau total de 253,56 km comprenant 43,46 km de réseau primaire, 40,76km de réseau secondaire et 163,34 km de réseau tertiaire. Le taux de raccordement au réseau d'assainissement est estimé à 90 % actuellement (RADEETA 2023). Cependant, ce réseau présente de nombreuses anomalies et lacunes tant au niveau de sa conception que de sa réalisation et de son exploitation.

En général, il y a 52 rejets d'eaux usées d'origine domestique, concentrés principalement sur les deux effluents Oued Dfali (20 rejets) et Oued Taza (15 rejets) (figure 14). Actuellement, les eaux usées sont rejetées sans traitement dans les cours d'eau traversant la ville, détériorant l'environnement de ces cours d'eau et violant les lois sur l'eau et l'environnement. De plus, les statistiques des maladies hydriques dans la région montrent que ces eaux usées sont réutilisées en agriculture, ce qui présente un risque pour la santé des habitants (Ben Abbou et *al*. 2014).

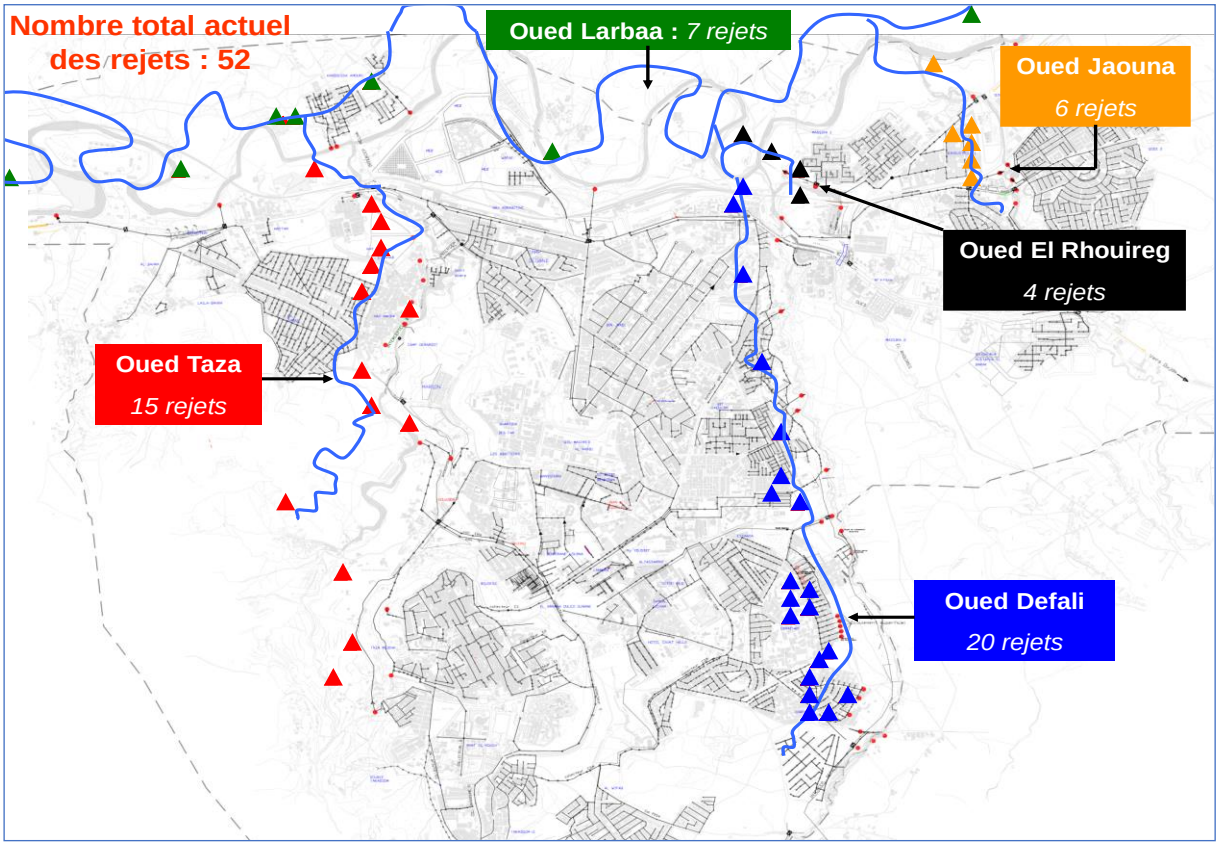

Figure 14. Nombre total actuel des rejets dans les cours d'eau de la ville de Taza. (Source : RADEETA, 2014)

II.3. 2. Problématique de l'assainissement liquide de la ville de TAZA

La ville de Taza dispose actuellement d'un système d'assainissement principalement unitaire, à l'exception de quelques nouveaux lotissements où le réseau est séparatif. Ce réseau s'étend sur environ 80 km au total, dont 12 km sont constitués de réseau structurant (primaire).

Les principaux problèmes liés à l'assainissement liquide de Taza peuvent être d'origines technique, environnemental ou économique.

II.3.2. 1. Niveau technique

Un manque d'entretien préventif et curatif a entraîné une accumulation importante de dépôts, en particulier en amont du réseau, réduisant ainsi sa capacité hydraulique. La création de nouveaux tronçons a été utilisée pour contourner des tronçons partiellement ou complètement colmatés, mais cela a entraîné une répartition inégale de la charge, ce qui a entraîné des vitesses faibles dans le réseau, et a favorisé la formation de dépôts. Le manque d'équipements de réseau tels que les tampons, les avaloirs et les déversoirs d'orage perturbe le fonctionnement normal du réseau et augmente le risque d'accumulation de dépôts.

II.3.2. 2. Niveau environnemental

Il y a eu de nombreux rejets bruts dans l'environnement hydraulique public en raison de la non-application des articles définissant les normes de rejet des eaux usées dans les cours d'eau indiquées dans la loi 23-12 modifiant la loi 10-95 relative à l'eau, et à l'absence d'une station 'épuration des eaux usées. Ce qui a aggravé l'environnement du bassin de Sebou. Afin d'appliquer cette loi, il sera nécessaire de déposer les rejets pollués dans des bassins de stockage pour leur prétraitement et/ou payer des redevances en fonction des volumes et de leur charge polluante. Pour respecter les normes de rejets, il sera nécessaire d'installer une station d'épuration.

II.3.2. 3. Niveau financier

Bien que la topographie de Taza permette naturellement l'écoulement des eaux pluviales en surface sans nécessiter de coûteuses canalisations, le choix précédent d'un système d'assainissement unitaire s'est avéré coûteux en raison des besoins en infrastructure. Ainsi, en raison des contraintes financières et socio-économiques de la ville, la construction des réseaux séparatifs d'eaux usées et l'établissement d'une station d'épuration doivent être prioritaires. Des

coûts de mise à niveau élevés sont inévitables compte tenu des retards accumulés dans le domaine de l'assainissement.

Il est crucial de réorganiser le secteur de l'assainissement et de mettre en place des mesures institutionnelles et tarifaires pour assurer la gestion durable du système. Cette gestion est étroitement liée à l'industrie de l'eau et nécessaire pour garantir la viabilité financière du projet d'assainissement et de dépollution de Taza.

III. Sites de Prélèvement

Les sites choisis pour cette étude sont basés sur le travaux de recherches antérieures (Ben Abbou et *al.* 2014), sur les recherches du diagnostic approfondi de la zone d'étude réalisée avec une série de visites sur le terrain, et sur la diversité des eaux usées incluant des sources industrielles et municipales, ainsi qu'une variété d'activités anthropogéniques à proximité des cours d'eau contaminés. La pollution de l'eau dans la région est aussi particulièrement remarquable en raison des pratiques agricoles à multiples facettes.

Sur la base de ce contexte, une stratégie systématique a été utilisée pour déterminer les sites d'échantillonnage appropriés. Comme indiqué dans la figure 15, ces sites ont été désignés par la lettre "O" après le terme "Oued", qui se traduit en français par "rivière". Plus précisément, nous nous sommes concentrés sur les quatre oueds principaux qui traversent la ville de Taza.

En alignant nos sites d'échantillonnage sur les sites en amont de ces oueds clés, nous visons à obtenir une vue d'ensemble des schémas de contamination et de dynamique de la qualité de l'eau dans la région. Ce choix stratégique nous permet d'évaluer les sources initiales de contaminants et de comprendre comment ces contaminants se propagent en aval et ont ensuite un impact sur le milieu environnant.

- O1 : 34,23822° N, 3,98688° W : situé en amont de l'Oued Jaouna
- O2 : 34,23048° N, 3,99922° W : Situé au point de rencontre des oueds Rhouireg et Dfali
- O3 : 34,23476° N, 4,02421° W : Situé en amont de l'Oued Taza
- O4 : 34,23371° N, 4,06150° W : Situé en amont de l'Oued Larbâa en aval de la décharge publique "Julien".

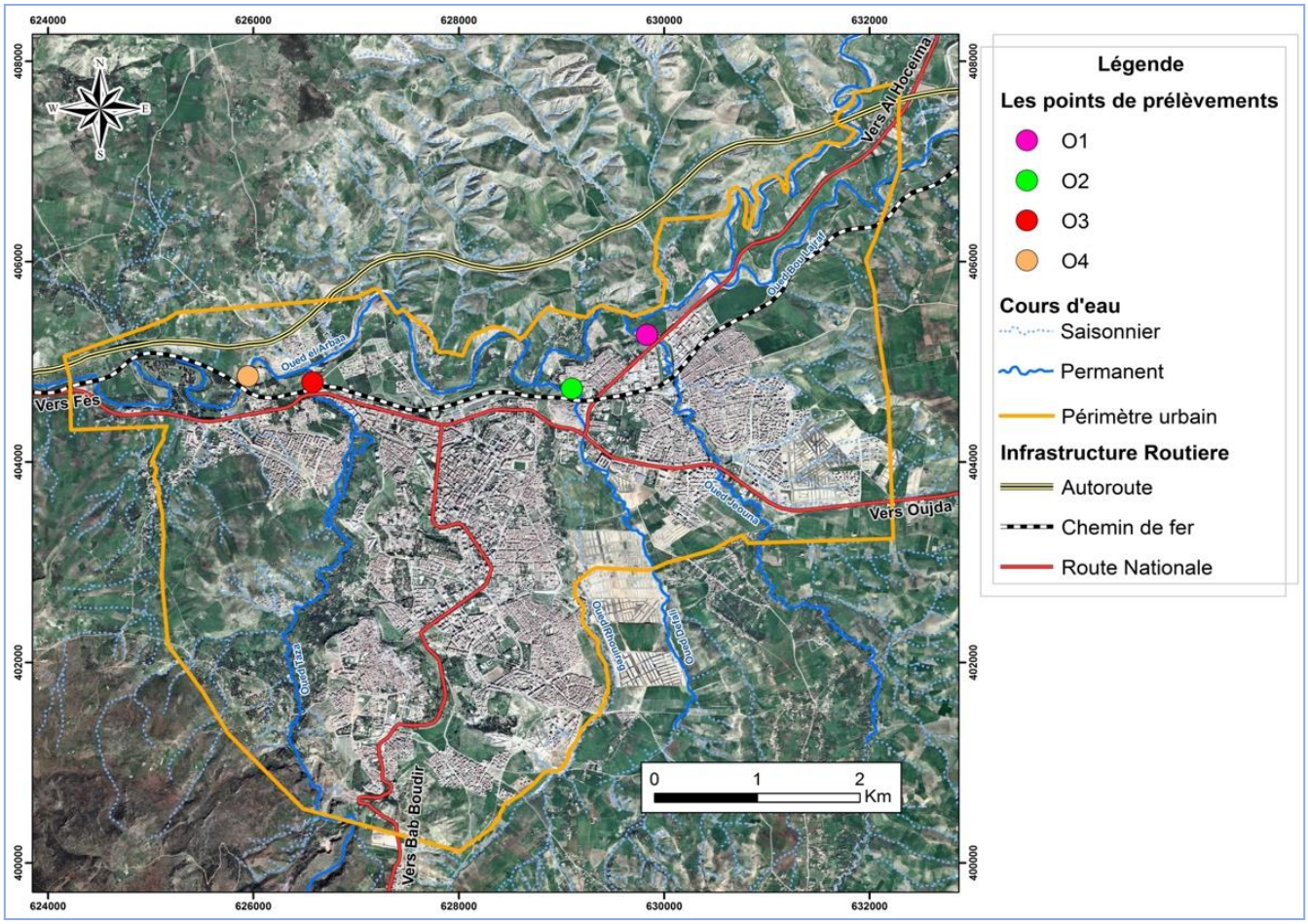

Figure 15. Overview of the study area, location of sampling sites in the rivers crossing the city of Taza

Conclusion

Le diagnostic effectué sur l'évaluation de la qualité des eaux de surface de la ville de Taza a révélé des anomalies importantes dans le réseau d'assainissement de la ville de Taza. En l'absence d'une station de traitement des eaux usées. Les eaux polluées sont rejetées directement dans les oueds qui traversent la ville sans traitement au préalable. Les cultures maraîchères sont irriguées avec les eaux de ces oueds, ce qui présente un risque de contamination et de propagation des maladies à transmission hydrique.

La présente situation met en évidence l'importance d'une intervention appropriée pour résoudre les problèmes environnementaux et sanitaires. Il est impératif de mettre en place un système de traitement des eaux usées ainsi que des mesures de prévention et de sensibilisation afin de protéger la santé publique et de prévenir la survenue d'épisodes de maladies à transmission hydrique. Afin de garantir la sécurité des ressources hydriques locales et la santé des résidents de la ville de Taza, il est essentiel de mettre en place des pratiques de gestion de l'eau durables et responsables.

Chapitre IV : Évaluation de la qualité des eaux de surface de la ville de Taza et contribution à l'amélioration de leur qualité

I. Introduction

Dans notre étude, les paramètres physico-chimiques et bactériologiques à mesurer ont été soigneusement choisis pour établir une corrélation significative entre l'apparition de maladies à transmission hydrique telles que la typhoïde, l'hépatite A et la gastro-entérite aiguë. Les paramètres ainsi choisis sont très importants pour évaluer la qualité de l'eau et on a été démontré avoir un lien avec les risques sanitaires liés à la contamination de l'eau.

Ce chapitre présente les résultats de l'évaluation de la qualité des eaux du réseau d'eau, qui comprend l'oued Larbâa au Nord, l'oued El Haddar (ou Taza) au sud, ainsi que les oueds Dfali, Rhouireg et Jaouna à l'Est. Au Nord, l'Oued Larbâa est traversé par les effluents provenant de l'Oued Taza et de l'Oued Dfali, Rhouireg et Jaouna. Les prélèvements ont été effectués sur une période d'un an, de février à décembre 2021 avec un pas de deux mois. L'analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour valider statistiquement les résultats. Les outils du Système d'Information Géographique (SIG) ont été exploités pour analyser et représenter graphiquement les données recueillies. La qualité globale des eaux étudiées a été évaluée par le biais du SEQ-Eau.

II. Évaluation de la qualité des eaux étudiées

II. 1. Paramètres physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques sont illustrés dans les figures ci-dessous pour chaque site d'échantillonnage, et comparés avec les valeurs limites indiquées en rouge. Ils sont discutés conformément aux normes de qualité des eaux de surface du Maroc (NMQES) NM 03-7- 003 modifiées.

Pour les paramètres mesurés in-situ, la température (figure 16) est le premier à être mesuré, car elle est cruciale dans toute étude écologique. En raison de son impact significatif sur la stabilité des autres paramètres physicochimiques et biologiques des milieux naturels, elle peut infecter la consommation d'oxygène dissous et la libération de sulfates dans les milieux aquatiques (Liu et *al*. 2022), ce qui peut ensuite impacter la distribution des êtres vivants et leur diversité (Bi et al. 2022). Il a été observé que la température de l'eau dans la zone d'étude suivait la variation climatique annuelle, indiquant l'absence de toute pollution thermique avec une faible variation d'un site à l'autre. Pendant l'hiver, la valeur minimale (13 °C) a été enregistrée à Oued Larbâa (O4) et la valeur maximale (26 °C) à Oued

Jaouna (O1). Il est considéré que cette température favorise le développement de bactéries, de parasites, de larves de moustiques et d'autres germes microbiens. Cependant, ces eaux sont classées dans la gamme de bonne qualité selon les valeurs confirmées (< 30°C).

Le deuxième paramètre mesuré in-situ est le pH de l'eau (figure 17). Ce paramètre qui influence sur la majorité des processus chimiques et biologiques de l'eau. Les précipitations acides, l'activité biologique et certains rejets industriels peuvent l'affecter (Idrissi et *al.* 2018). Le pH a été neutre à un peu alcalin dans presque tous les sites objets, avec un minimum de 7,01 au niveau du point O4 en automne en raison de la présence de contenus élevés de matière organique, et un maximum de 7,95 au niveau du point O2 en été. Les valeurs de pH obtenues sont conformes aux directives du Maroc pour la classification des eaux de surface.

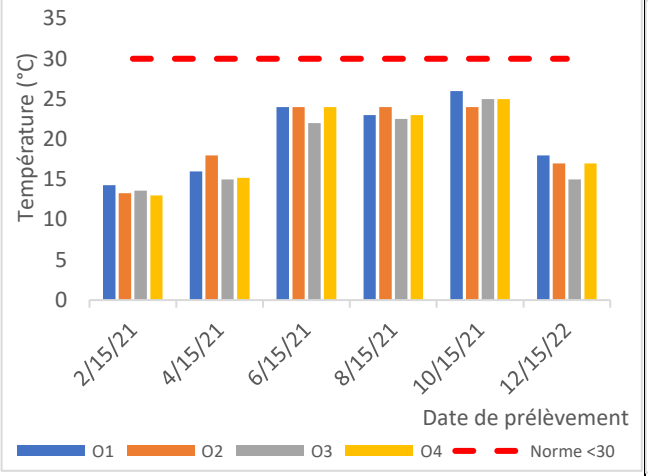

Figure 16 : Variation de la température de l'eau dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

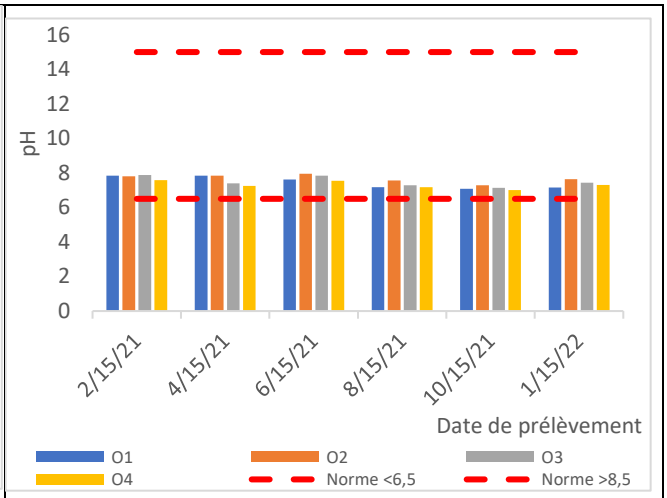

Figure 17 : Variation du pH de l'eau dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

La conductivité électrique (figure 18) peut être utilisée comme un excellent indicateur de la charge ionique de l'eau. L'eau est plus chargée en minéraux à mesure que ce paramètre augmente. La conductivité a été très élevée au niveau des points O1, O2 et O4 dans les sites choisis pour l'étude. Au niveau du point O1, la valeur maximale a été de 5710 µs/cm en février 2021. Alors que la faible valeur a été enregistrée au niveau du point O3 en avril 2021 (420 µs/cm). Selon la classification des eaux de surface au Maroc, les valeurs obtenues (<2700 $\mu s.cm^{-1}$) classent ces eaux dans une plage de qualité satisfaisante. Les fortes valeurs ont été mesurées au mois février pour presque tous les sites.

La clarté de l'eau est mesurée par sa turbidité (figure 19). Toutes les valeurs de turbidité obtenues dépassent les NMQES fixées à 5 NTU, avec un maximum de 397 NTU au niveau du point O1 en octobre 2021 et un minimum de 15 NTU au niveau des points O3 et O4 en avril 2021. En conséquence, ces eaux sont classées dans la catégorie très mauvaise.

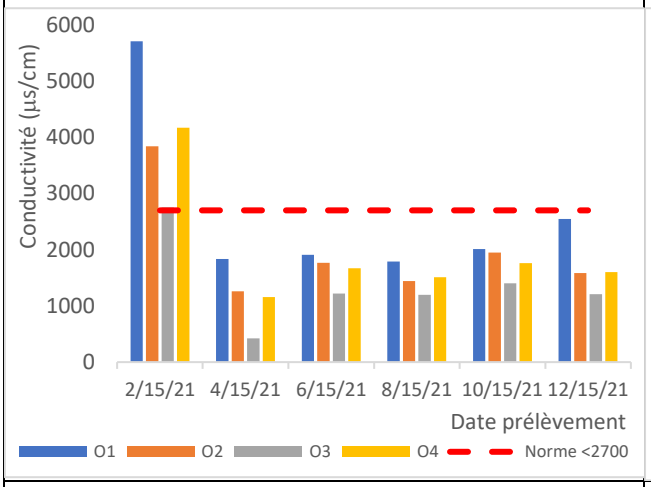

Figure 18 : Variation de la conductivité de l'eau dans les différents sites en fonction du temps

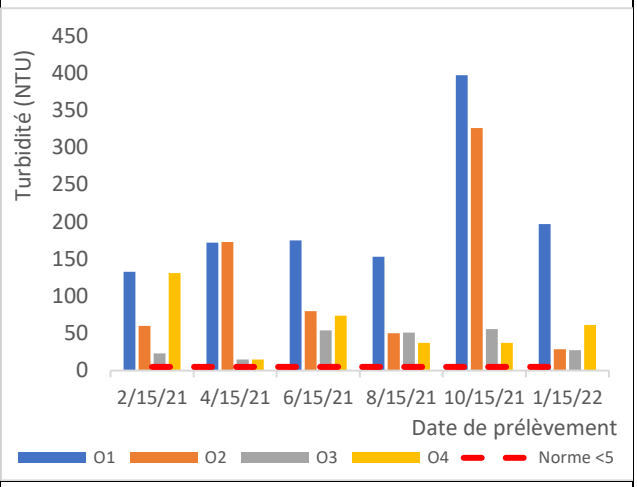

Figure 19 : Variation de la concentration de la turbidité dans les différents sites en fonction du temps

Un autre paramètre plus sensible à la pollution des eaux est le taux d'oxygène dissous (figure 20), qui peut nuire à la vie aquatique et à la qualité de l'eau. Les niveaux d'oxygène dissous obtenus, ont diminué sous la limite minimale acceptée par les NMQES de 1 mg/L pendant les périodes estivales, au niveau des points O1, 02 et O4. En termes d'O_2 dissous, ces eaux se classent dans la catégorie de mauvaise qualité. La diminution de la concentration en oxygène dissous peut être attribuée à la propagation des microorganismes en raison de la charge organique biodégradable élevée, en particulier au niveau du point O4, qui est marqué par une forte demande biologique en oxygène (DBO_5) (figure 21) et qui se trouve en dessous de la décharge publique « Julien » non contrôlée. En outre plus la température est faible, plus la consommation d'oxygène diminue et la concentration d'oxygène dissous augmente. C'est le cas des périodes hivernale et printanière pour tous les sites d'étude.

La figure 21 représentant les valeurs de DBO_5 exhibe un dépassement considérable des normes de qualité environnementale standard (NMQES) notamment en février 2021, avril 2021 et janvier 2022 pour les points O1, O2 et O4. Ces résultats montrent que la qualité des eaux étudiées est mauvaise et diminue considérablement au fil du temps et les valeurs élevées de DBO_5 indiquent qu'il y a une forte demande d'oxygène pour décomposer les matières organiques, ce qui peut avoir des effets négatifs sur l'écosystème aquatique. Ce qui suggère des mesures correctives pour réduire la pollution organique de ces eaux et rétablir leur qualité.

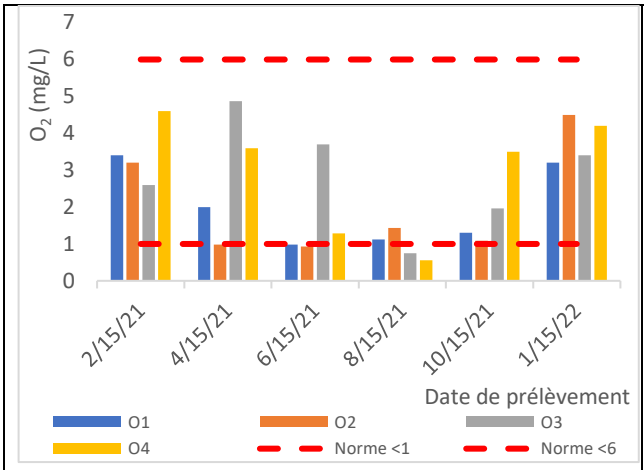

Figure 20. Variation de la concentration d'O2 dissous dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

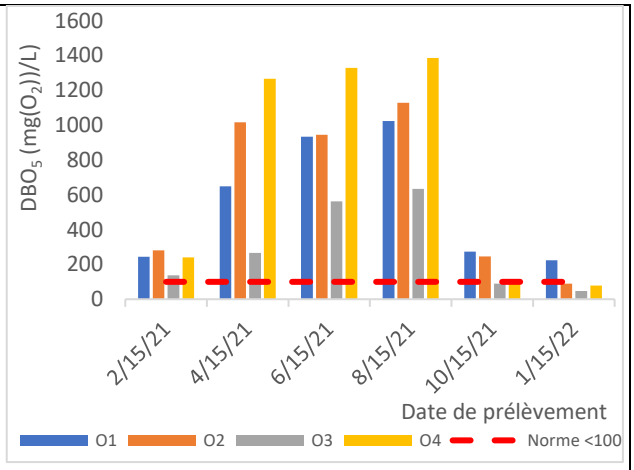

Figure 21. Variation de la concentration de la DBO5 dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

Pour les mêmes mois de l'année (février 2021, avril 2021 et janvier 2022), la concentration de DCO (Demande Chimique en Oxygène) a dépassé les normes de qualité environnementale standard (NMQES). De plus, comme indiqué dans la Figure 22, un dépassement important a également été observé au point de prélèvement O1 en août 2021 et une diminution dans les autres points pendant la période estivale et automnale. Ces résultats sont préoccupants, d'autant plus que le système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-EAU) qualifie les quatre oueds de très mauvaise qualité en termes de DCO.

La biodégradabilité de la matière organique dans l'eau est indiquée par le rapport DCO/DBO_5 (figure 23). Lorsque le rapport est inférieur à 3, cela indique que la matière organique est biodégradable, ce qui est positif pour la qualité de l'eau. La matière organique est considérée comme biodégradable de manière moyenne lorsque le rapport est compris entre 3 et 5. Pendant la saison estivale, la matière organique est non biodégradable aux points O1 et O3. Cela signifie que la pollution organique dans ces oueds contient des éléments plus résistants à la dégradation biologique, ce qui peut avoir un impact négatif sur l'écosystème aquatique. Il est donc crucial de surveiller attentivement les variations saisonnières de eaux étudiées, de comprendre les facteurs qui contribuent à la non-

biodégradabilité de leur charge organique, et prendre des mesures correctives pour réduire la présence de composés non biodégradables.

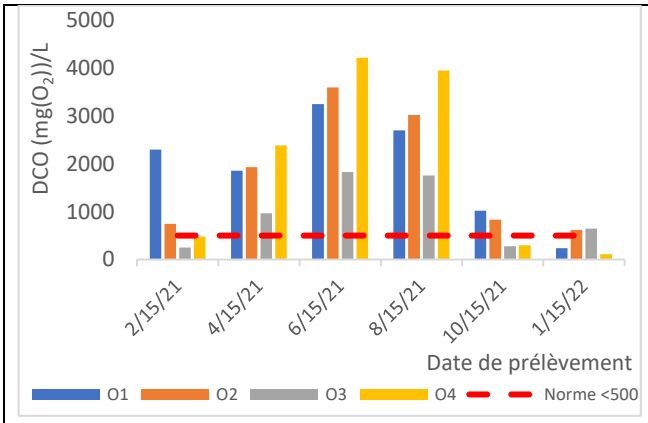

Figure 22. Variation de la DCO dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

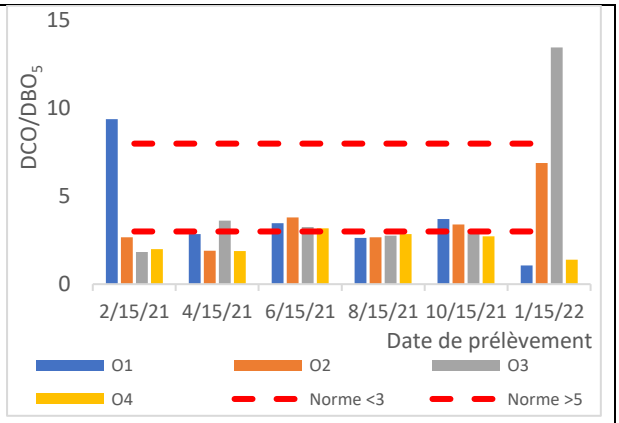

Figure 23. Variation du rapport DCO/DBO5 dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

Pour la charge azotée, les résultats d'analyses ont révélé un dépassement des normes marocaines de qualité des eaux de surface (NMQES), notamment en azote Kjeldahl (figure 24), ce qui caractérise ces eaux comme étant très médiocres pour les points O1 et O2 et médiocres pour les points O3 et O4. En ce qui concerne l'Ammonium (figure 25), il est élevé de manière moyenne pendant la période d'étude, avec une forte augmentation au cours du mois d'octobre 2021 au niveau de tous les points. Les niveaux de nitrates (figure 26) dépassent également les NMQES, en particulier au point O4. La teneur en ammonium et en nitrates des eaux d'Oueds étudiées est faible.

Quant aux sulfates, la charge des eaux étudiées en ces ions, dans les 4 zones (figure 27), ne dépasse pas 600 mg/L ; valeur limite selon les NMQES. Une valeur maximale de 478,48 mg/L a été enregistrée au niveau du point O4 en février 2022 et une valeur minimale de 124,6 mg/L au niveau du point O3 en août 2021.

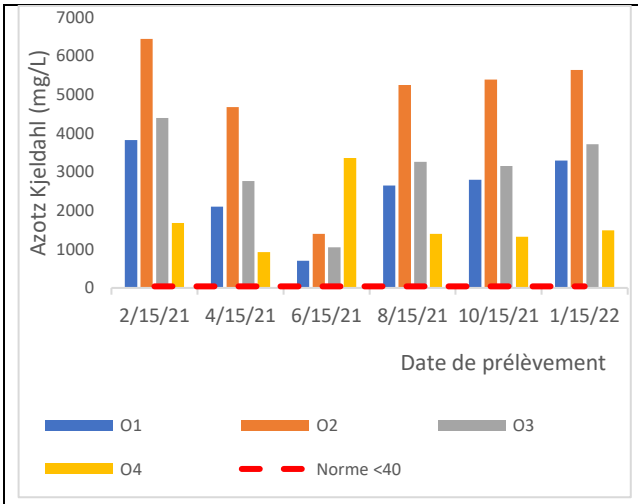

Figure 24. Variation de l'azote Kjeldahl dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

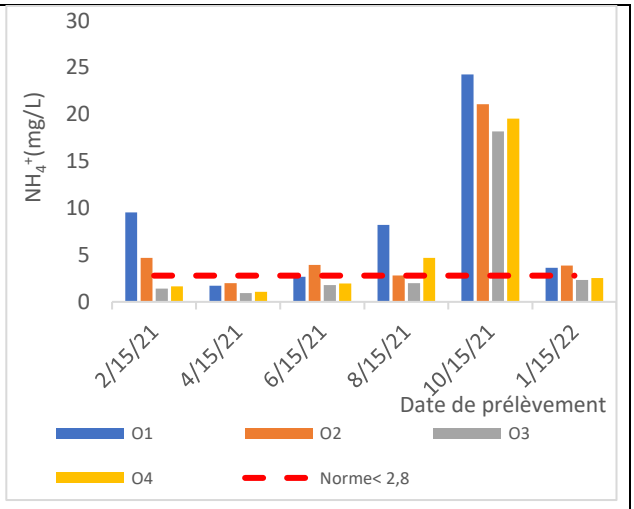

Figure 25. Variation de la concentration de l'Ammonium dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

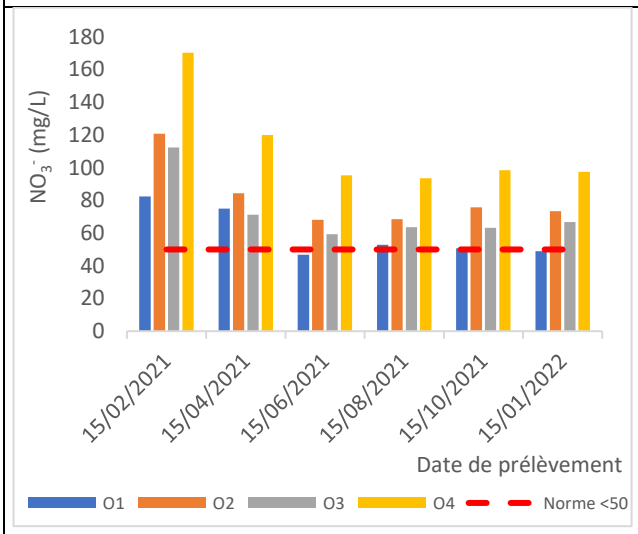

Figure 26. Variation de la concentration des Nitrates dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

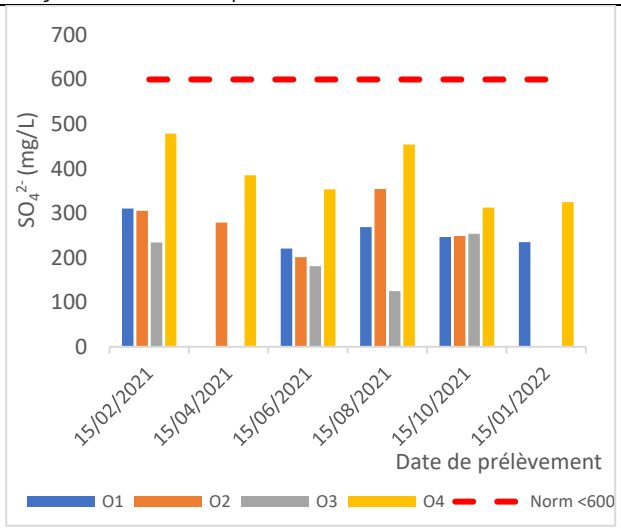

Figure 27. Variation de la concentration des Sulfates dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

Pour la charge phosphatée des eaux étudiées, la concentration du phosphore total (Pt) (figure 28), est élevée, en particulier au niveau des points O1 et O4, ou le Pt a dépassé la NMQES fixée à 0,5 mg/L pour toute la période d'étude, exceptée celle printanière. Tandis que la concentration d'orthophosphates (figure 29) elle est inférieure à la norme (5 mg/L). Cela démontre que le phosphore trouvé dans les oueds étudiés est de nature organique.

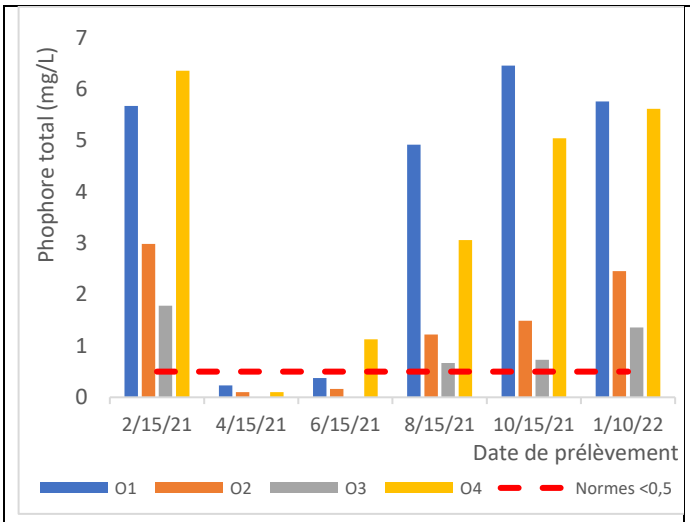

Figure 28. Variation de la concentration du phosphore total dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

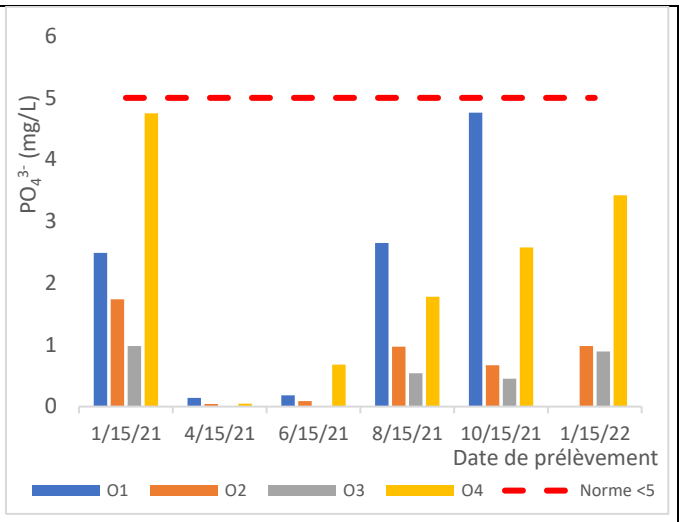

Figure 29. Variation de la concentration des orthophosphates dans les différents sites de prélèvement en fonction du temps

II. 2. Paramètres bactériologiques

Comme illustré dans la Figure 30, les résultats de l'étude montrent que la qualité bactériologique de l'eau dans les sites de prélèvement O1, O2, O3 et O4 est très préoccupante. Des concentrations significativement élevées de coliformes totaux, d'*Escherichia coli* (CF) et d'entérocoques intestinaux sont observées dans ces sites. Les eaux usées non traitées de la ville de Taza sont directement déversées dans les cours d'eau environnants, contribuant ainsi à la propagation de ces bactéries dans l'écosystème aquatique.

Le rapport CF/SF (Coliformes fécaux/Coliformes totaux), supérieur à 1, confirme l'origine humaine des matières fécales présentes dans l'eau. Ces résultats corroborent ceux des travaux antérieurs (Ben Abbou et *al.* 2014), qui ont démontré que les eaux usées domestiques contribuent de manière significative à la contamination bactériologique des cours d'eau.

Les résultats de la classification des eaux au Maroc montrent que la qualité bactériologique des eaux dans les points de prélèvement O1, O2 et O4 est dans la fourchette de qualité bactériologique globale moyenne. Cependant, le point O3 présente une valeur minimale de coliformes fécaux, d'*Escherichia colis* et d'entérocoques intestinaux, suggérant une meilleure qualité bactériologique à cet endroit.

Par ailleurs, la quantité de coliformes fécaux est supérieure à la norme marocaine relative à l'eau d'irrigation, qui est fixée à 1000 CF/100 mL. Cette norme est observée aux points O1 et O2 pendant les saisons estivale et hivernale, ainsi qu'au point O4 tout au long de l'année soulignant la nécessité d'agir pour réduire la contamination bactériologique des cours d'eau et protéger la santé des écosystèmes aquatiques et des communautés qui en dépendent.



Figure 30. Concentration bactériologique dans les eaux des différents sites de prélèvement en fonction du temps

II. 3. Indices de pondération et d'altération des cinq sites d'étude

En utilisant l'approche SEQ-eau, nous avons obtenu les indices de pondération et d'altération, qui sont documentés dans le tableau 8. Les paramètres évalués incluent la température (T°), le pH, l'oxygène dissous (OD), la conductivité électrique (CE), la turbidité, la demande chimique en oxygène (DCO), les concentrations en ammonium (NH4+), nitrate (NO3-), azote total Kjeldahl (NTK), demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO_5), platine (Pt), coliformes fécaux (CF), ainsi que les niveaux d'arsenic (As), chrome (Cr), Fer (Fr), plomb (Pb) et cadmium (Cd).

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

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

En utilisant l'approche de couplage SIG-SEQ-Eau, nous avons effectué le calcul des dix altérations, dont les résultats sont présentés sous forme de cartes thématiques. Les valeurs élevées indiquent une amélioration de la qualité.

Tableau 9. Moyennes des indices d'altération et de pondération physicochimiques et bactériologiques des eaux des oueds étudiées

Altération	**Sites**	**O1**	**O2**	**O3**	**O4**
	Indice Ip & Ia	**100 80**	**80 60**	**60 40**	**40 20**
(1) Température	**$I\ a_1=Ip_T$**	64,18	64,04	97,39	98,55
(2) Acidification	**$I\ a_2=Ip_{pH}$**	51,62	53,42	52,50	51,11
(3) Matières organiques et oxydables	**Ip_{DO}**	39,8	29,80	21,2	20,4
	Ip_{DBO5}	19,16	18,17	19,8	19,36
	Ip_{DCO}	11,13	13,01	18,69	12,74
	IP_{NH4+}	20,53	25,33	31,83	29,16
	$I_{a3}=(Ip_{OD}+Ip_{DBO5}+Ip_{DCO}+Ip_{NH4^+})/4$	22,66	21,58	22,88	20,42
(4) Matières phosphorées	**$I_{a4}=Ip_{PT}$**	19,80	32,80	37,92	23,60
(5) Matières azotées	**$I_{a5}=Ip_{NO3^-}$**	20,24	23,33	24,82	20,01

	I_{a6}= Ip_{NTK}	14,49	14,97	29,68	28,04
(6) Sulfates	I_{a7}= Ip_{SO4}^{2-}	39,15	36,32	59,69	22,03
(7) Minéralisation	I_{a8}= Ip_{EC}	40,93	50,38	59,06	50,31
(8) Matières en suspension	I_{a9}= Ip_{Turb}	21,20	31,56	58,40	46,11
(9) Micro-organismes	I_{a10}= Ip_{CF}/100mL	39,71	38,88	31,55	29,81
(10) Métaux lourds	I_{a11}= Ip $_{Fe}$	79,18	79,26	79,01	79,04
	I_{a12}= Ip $_{Cd}$	79,34	79,65	79,13	78,79
	I_{a13}= Ip $_{Cr}$	59,17	58,93	79,91	79,8
	I_{a14}= Ip $_{As}$	58,6	59,77	76,15	77,58
	I_{a15}= Ip $_{Pb}$	78,41	78,97	79,08	79,81
Qualité physicochimique globale					
Qualité bactériologique globale					
Qualité métallique globale					

II. 4. Cartographie des paramètres physico-chimiques et bactériologiques

L'utilisation de cartes thématiques a grandement facilité la visualisation claire des moyennes de différents paramètres liés à la propagation des maladies à transmission hydrique.

La carte liant les taux de coliformes fécaux, d'entérocoques intestinaux et de coliformes totaux aux cours d'eaux pollués est représentée dans la figure 31. Les résultats relatent que les concentrations moyennes de ces éléments sont significativement supérieures aux normes marocaines (NMQES). Les taux de coliformes totaux sont très élevés impliquent ainsi une grande contamination par des bactéries potentiellement pathogènes dans ces eaux ; qui ne semble pas être liée aux volumes élevés des rejets d'eaux usées dans Oued Taza mais plutôt à leur charge polluante. La faible charge d'Oued en aval (O3) est probablement due à sa dilution par l'eau douce de sources en amant de l'Oued.

Cependant, malgré cette dilution, les concentrations bactériologiques restent alarmantes et dépassent les normes établies, incitant ainsi à la nécessité de mesures correctives pour améliorer la qualité de l'eau dans la région et réduire les risques liés aux maladies hydriques.

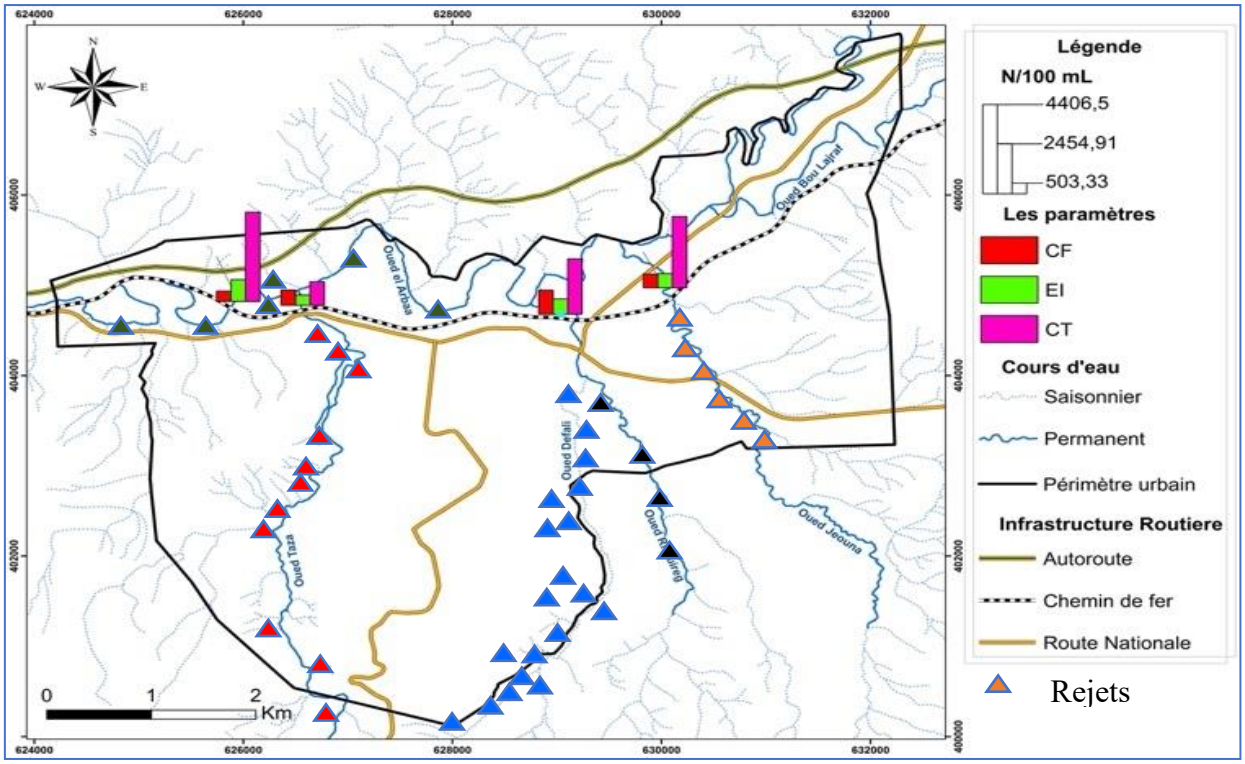

Figure 31. Carte thématique de la répartition des mesures bactériologiques

La représentation cartographique de la charge organique des eaux étudiées (figure 32) met en évidence une grande variabilité de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO_5) et de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) dans les oueds de Taza. Cette diversité reflète une variété de facteurs environnementaux et de pressions humaines qui ont un impact significatif sur la qualité de l'eau. De même, l'eau du point O3, cours d'eau permanent, enregistre les niveaux les plus bas de DBO_5 et DCO grâce à la continuité de son débit et sa dilution par l'eau douce.

Cependant, celle du point O4, qui se trouve en bas de l'Oued Larbâa, a une situation différente. En effet, il y a une augmentation du taux de DBO_5 et de DCO, due au fait que l'Oued Larbâa est l'effluent principal qui reçoit les eaux de tous les autres Oueds. En tant que collecteur principal, il regroupe les apports de matière organique des autres cours d'eau, ce qui entraîne une charge organique plus élevée à ce niveau. D'où une attention particulière devrait être donnée à la gestion de cet Oued par des mesures de contrôle et d'atténuation de sa pollution afin de garantir la santé des écosystèmes aquatiques et la disponibilité d'une source d'eau de qualité pour les communautés locales.

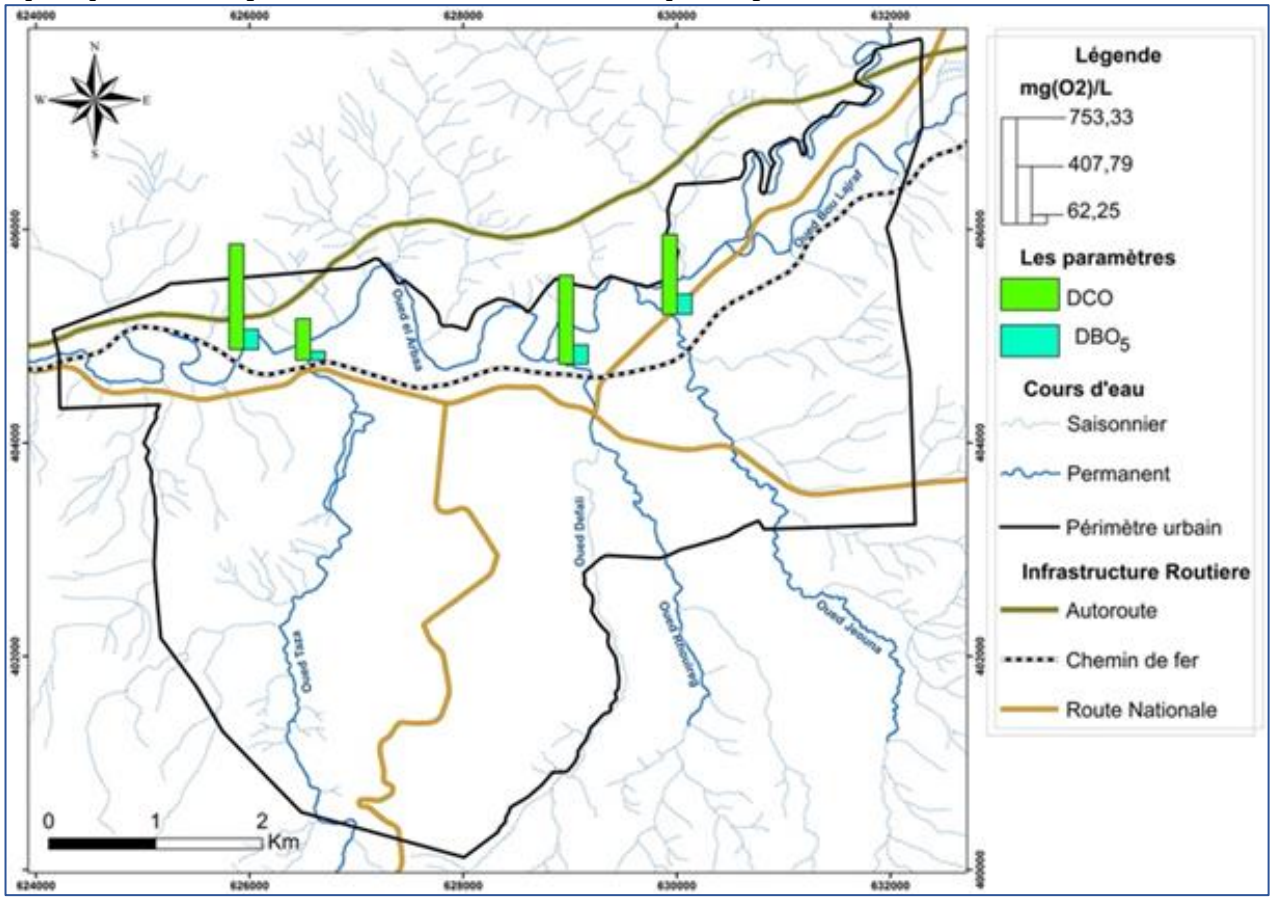

Figure 32. Carte thématique du taux de la matière organique exprimé en DBO et DCO

La troisième carte (figuree 33) offre un aperçu important de la charge azotée et sulfatée de l'eau dans la région étudiée. Elle met en évidence une concentration significative d'azote, en particulier l'azote Kjeldahl, sur les quatre points de prélèvement analysés. Cependant, cette concentration atteint des niveaux particulièrement élevés au point O2, qui se trouve à l'embouchure des Oueds Defali et Laghouireg. Cette observation suggère des variations notables de la charge d'azote, avec une

augmentation significative au niveau de cet endroit précis. Quant à la concentration des sulfates, elle reste relativement faible sur l'ensemble des points de prélèvement ; elle n'excède pas la norme de qualité environnementale (NMQES), et donc ne cause pas une pollution notable.

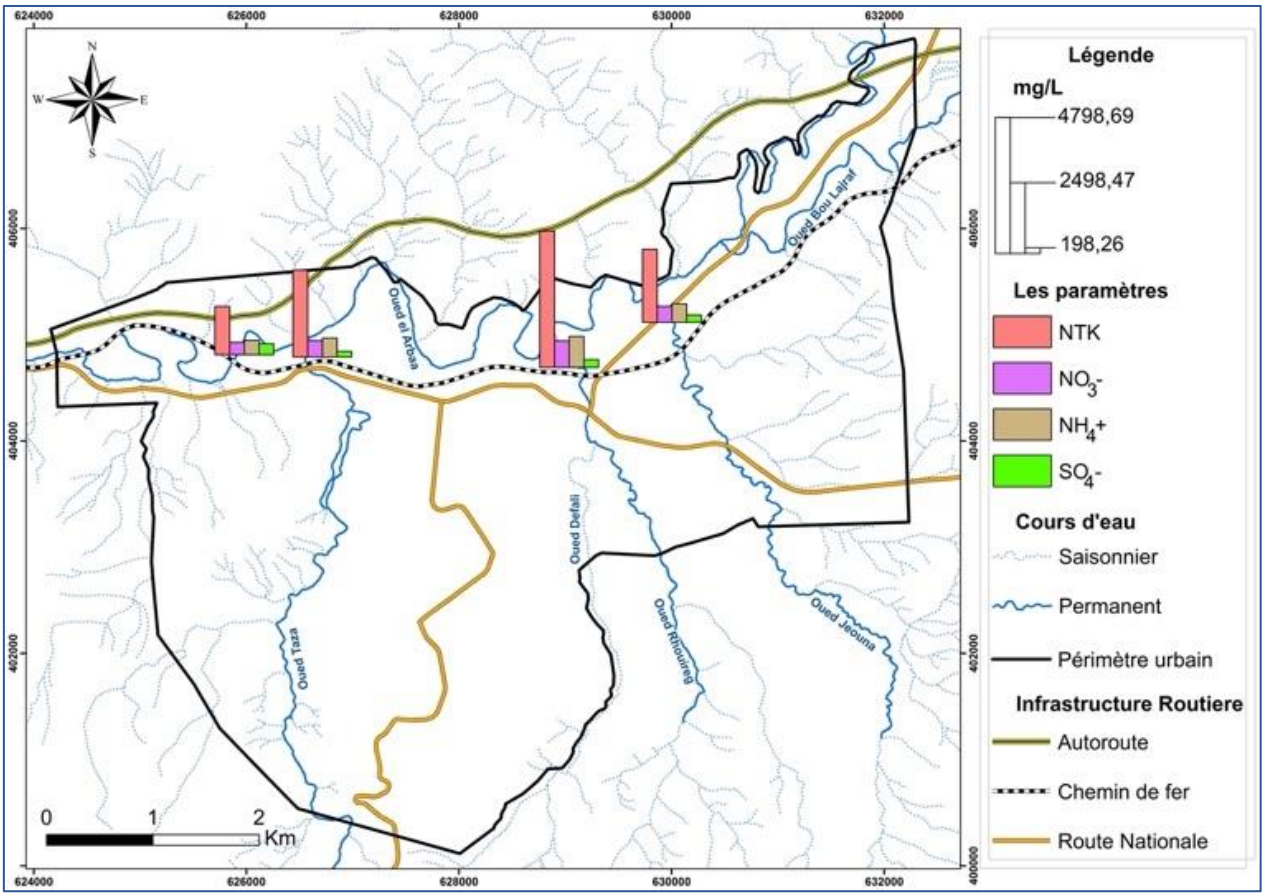

Figure 33. Cartographie des paramètres azotés et phosphatés

Conclusion

Les résultats du suivi spatio-temporel de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux des oueds traversant la ville de Taza révèlent qu'elles se caractérisent par une forte charge organique et un taux élevé des coliformes fécaux et totaux et des entérocoques intestinaux. Le problème écologique ces eaux demeure existant dans l'absence des stations de traitements des eaux usées et la présence d'une décharge publique localisée à côté de l'oued Larbâa. Le déversement des eaux usées dans ces oueds sans aucun traitement constitue un problème majeur qui infecte l'environnement et la santé.

Chapitre V : Initiatives à la remédiation de la pollution des eaux de surface de la ville de Taza

I. Introduction

Ce chapitre présente les résultats d'une démarche visant à remédier la problématique de la pollution des eaux par les margines en les utilisant comme fertilisant pour la culture du sorgho. Cette approche offre une alternative aux cultures gourmandes en eau, ce qui revêt une importance particulière compte tenu des périodes de sécheresse récurrentes au Maroc. Parallèlement, dans le cadre de la recherche de solutions intégrées aux divers problèmes écologiques, ce chapitre expose les résultats de la caractérisation des aiguilles de pin d'Alep pour leur éventuelle valorisation dans le traitement des eaux usées polluant les eaux de surface étudiées.

II. Exploitation des margines dans l'irrigation du Sorgho

II. 1. Caractérisation des margines

Les résultats de la caractérisation physicochimique des margines et de l'eau d'irrigation ayant servi de témoin, sont répertoriés dans le **tableau 10**. Le dépouillement des différentes valeurs montre que les margines brutes sont acides, salées, ont une densité égale à celle de l'eau et contiennent une charge importante en éléments fertilisants (sodium, azote, potassium et phosphore).

Les margines se caractérisent aussi par une charge organique et inorganique importante (DCO / DBO_5 = 7,1> 3) qui dépasse les limites marocaines de biodégradabilité et aussi de rejet des eaux usées dans les eaux de surface ou souterraines (VLMR) (*B.O, N°6132. 2013*).

L'eau d'irrigation utilisée a une qualité conforme à celle fixée par les normes marocaines de la qualité de l'eau d'irrigation (*B.O N°5062, vol. n° 1276-01.* 2002)

Tableau 10. Caractérisation physicochimique et microbiologique des margines et de l'eau témoin

Paramètres physico-chimiques	**Margines Brutes**	**Eau d'irrigation**	**Valeurs limites d'Eau d'irrigation (***B.O N°5062)*
pH	4,62 ± 0,01	7,23	6,50 à 8,40
Conductivité (µS/cm)	$13{,}7.10^3$	616,00	$12{,}00.10^3$
DBO_5 (mg (O_2) /L)	5650,00	_	_
DCO (mg(O_2) /L)	39950,00	_	_
Mg^{2+} (mg/L)	4,00	33,60	_
Ca^{2+} (mg/L)	16,90	97,60	_
Nitrate (mg/L)	152,00	19,20	30,00
Nitrite (mg/L)	1,80	0,00	_
Chlorures Cl^- (mg/L)	$624{,}80.10^2$	17,75	_
PO_4^{3-}(mg/L)	480,00	0,01	_
K^+ (mg/L)	2250,00	0,49	_
Na^+ (mg/L)	476,00	5,10	_
Polyphénols (mg/L)	9070,00	_	_
Matière organique (%)	60,79 ± 0,06	_	_
Matière minérale (%)	35,26 ± 0,06	_	_
Densité	1,07	_	_
Paramètres Microbiologiques (10^3 ufc/mL)			
Germes Totaux	>300,00	_	_
Coliformes Totaux	>300,00	4,00	_
Coliformes Fécaux	83,00	0,00	1000/100mL
Staphylococcus aureus	_	0,00	Absence
Sulfite-reducing anaerobes	3,00	0,00	Absence
Salmonella	_	_	Absence in 5L

II. 2. Température du milieu de culture du sorgho

La température quotidienne est essentielle au processus de croissance du sorgho, de la semence à la récolte. Un aperçu important de cette variation de température au fil du temps est fourni dans la Figure 34.

Les températures subissent clairement des changements importants tout au long de la journée au cours de la période d'étude. Le matin, les températures sont d'environ 11°C à 22°C, ce qui représente une plage assez fraîche. Les températures plus fraîches du matin favorisent souvent la germination des graines et l'émergence des jeunes plants de sorgho.

Cependant, les températures augmentent considérablement en après-midi, atteignant des valeurs de 16 à 37 degrés Celsius. Un climat moyennement frais avec des journées chaudes et ensoleillées est caractérisé par cette variation diurne. Des facteurs tels que le taux de croissance, la transpiration des plantes et le développement des grains peuvent être fortement influencés par cette amplitude thermique sur la croissance et le développement des cultures de sorgho (Chen et *al.* 2022).

Depuis que le sorgho est connu pour sa résistance aux conditions climatiques variées, la plage de température observée est généralement favorable à la culture. Cependant, il est crucial de surveiller attentivement ces variations de température, car des extrêmes, qu'ils soient trop froids ou trop chauds, peuvent affecter le rendement et la qualité de la récolte. La disponibilité de données météorologiques précises, comme celles représentées dans la Figure 34, est essentielle pour comprendre l'interaction entre le climat et la culture du sorgho, ce qui contribue à des pratiques agricoles plus efficaces et à une meilleure gestion des récoltes.

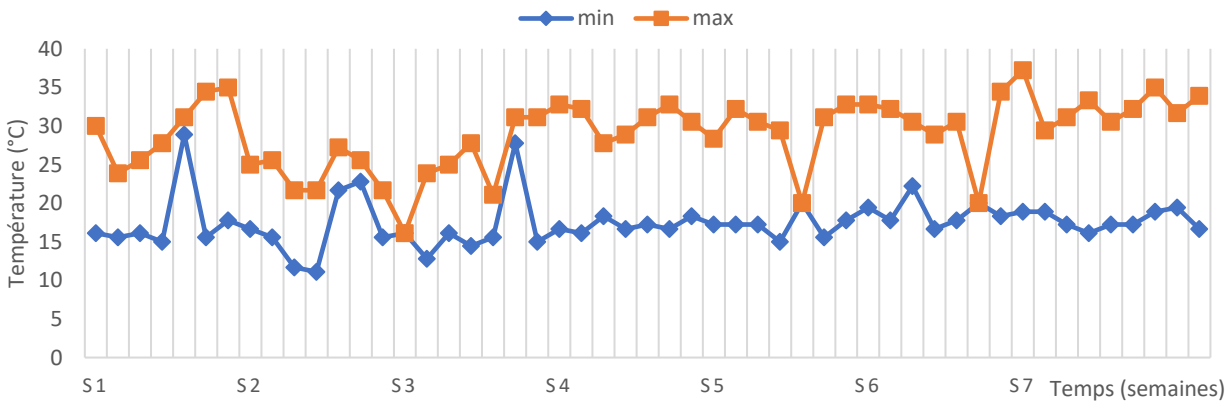

Figure 34. Variation journalière de la température dans le site de culture de sorgho

II. 3. Les paramètres physiologiques

La réponse physiologique des plantes du Sorgho, irriguées par différentes concentrations des margines, a été mesurée en fonction du temps. L'objectif principal était le suivi de l'évolution de la photosynthèse, de la transpiration, de la conductance stomatique et de l'efficacité du photosystème II pour les quatre parcelles cultivées dans le champ ouvert, en prenant en considération la variation de la température ambiante.

La photosynthèse (A), représentée par le taux d'absorbance de CO_2 (**figure 35**) a diminué pendant les deux premières semaines pour toutes les concentrations. Cela pourrait être expliqué par l'augmentation de la température durant cette période, ce qui a forcé la fermeture des stomates pour limiter la perte d'eau. Cette explication est justifiée par le comportement de la courbe représentant la variation de A dans le témoin. Entre la 3ième et la 4ième semaine, l'absorbance de CO_2 a augmenté d'une façon remarquable pour les différentes plantes, avec un maximum observé chez les plantes irriguées par les margines diluées à ½ (A = 36,3 mmol.m^{-2}. s^{-1}). Alors que la faible valeur a été enregistrée chez les plantes irriguées par les margines brutes (A = 25 mmol.m^{-2}. s^{-1}). Ceci semble être dû à l'effet salifiant des margines brutes qui a déclenché le stress hydrique chez ces plantes étant donné que la température était modérée (32°C). Dans ce cas la température n'est plus le facteur limitant, C'est la concentration des margines qui a limité le taux de A. En effet, lorsqu'une plante subit un stress, la photosynthèse est perturbée. Or toutes les voies de désexcitation sont interdépendantes : si l'émission d'électrons est perturbée, la chaîne de transport d'électrons est alors détériorée, la dissipation d'énergie (chaleur ou fluorescence) augmente. L'intensité de la fluorescence est donc directement liée, par une relation inverse, au rendement photochimique.

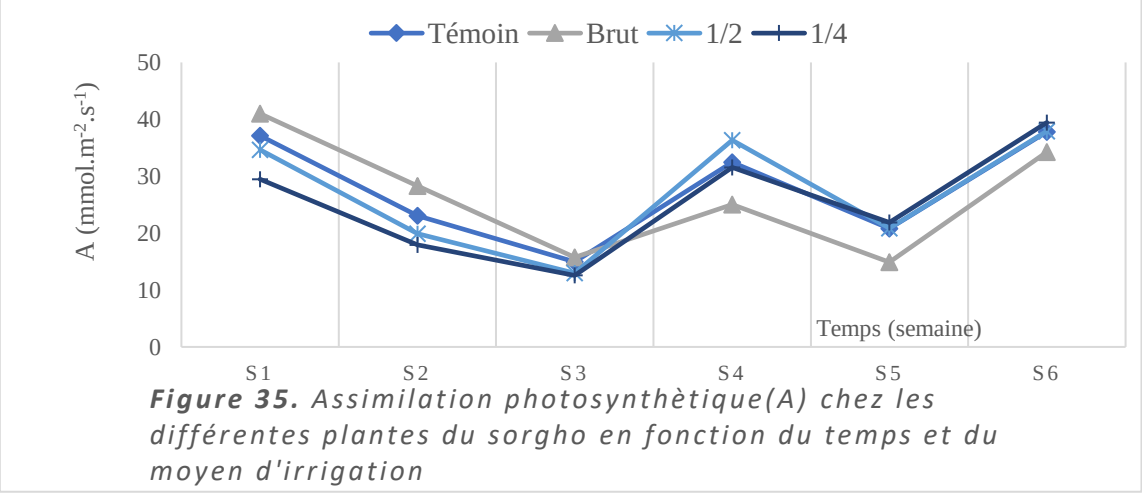

Figure 35. *Assimilation photosynthètique(A) chez les différentes plantes du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigation*

La transpiration (E) (**figure 36**) a varié de la même manière que A. Une augmentation remarquable a été constaté durant la 4ième et la 6ième semaines surtout pour les parcelles irriguées par des margines diluées à ¼ et par le témoin (E = 11,30 mmol.m^{-2}. s^{-1} et E = 11,09 mmol.m^{-2}. s^{-1} successivement). La faible valeur a été enregistrée chez les plantes irriguées par les margines brutes (E=7,55 mmol.m^{-2}. s^{-1}).

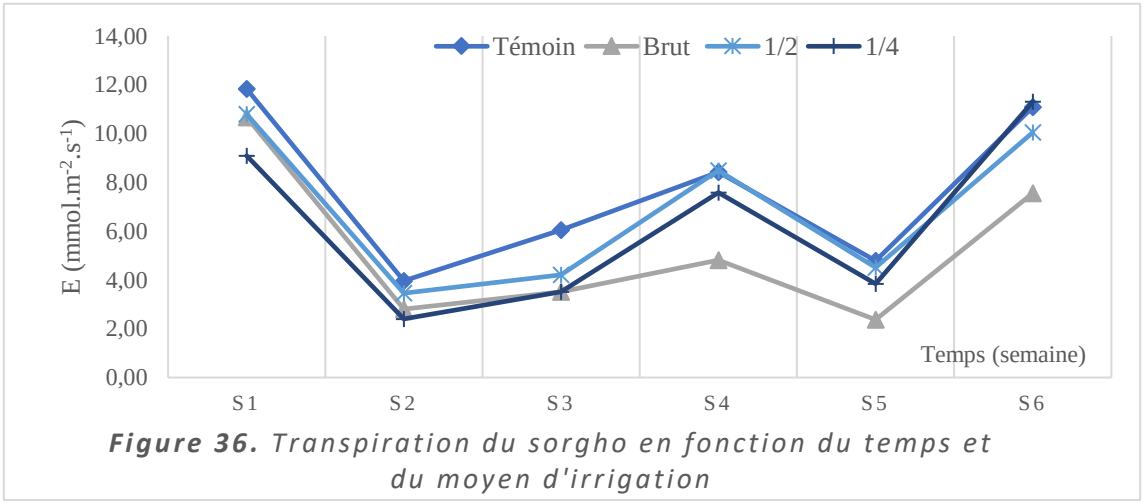

Figure 36. *Transpiration du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigation*

Quant à la conductance stomatique (Gs) (**figure 37**), elle a diminué de façon continue durant les trois premières semaines à cause de l'élévation de la température notamment durant les 2 premières semaines. Ce paramètre a connu une augmentation durant les trois dernières semaines de croissance pour atteindre une valeur maximale (Gs = 0,35 mol.m^{-2}. s^{-1}) enregistrée chez les plantes irriguées par les margines diluées à moitié ½, après une chute continue durant les trois premières semaines expliquée par l'élévation de la température surtout durant les 2 première semaines.

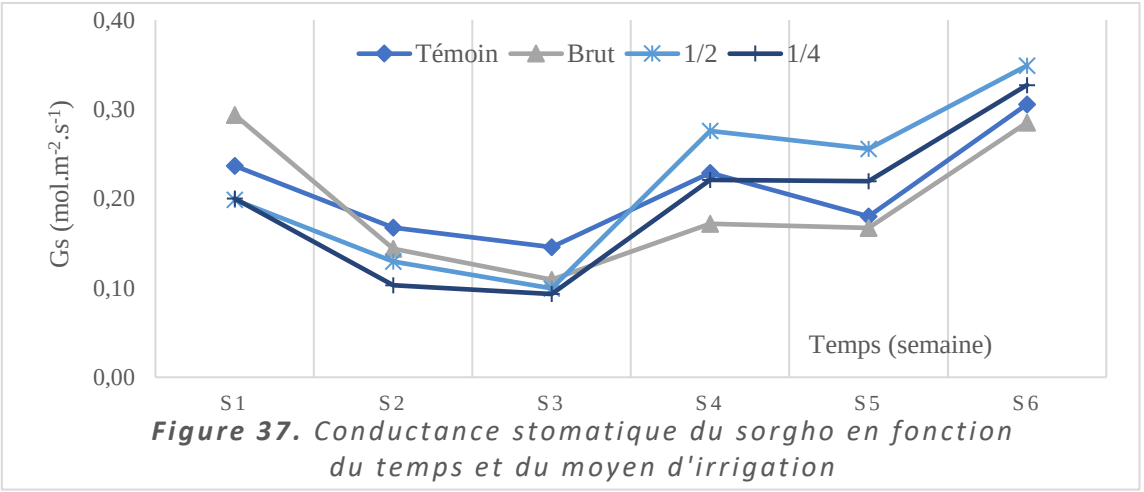

Figure 37. *Conductance stomatique du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigation*

L'efficience du photosystème II (F_v/F_m) (**Figure 38**), a été proche de la valeur 0,8 à l'état physiologique normale. Elle a suivi le même comportement que les autres grandeurs en fonction de la température ambiante. La valeur maximale est observée pour les plantes irriguées par les margines diluées à moitié (F_v/F_m = 0,775) durant la cinquième semaine. D'un autre côté, la courbe linéaire a montré une amélioration de ce paramètre chez les plantes irriguées par les margines de dilutions respectives de ½ et ¼. Cela pourrait être probablement dû à l'adaptation de ces plantes avec les conditions environnementales d'une manière efficace par-rapport aux autres conditions. Les faibles valeurs (F_v/F_m = 0,686) correspondent aux plantes irriguées par les margines brutes durant la deuxième semaine.

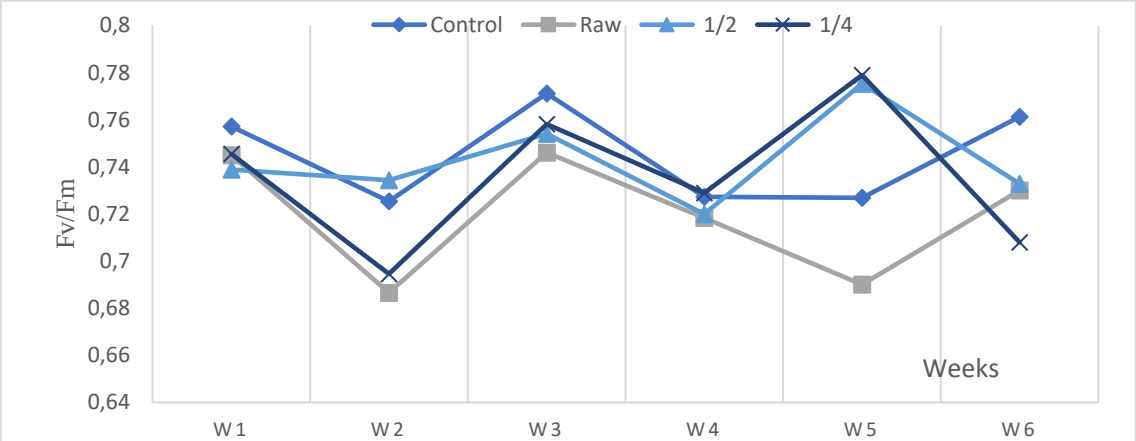

Figure 38. Variation de l'efficacité de la PSII du sorgho en fonction du temps et du moyen d'irrigaton

L'examen des différents paramètres caractérisant le sorgho irrigué par les margines brutes a montré un effet négatif à cause de leur forte charge en matière organique non biodégradable et de leur teneur élevée en polyphénols 9 g/L.

Les teneurs des feuilles en azote Kjeldahl (**Figure 39**) (Azote organique + ammoniacal), ont été importante chez les plantes qui n'ont subi aucun apport de margines (155,78 mg. g^{-1}ps). La faible teneur a été enregistrée chez les plantes irriguées par les margines diluées ¼ (7,93 mg. g^{-1}ps). Ce phénomène pourrait être dû au fait que les matières organiques et minérales, ainsi que

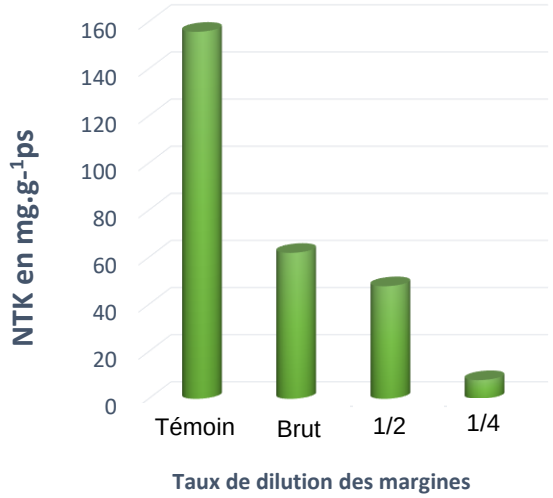

Figure 39. Azote Kjeldahl dans les feuilles en fin de croissance

les polyphénols des margines détruisent l'activité microbienne du sol et stoppent la minéralisation de l'azote organique. Ce résultat contredit celui de (Sahraoui et *al*. 2012) qui ont confirmé que l'épandage des margines n'avait ni activation, ni inhibition de l'activité de la microflore du sol, suite à l'épandage des doses de 25 à 50 m^3 de margines par hectare.

L'utilisation d'un outil statistique était indispensable pour comparer la variation temporelle des différentes grandeurs mesurées. C'est la raison pour laquelle nous avons fait un T-Test (**Tableau 11**) réalisé par l'application Excel (T-test) de Microsoft office 2016. Ce test a montré une conformité plus importante entre les plantes témoins et les plantes irriguées par les margines à moitié diluées. Cela veut dire que pour avoir de bons résultats, les margines doivent subir une dilution de ½ , puis un traitement pour réduire la charge organique ; principalement les polyphénols qui s'avèrent difficilement biodégradables (Marques 2001).

Tableau 11. T-Test de conformité entre les paramètres physiologiques du sorgho et les concentrations des margines

Taux de dilution des margines / Paramètres	**Trai-comparés**	**Témoin-brut**	**Témoin-1/2**	**Témoin-1/4**
Transpiration (E)	**T-test sig**	0,003	0,038	0,028
Conductance stomatique (Gs)		0,286	0,784	0,319
Efficience de transpiration		0,007	0,479	0,480
Efficience de conduction stomatique		0,333	0,615	0,420
L'absorbance de CO_2 (A)		0,610	0,599	0,192
Fv/Fm		0,004	0,855	0,610
NTK		0,022	0,020	0,007

III. Elaboration d'un biomatériau à la base des aiguilles de pin d'Alep de la province de Taza-Maroc

III. 1 Identification du biomatériau PA

III.2. 1 Caractérisation physicochimique

Les résultats de la caractérisation physicochimique du biomatériau PA montrent qu'il est acide, moyennement humide, doté d'une faible densité et une faible charge minérale et possède une surface spécifique de 134,67 m^2/g (Tableau 12). Il ne porte aucun élément toxique. Il ne présente donc aucun risque pour le traitement des eaux.

Tableau 12. Paramètres physicochimiques du biomatériau PA (Sinus Halepensis)

Paramètres	**pH**	**H (%)**	**D**	**CE (µS/cm)**	**Fe (mg/L)**	**P (mg/L)**	**Mg (mg/L)**	
Valeur	4,32	41,06	0,60	1181,00	0,02	0,11	0,82	
Paramètres	**Mn (mg/L)**	**Ca (mg/L)**	**Na (mg/L)**	**K (mg/L)**	**Zn (mg/L)**	**Cu (mg/L)**	**Al (mg/L)**	**Ssp ($m^2.g^{-1}$)**
Valeur	<0,01	2,41	2,43	0,58	0,07	<0,01	0,23	134,67

Cependant, pour s'assurer de l'efficacité de notre biomatériau dans ce domaine, des recherches supplémentaires ont été nécessaires pour comprendre complètement ses propriétés et ses applications potentielles. Dans cette optique nous avons déterminé le point de la charge zéro (PCZ), qui est un paramètre important pour optimiser les conditions opératoires en fonctions de l'adsorbat (Al-Maliky, Gzar, et Al-Azawy 2021). La courbe du point de charge zéro (Figure 40) montre que le biomatériau PA est positivement chargé pour un pH inférieur au point isoélectrique (5,8) ; il a donc tendance à accepter les ions négativement chargés, et au-delà de ce point, la charge de surface de la poudre est négative, ce qui favorise l'adsorption des colorants et des composés positivement chargés.

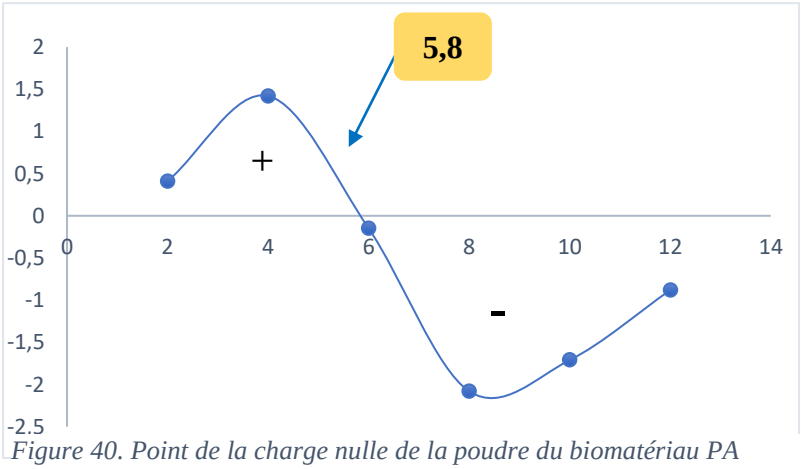

Figure 40. Point de la charge nulle de la poudre du biomatériau PA

III.2. 2 Caractérisation spectroscopique

III.1.2. 1 Spectrométrie Infrarouge

Le spectre infrarouge du biomatériau P.A (figure 41) confirme l'existence de plusieurs fonctions chimiques : O-H, C-H, C=O, C=C, C-O. Une liaison à 3350 cm^{-1} correspondant à la vibration d'étirement O-H. Cette liaison est probablement attribuée au groupe alcool et phénol caractéristique de la cellulose et de la lignine considérées comme l'un des principaux constituants des plantes. La bande observée autour de 2900 cm^{-1} est probablement liée à

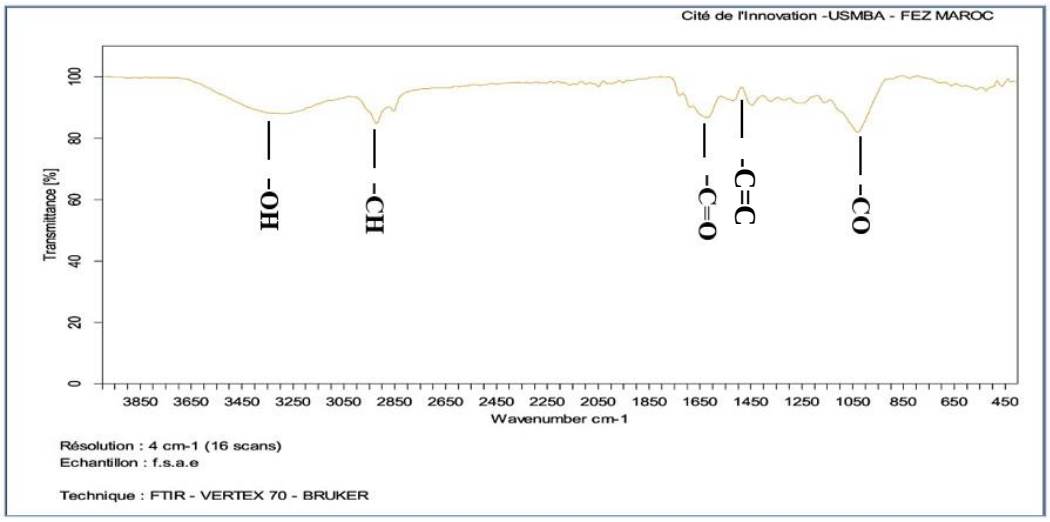

Figure 41. Spectre Infrarouge du biomatériau P.A

l'étirement symétrique et asymétrique des chaînes aliphatiques C-H, notamment en raison de la présence des groupes méthyle (CH_3-) et méthylène (-CH_2-) des chaînes latérales. Les pics autour de 1650 et 1550 cm^{-1} pourraient être attribués à la vibration C=O due à la forme carboxylique et carboxylate de la cellulose, qui peut agir comme un groupe actif pour lier les ions toxiques présents dans l'eau. Tandis que le pic à 1540 cm^{-1} peut être attribué à la présence d'anneaux aromatiques avec des liaisons C=C et à la lignine. Les pics à 1250 et 1050 cm^{-1} peuvent correspondre à un éther et à un alcool C-O, notamment dans les composés cellulosiques. Cette analyse a montré aussi la présence des composés aromatiques et des empreintes de la cétone qui se manifeste par les vibrations qui s'étalent sous forme de « finger print » entre 1150 cm^{-1} et 1450 cm^{-1}, relatant ainsi la présence de cellulose, de pectine, de lignine, d'hémicellulose et de furfural (Benouadah et *al.* 2019). Ainsi les groupements fonctionnels oxygénés de surface expliquent bien le caractère acide du biomatériau.

Les résultats obtenus par la spectroscopie infrarouge concordent avec ceux précédemment obtenus lors de la détermination des groupes fonctionnels, confirmant ainsi la présence de groupes Carboxyle (COOH), Hydroxyle (OH) et Lactone (C=O) à la surface du biomatériau

PA. Ces fonctions chimiques peuvent agir comme des surfaces d'échange complexes, permettant la fixation des polluants présents dans les eaux usées en formant des liaisons chimiques avec les différentes particules polluantes qu'elles contiennent.

Cette capacité d'interaction avec les composants polluants souligne le potentiel du biomatériau PA dans le domaine du traitement des eaux. En effet, ces groupes fonctionnels offrent des sites actifs pour la formation de liaisons chimiques spécifiques avec diverses substances polluantes, favorisant ainsi la purification de l'eau. L'efficacité de cette interaction repose sur la capacité du biomatériau à servir de support de fixation, offrant ainsi une solution prometteuse pour la décontamination des eaux usées.

III.1.2. 2 Diffraction des rayons X (DRX)

L'analyse par diffraction des rayons X (DRX) du biomatériau P.A, telle que représentée dans la Figure 42, indique sur sa structure cristalline et/ou amorphe par la présence des pics à des angles de diffraction liés aux différents éléments du matériau. Les pics principaux, situés à des angles 2θ de 22.0224°, 31.7726°, 43.4867°, 50.6576° et 72.5276°, sont caractéristiques de la cellulose

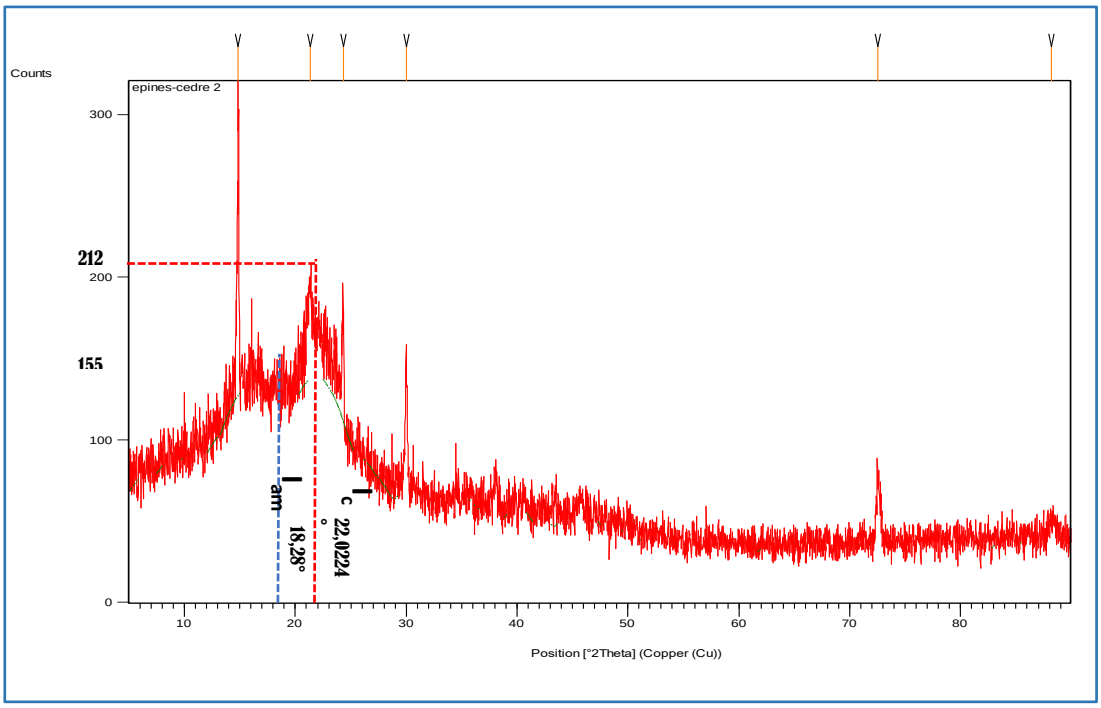

Figure 42. Diffractogrmme X du biomatériau P.A

I (Ju et al. 2015). Il est à noter que la cellulose naturelle est reconnue comme une combinaison de deux formes cristallines distinctes, à savoir la cellulose Iα (triclinique) et la cellulose Iβ (monoclinique) (Driemeier et Francisco 2014), dont les proportions varient en fonction de l'origine de l'échantillon de cellulose. La présence de ces pics spécifiques à la cellulose I suggère la prédominance de cette forme cristalline dans la structure du biomatériau P.A.

L'apparition d'un halo amorphe à une hauteur de 15° indique que certaines parties du matériau sont amorphes, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas de structure cristalline établie. Dans les matériaux à base de plantes, cette nature semi-cristalline du biomatériau est courante et est souvent associée à la flexibilité mécanique et aux capacités de liaison d'eau (Haddadou et *al*. 2015).

La méthode de la hauteur du pic, également connue sous le nom de méthode de Segal, est l'approche analytique la plus utilisée pour caractériser la cristallinité des échantillons cellulosiques (French et Santiago Cintrón 2013). Il s'agit du rapport entre l'intensité de la cellulose cristalline (I_c-I_{am}) et l'intensité totale (I_c) à 2θ = 22,0224°, où I_{am} est l'intensité de la phase cellulosique amorphe à 2θ = 18,28° qui correspond à la position minimale du motif de diffraction. La figure 38 montre un exemple des pics cristallins et amorphes utilisés dans l'équation 11 :

$$CrI(\%) = \frac{I_C - I_{am}}{I_C} \times 100 \qquad \text{eq 11}$$

La taille moyenne des unités cristallines a été calculée à partir de l'équation de Scherrer (Équation 12). La méthode est basée sur la largeur à mi-hauteur des motifs de diffraction obtenus dans la région cristalline réfléchie par les rayons X. La taille des cristallites (Lhkl) a été déterminée à l'aide du motif de diffraction.

$$L_{hkl} = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta} \qquad \text{eq 12}$$

Où k est la constante de Scherrer, dont la valeur est de 0,94, λ est la longueur d'onde des rayons X (0,154 nm), β en radians représente la largeur totale du pic de diffraction et θ est l'angle de Bragg correspondant.

Les résultats indiquent que le pic cristallin (200) est le plus net et détermine la dimension latérale de la cristallinité. Le pic cristallin (200) est directement lié à la taille des cristallites, calculée à une longueur d'onde de 1,71 nm (Tableau 13).

Tableau 13. Liste des crêtes de cristal PA

	Pos. (°2Th)	***Height***	***β (rada)***	***CrI*** (%)	**L_{hkl} (nm)**
1	22,0224	212,56	0,081		1,71
2	31,7726	27,25	-		-
3	43,4867	55,68	-	26.8%	-
4	50,6576	26,28	-		-
5	72,5276	414,95	$9,198.10^{-3}$		15,05

III.1.2. 3 Microscopie électronique à balayage (MEB)

L'analyse du biomatériau P.A par microscopie électronique à balayage (MEB) (figure 43) renseigne sur sa structure, sa porosité, sa composition et ses applications potentielles. La structure poreuse crée une surface spécifique étendue, fournissant davantage de sites d'adsorption pour les contaminants présents dans l'eau. Ces pores agissent comme des sites d'ancrage, permettant au biomatériau d'interagir de manière plus étroite avec les molécules indésirables, favorisant ainsi une adsorption plus efficace. De plus, la diversité de la taille et de la distribution des pores peut améliorer la capacité globale du biomatériau à adsorber une gamme variée de polluants.

La composition élémentaire du biomatériau PA peut être découverte à l'aide d'une analyse semi-quantitative par spectrométrie d'énergie dispersée (EDX) (figure 44). Le carbone (C) et l'oxygène (O) constituent la majorité du biomatériau. Il est généralement associé aux composants organiques des biomatériaux à base de plantes. D'autres éléments, comme le magnésium (Mg), l'aluminium (Al), le phosphore (P), le soufre (S), le chlore (Cl), le potassium (K) et le calcium (Ca), sont présents en faibles quantités (Tableau 14). Ces composants peuvent être liés aux impuretés ou aux particules mineurs du matériau. En raison de sa structure poreuse et de sa capacité potentielle d'adsorption de polluants, on peut interpréter que le biomatériau P.A est approprié pour des applications liées au traitement des eaux. Les propriétés d'adsorption peuvent être influencées par la composition majoritairement organique du matériau, principalement composée de carbone et d'oxygène.

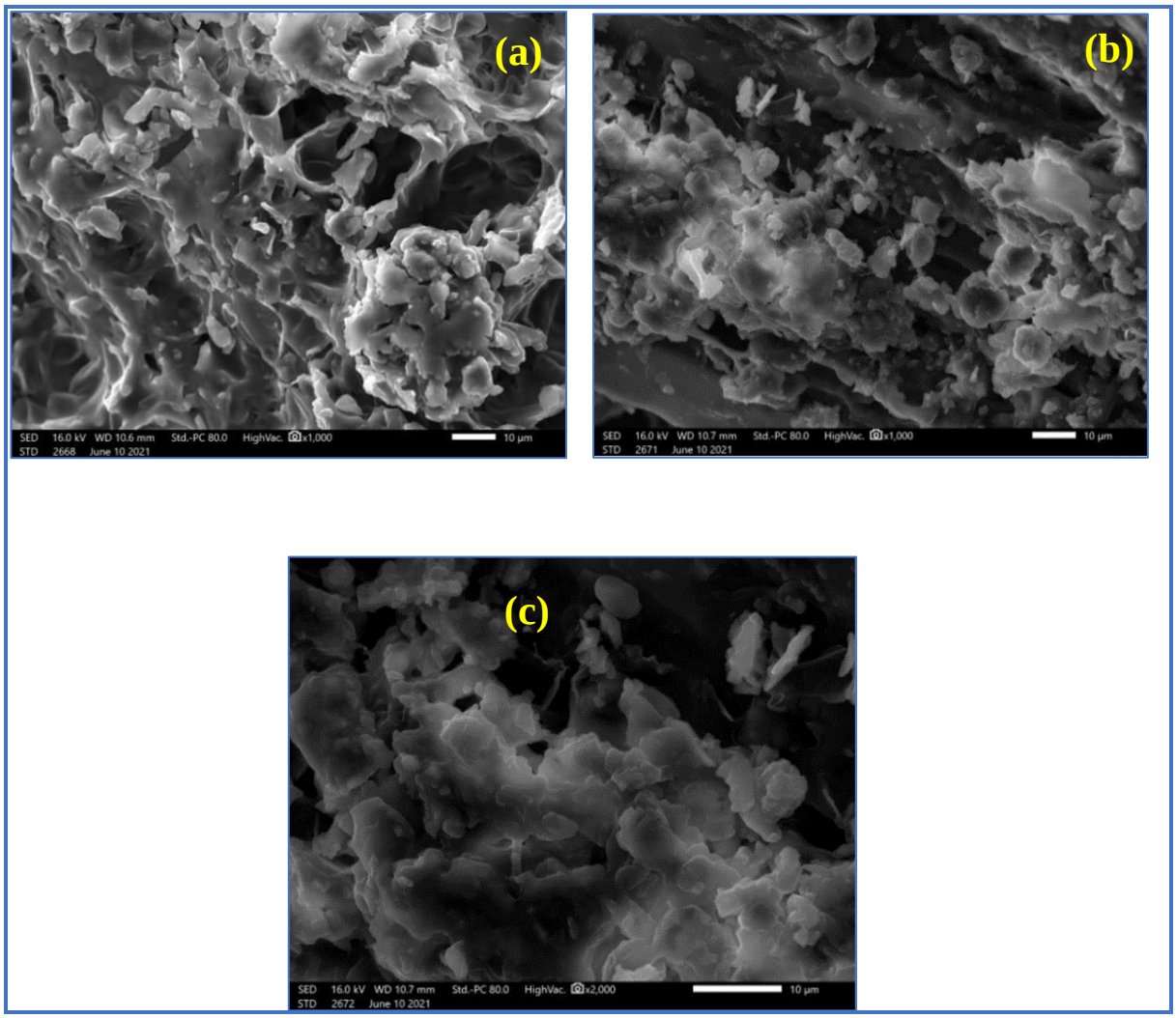

Figure 43. Observation au microscope électronique à balayage du biomatériau (P.A)

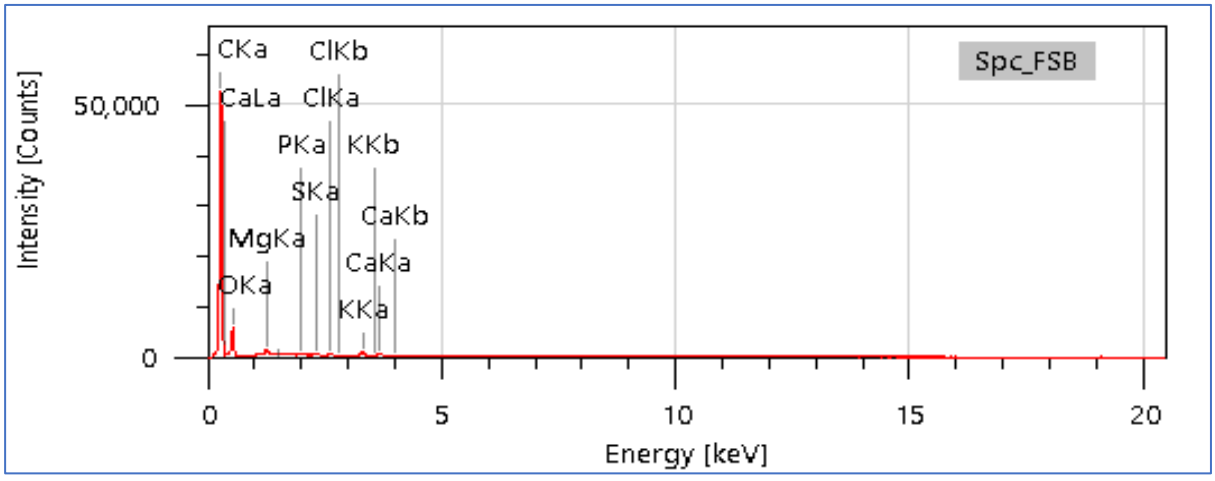

Figure 44. Spectre de dispersion en énergie (EDX) du biomatériau P.A

Les résultats de la diffraction des rayons X (DRX) et de la spectroscopie infrarouge (IR) sont parfaitement cohérents, ce qui renforce les conclusions. Ces résultats suggèrent que la majorité du biomatériau étudié est constitué de molécules organiques.

Tableau 14. Eléments constituant le biomatériau P.A

Éléments	Ligne	Mass%	Atom%
C	K	73,82±0,06	79,91±0,06
O	K	23,26±0,10	18,91±0,08
Mg	K	0,70±0,01	0,37±0,01
Al	K	0,09±0,01	0,04±0,00
P	K	0,29±0,01	0,12±0,00
S	K	0,34±0,01	0,14±0,00
Cl	K	0,24±0,01	0,09±0,00
K	K	0,83±0,01	0,28±0,00
Ca	K	0,43±0,01	0,14±0,00
Total		100,00	100,00
Spc_FSB		Rapport d'ajustement 0,0130	

III. 2 Application de la poudre de pin d'Alep pour le traitement d'une eau usée

III.2. 1 Echantillonnage et prélèvement

L'eau usée traitée est prélevée du regard déversant dans l'oued Larbâa au niveau du point O4 évalué le plus pollué. L'échantillonnage a eu lieu par la méthode instantanée

III.2. 2 Caractérisation des eaux usées

Elle a été faite par analyse du pH, de la conductivité, de la demande biologique en oxygène DBO5 et de la demande chimique en oxygène DCO selon les normes AFNOR présentées par Rodier (Rodier 2016).

Les résultats (Tabeleau15) montrent que cette eau est presque neutre, porte une charge minérale élevée et une charge organique non biodégradable.

Tableau 15. Caractérisation des eaux usées avant le traitement

Paramètres	**Valeur**	**Normes marocaines de rejet des eaux usées dans l'eau de surface**
pH	7,8	NM 03.7.009 (2012)
χ (µS/cm)	3600,0	NM 03.7.011 (2001)
DBO_5 ($mg(O_2)/L$)	14255,0	NM 03.7.054 (2013)
DCO ($mg(O_2)/L$)	1397,0	NM 03.7.054 (2013)
DCO/DBO_5	10.2	

III.2. 3 Traitement des eaux usées par adsorption sur le P.A

III.2.3.1. Etude cinétique

Les résultats de la cinétique d'adsorption de la matière organique (DCO) sont présentés dans la figure 45. Ce graphe illustre le rendement en % et les capacités d'adsorption en mg de polluant par gramme d'adsorbant en fonction du temps.

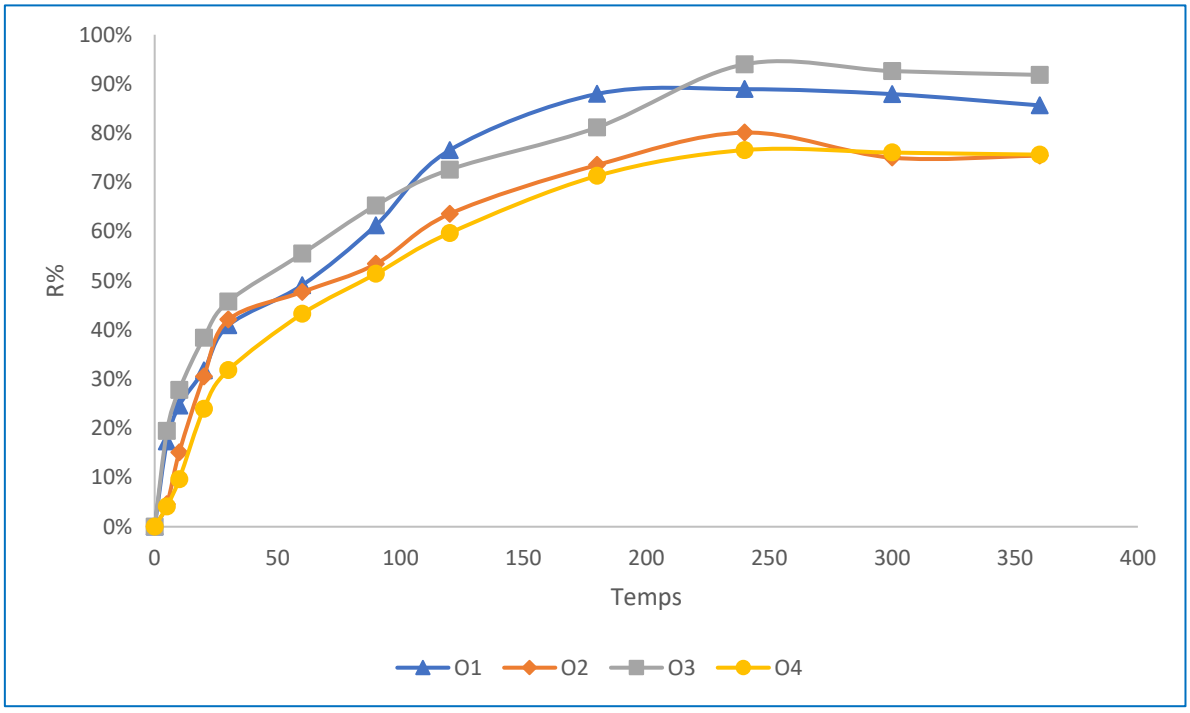

Figure 45. Cinétique d'adsorption de la matière organique sur le P.A

L'analyse des courbes révèle que la réaction d'adsorption se déroule en deux phases distinctes : une phase initiale très rapide, permettant l'élimination de la majeure partie de ces polluants dans les premières minutes grâce à une adsorption à la surface extérieure de l'adsorbant, suivie d'une phase lente qui ne commence à se stabiliser qu'après 120 minutes. Cette dernière phase est caractérisée par une diffusion à l'intérieur du solide suivie d'une fixation. En outre, les résultats indiquent que le taux de réduction de la DCO augmente progressivement avec le temps de contact jusqu'à ce qu'un plateau de saturation des matériaux adsorbants soit atteint après 240 minutes, marquant l'atteinte de l'équilibre d'adsorption. Cette observation peut être attribuée à la saturation des sites d'adsorption des adsorbats. Les résultats obtenus suggèrent ainsi une cinétique d'adsorption de type pseudo-deuxième ordre.

Le taux d'élimination maximale de la pollution a été d'environ 94 % pour l'échantillon O3. En effet, la composition chimique des eaux de ces points présente une forte concentration en

matières organiques, en nitrates, en phosphates. Ces éléments peuvent interagir avec les sites actifs de l'adsorbant, comme les groupes fonctionnels acides ou basiques, les sites d'échange cationique ou les pores, et ainsi augmenter la capacité d'adsorption (Bentahar 2016).

Nous avons constaté que même avec un taux d'abattement significatif, les concentrations de DCO sont restées au-dessus des limites de rejet fixées au Maroc à 250 mg/L, à l'exception des eaux du point O3, où nous avons obtenu une concentration de 105,34 mg(O_2)/L après 240 minutes.

III.2.3.2. Modélisation de la cinétique d'adsorption

Les données cinétiques recueillies pour le processus d'adsorption de la charge organique (DCO) sur l'adsorbant PA, ont été analysées en utilisant deux modèles cinétiques : le pseudo-premier ordre et le pseudo-second ordre (Figures 46).

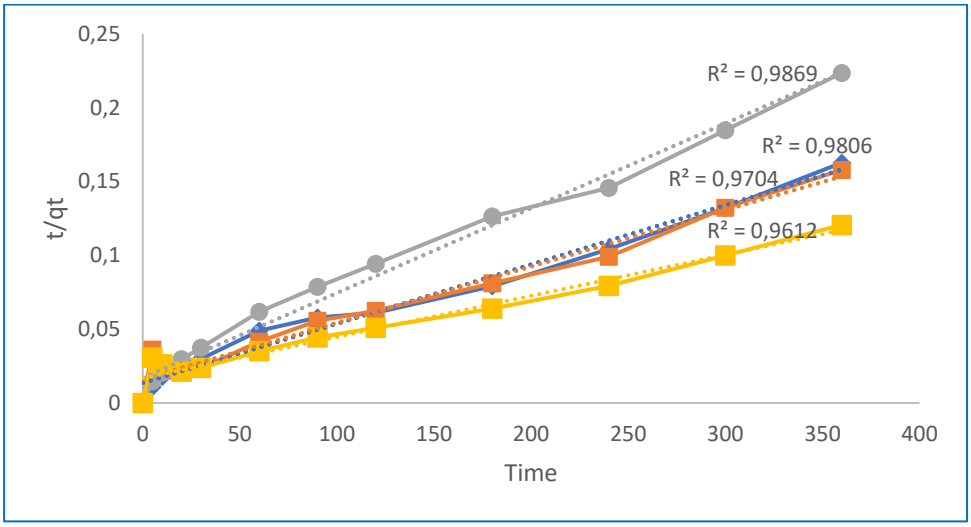

Figure 46. Modèle pseudo-deuxième ordre de la cinétique d'adsorption de la charge organique sur le PA

Les graphiques représentant log(qe-qt) et t/q_t en fonction du temps, ainsi que q_t en fonction de $t_{½}$, ont permis de déterminer les paramètres cinétiques pour chaque modèle, permettant ainsi de déterminer le modèle qui décrit le mieux le processus d'adsorption de la charge organique (DCO) sur le biomatériau PA.

Les résultats indiquent que les coefficients de corrélation R^2 pour le pseudo-premier ordre et la diffusion intraparticulaire sont relativement faibles, compris entre 0,45 et 0,70 pour la DCO. En revanche, les valeurs de R^2 pour le pseudo-second s'approchent de la valeur 1, surpassant de loin celles obtenues avec le modèle du pseudo-premier ordre. Selon ces résultats, quelle que soit la valeur de DCO, le modèle cinétique du pseudo-deuxième ordre définit parfaitement la cinétique d'adsorption de la matière organique sur PA. La chimisorption est l'étape impliquant un échange d'électrons à l'interface solide-liquide selon ce modèle.

III.2.3.3. Etude paramétrique du processus d'adsorption

L'objectif de cette étude est d'examiner l'impact des paramètres opérationnels clés, tels que la masse de l'adsorbant, le pH et la charge initiale de matière organique (DCO), sur la capacité d'adsorption du PA et l'efficacité générale du processus d'adsorption. Pour ce faire, nous avons concentré nos efforts sur l'évaluation des eaux usées d'un point de rejet qui se trouve près du point O4, qui présentaient la plus forte concentration de DCO.

III.2.3.3. 1. L'effet de la masse de l'adsorbant

La figure 47 illustre l'impact de la masse de l'adsorbant sur sa capacité d'adsorption ainsi que sur le pourcentage d'élimination de la charge organique pour l'adsorbant étudié. L'analyse des graphiques révèle une augmentation du taux d'élimination avec l'augmentation de la masse de l'adsorbant. Par exemple, une augmentation de la charge d'adsorbant de 0,15 à 0,2 g entraîne une augmentation du pourcentage d'élimination de la DCO, passant de 84 % à 90 %.

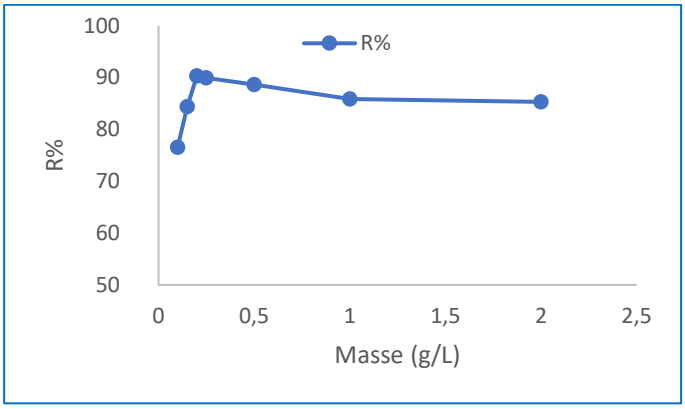

Figure 47. L'influence de la masse de l'adsorbant sur le taux d'abattement de la DCO (à pH neutre ; DCOi = 3947,52 mg(O_2) /L ; T = 25 °C)

Ces résultats s'expliquent par l'augmentation du nombre de sites actifs d'adsorption lorsque la charge en adsorbant est augmentée, ce qui augmente la disponibilité des sites d'adsorption et donc le rendement de rétention.

Il convient également de noter qu'une augmentation de la concentration d'adsorbant au-delà de 0,25 g/L n'a pas entraîné une augmentation du taux d'élimination des polluants. Selon Achak et *al.* 2008, cela pourrait être dû à la saturation de l'adsorbant, où toutes les molécules de composés organiques se lient à l'adsorbant, établissant ainsi un équilibre entre les molécules liées aux adsorbants et celles non adsorbées dans la solution.

III.2.3.3. 2. L'effet du pH

La figure 48 met en lumière l'impact du pH sur le pourcentage d'élimination de la DCO pour l'adsorbant PA. Les résultats obtenus révèlent que l'efficacité d'élimination de la DCO par notre adsorbant est considérablement plus élevée à des valeurs de pH acide. Elle diminue de manière significative aux pH basique, lorsque la masse d'adsorbant est de 0,2 g/L. Les rendements les plus élevés sont observés pour des valeurs de pH comprises entre 3 et 5,7.

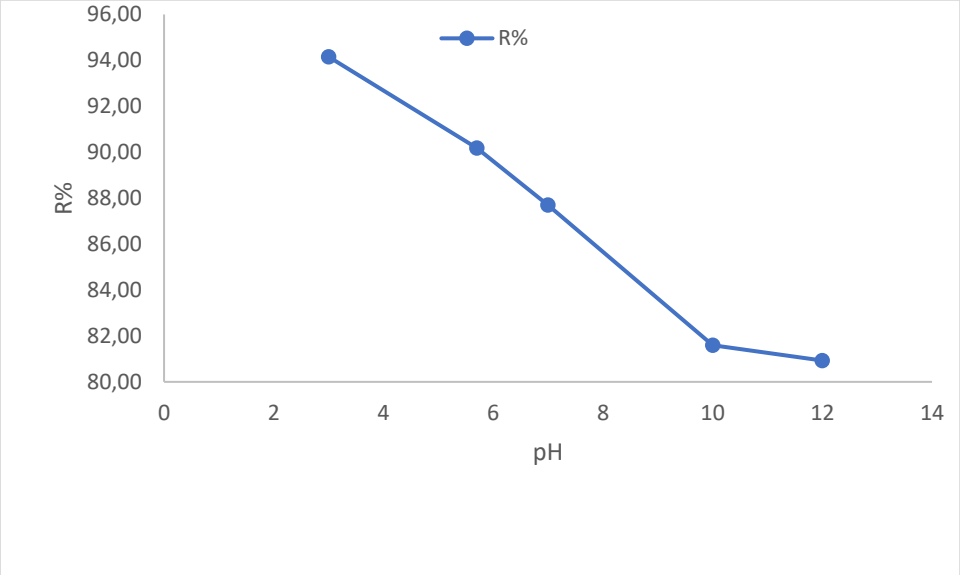

Figure 48. Effet du pH sur le taux d'abattement de la DCO (m=0,2 g/L; DCOi = 3947,52 mg(O_2)/L ; T = 25 °C)

L'analyse de ces résultats nous conduit à conclure que l'adsorption de la matière organique est favorisée à des valeurs de pH légèrement inférieures au pH_{pzc}, qui est d'environ 5,8. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait qu'à ces valeurs de pH ($pH < pH_{pzc}$), la surface de notre adsorbant est chargée positivement, favorisant ainsi une forte interaction entre la surface des matériaux et les molécules des polluants chargées négativement. En revanche, aux pH supérieurs au point de charge nulle ($pH > pH_{pzc}$), la surface du PA est plutôt chargée négativement, ce qui accroît la force de répulsion entre les polluants et la surface des matériaux, entraînant ainsi une diminution du pourcentage d'élimination de la charge polluante en DCO.

III.2.3.4. Isothermes d'adsorption

Les graphiques des isothermes d'adsorption de la charge organique (DCO) et du biomatériau (PA) sont illustrés dans la figure 49. Le tableau 16 répertorie les constantes d'adsorption et les coefficients de corrélation R^2 des modèles utilisés.

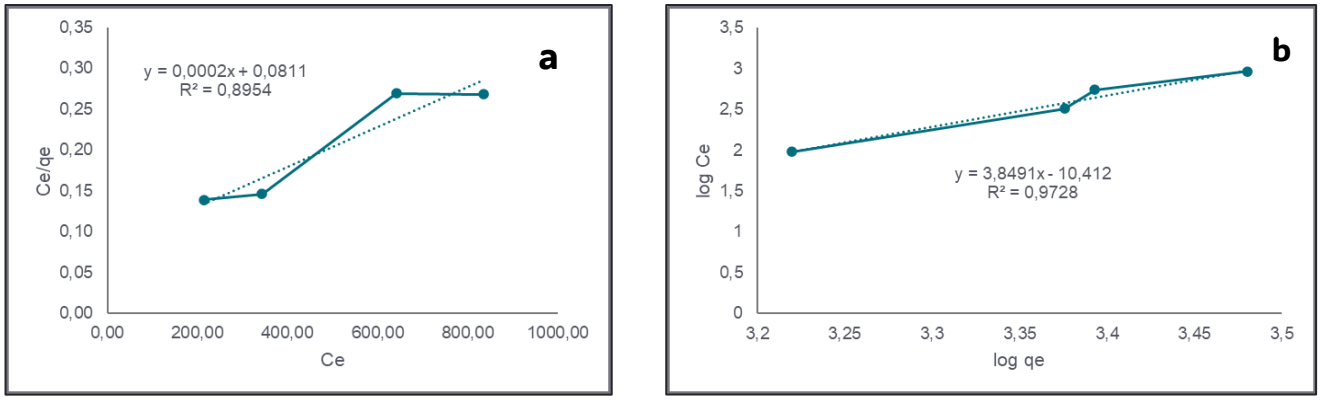

Figure 49. Les isothermes d'adsorption de la charge organique (DCO) sur le biomatériau PA sont représentées comme suit : (a) : Modèle de Langmuir ;(b) : Modèle de Freundlich.

Tableau 16. Constantes des Modèles de Freundlich et de Langmuir

	Modèle de Langmuir				**Modèle de Freundlich**		
	K_L (g/mg.min)	$q_{m(}$mg/g)	R^2	R_L	K_F	n	R^2
DCO	0,000011	3333,333	0,9765	>1	41600638,8	3,5876	0,6991

Ces résultats révèlent que le modèle de Freundlich décrit de manière satisfaisante les données expérimentales concernant l'adsorption de la charge organique (DCO) des eaux usées sur le biomatériau PA. Les valeurs de $0 < 1/n < 1$ confirment que l'adsorption est favorable. Cela suggère que l'adsorption des polluants organiques sur le PA se produit en multicouche et que la surface de l'adsorbant est hétérogène. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus par Zineb Majbar 2019, où le modèle de Freundlich a bien décrit l'adsorption des composés organiques.

Conclusion

L'étude menée sur la valorisation des margines dans la fertilisation du sol pour la culture du sorgho reposait sur des techniques de remédiation qui adoptent une méthodologie intégrée. Différentes dilutions des margines (100%, 50% et 25%) ont été utilisées dans le processus. Les résultats indiquent que les plantes traitées avec les margines brutes présentent des valeurs plus faibles en termes de transpiration, de conductance stomatique, d'efficience du photosystème II, et de teneur en azote. Les margines diluées à 50% donnaient des résultats similaires à ceux observés avec l'eau seule utilisée comme témoin, en termes du taux de DBO_5 par un litre de margines qui était réduit de 2302 Kg/an/ha. Ces résultats encouragent la culture du sorgho, se caractérisant par sa résistance à la sécheresse et sa capacité à maîtriser la croissance de mauvaises herbes. De plus, l'épandage de margines diluées sur les cultures de sorgho montrait des effets bénéfiques, ce qui représente un intérêt particulier pour l'oléiculture marocaine, où la gestion des margines est un défi majeur.

L’étude réalisée sur la caractérisation des aiguilles de pin d'Alep (P.A), ressource abondante dans la région de Taza, montrait que le traitement physique de ces aiguilles peut aboutir à l’obtention d'un biomatériau léger, peu conducteur, poreux et acide, principalement composé de carbone et d'oxygène. Des caractéristiques qui font de lui un adsorbant de bonne qualité avec un rendement d’abattement de la DCO des eaux usées déversées dans les eaux de surfaces jusqu’à 94% dans les conditions optimales de pH égale à 3, de temps de la réaction 240min, et de masse d’adsorbant de 0.2 $g.L^{-1}$.

La cinétique d'adsorption des polluants organiques sur le biomatériau PA suit un modèle pseudo-second ordre. Tandis que l'ajustement des données expérimentales des isothermes d'adsorption de la DCO à l'équation de Freundlich est plus approprié que celui de Langmuir.

Partie II : Risques sanitaires liés à la pollution des eaux des oueds de la ville de Taza

Partie II : Risques sanitaires liés à la pollution des eaux des oueds de la ville de Taza

Cette partie présente les liens entre les maladies à transmission hydrique et la qualité des eaux des oueds traversant la ville de Taza par une étude épidémiologique. L'accent a été mis sur 3 maladies, les plus fréquents et à risque dans la ville de Taza, à savoir la fièvre typhoïde, l'hépatite A et la gastro-entérite aiguë.

L'étude épidémiologique a eu lieu par une enquête transversale approfondie qui rassemble des données auprès d'une population représentative de la ville de Taza. La détermination des taux de prévalence de ces maladies, l'identification des facteurs de risques associés à leur transmission et la proposition de recommandations préventives sont les objectifs majeurs.

Chapitre I : Revue bibliographique

I. Introduction

Les maladies d'origine hydrique demeurent un problème de santé publique important dans le monde entier. Dans la ville de Taza, les maladies d'origine hydrique sont exacerbées par le manque d'installations de traitement des eaux usées appropriées. La ville abrite une population croissante, et les eaux usées générées sont rejetées dans les oueds, qui sont des canaux d'eau traversant la ville, sans aucun traitement (Touzani et *al*. 2020). Les zones environnantes des oueds sont également utilisées pour des activités agricoles, ce qui pourrait encore augmenter le risque de contamination de l'eau.

Par ailleurs, l'incidence des maladies d'origine hydrique dans la ville de Taza a augmenté ces dernières années. Trois des maladies les plus enregistrées sont la fièvre typhoïde, l'hépatite A et la gastro-entérite. Ces maladies ont des implications importantes pour la santé publique, et leur fardeau peut être particulièrement élevé dans les populations vulnérables telles que les enfants, les personnes âgées et celles ayant un système immunitaire affaibli (WHO 2022).

La fièvre typhoïde est causée par la bactérie *Salmonella Typhi* et se propage généralement par l'eau ou les aliments contaminés (Crump 2019). De même, l'hépatite A est une infection virale qui affecte le foie et se propage par l'eau ou les aliments contaminés. Les symptômes de la fièvre typhoïde comprennent de la fièvre, des maux de tête, des douleurs abdominales et de la diarrhée, tandis que les symptômes de l'hépatite A comprennent la fatigue, des nausées, des vomissements, des douleurs abdominales et une jaunisse. En outre, la gastro-entérite est un terme général utilisé pour décrire une inflammation du système digestif, généralement causée par une infection bactérienne ou virale. Les symptômes de la gastro-entérite comprennent la diarrhée, les nausées, les vomissements et les crampes d'estomac.

Les facteurs de risque et les déterminants des maladies d'origine hydrique dans la ville de Taza sont complexes et multifactoriels. Le manque d'installations de traitement des eaux usées appropriées est un facteur contribuant significatif. Les eaux usées rejetées dans les oueds ne sont pas traitées, et cette eau contaminée peut s’infiltrer dans les sources d'eau souterraines et de surface. De plus, les zones environnantes des oueds sont utilisées pour des activités agricoles (Ben Abbou et *al*. 2014), ce qui peut entraîner leur contamination et augmenter encore le risque d’éclosion des maladies à transmission hydriques. A cela s’ajoute les problèmes liés au

changement climatique ; en raison des faibles précipitations dans la région (Sinan et Belhouji 2016).

La prévention et le contrôle des maladies à transmission hydrique dans la ville de Taza sont essentiels pour réduire l'incidence et la charge de ces maladies. Les stratégies et interventions actuelles pour la prévention et le contrôle de ces maladies comprennent le développement des infrastructures d'eau et d'assainissement, l'éducation sanitaire et la surveillance des maladies (L'agence urbaine de Taza 2014). Cependant, malgré les progrès en matière de traitement, de systèmes d'assainissement et de mesures d'hygiène, les maladies d'origine hydrique restent un problème. L'émergence de souches résistantes a rendu la situation encore plus alarmante (Ejaz et *al*. 2023; Irfan et *al*. 2023). Ce type de bactérie résistante aux antibiotiques peut se propager dans l'eau contaminée, rendant ces maladies plus difficiles à contrôler et augmentant le risque de transmission.

Ce travail présente les résultats d'une étude non expérimentale descriptive transversale qui vise à décrire la situation épidémiologique actuelle liée aux maladies à transmission hydrique au niveau de la ville de Taza. Cette étude permettrait de fournir des informations importantes sur les caractéristiques de la population étudiée, telles que l'âge, le sexe, le lieu de résidence, le niveau d'éducation, etc. Ces informations pourraient être utilisées pour identifier les groupes les plus vulnérables et élaborer des interventions de santé publique ciblées pour réduire l'incidence des maladies à transmission hydrique et l'impact de la pollution des eaux.

II. Généralités sur l'épidémiologie

L'épidémiologie est une science qui étudie les variations de fréquence des maladies dans les populations humaines et cherche à identifier les facteurs qui influencent ces variations. Son objectif est de comprendre les causes des maladies et d'améliorer leurs traitements ainsi que les mesures de prévention (Bouyer 2009).

Comme toutes les sciences, l'épidémiologie est le fruit d'un continuum d'apports de différentes civilisations à travers les âges. Dès l'Antiquité, Hippocrate, considéré comme le père de l'épidémiologie, a établi un lien entre les maladies et les facteurs de risque environnementaux ainsi que les habitudes alimentaires et comportementales. En effet, dans son traité "Des épidémies" (Geniey-Camara 2016), Hippocrate affirmait que "*pour approfondir la médecine, il faut considérer d'abord les raisons, connaître la qualité des eaux, des vents, étudier les divers*

états du sol et genre de vie des habitants". De plus, il a étudié les modes de transmission des maladies ainsi que les prédispositions de certaines personnes à être contaminées (G 2018). Pour étayer ces observations, Hippocrate a utilisé des données démographiques telles que l'âge, le sexe, le lieu de résidence et les conditions saisonnières au moment de l'apparition de la maladie. Après avoir décrit les symptômes, il a donné les résultats en termes de morbidité et de mortalité. En somme, les contributions d'Hippocrate ont jeté les bases de l'épidémiologie moderne, qui cherche à comprendre les causes des maladies et à améliorer les traitements ainsi que les mesures de prévention.

Dans son deuxième traité, "Airs, eaux et lieux", Hippocrate soutient que l'étude d'une maladie doit être menée en tenant compte des conditions environnementales qui ont accompagné son apparition. En outre, il a distingué entre les maladies épidémiques et endémiques. Selon lui, l'endémicité est liée à la variation des conditions climatiques, tandis que l'épidémicité est associée aux habitudes et à la routine. Pour étayer cette relation, il a donné des exemples, tels que la corrélation entre l'obésité, la sédentarité et les problèmes de santé qui en découlent, ainsi que la relation entre la survenue de la phtisie et la consommation d'alcool. En outre, Hippocrate a également lié certaines maladies à la mauvaise qualité de l'eau : les eaux stagnantes étaient associées à la survenue de diarrhée, en particulier en été. Tandis que la consommation d'eau à haute teneur en minéraux était directement attribuée à des problèmes rénaux. En somme, les contributions d'Hippocrate ont eu un impact considérable sur le développement de l'épidémiologie en jetant les bases de l'approche environnementale dans la compréhension des maladies et de leur prévention.

L'histoire de l'épidémiologie a connu une autre figure marquante en la personne d'Ibn An-Nafis au XIIIe siècle. Ce médecin-philosophe passionné par la médecine a été intrigué par les origines des maladies qui ont frappé la région à cette époque. Grâce à la traduction des livres d'Hippocrate en arabe, il a pu faire le lien entre l'incidence de certaines maladies et les habitudes de la population ainsi que les facteurs environnementaux. Ibn An-Nafis a également réalisé une première catégorisation des patients en fonction de leur âge, de leur sexe et de leur emplacement géographique, ainsi qu'une deuxième selon le degré de sévérité de la maladie, allant des formes légères aux formes graves. Il a également cherché à trouver des explications biologiques, voire même astrologiques, qui pourraient être à l'origine de certaines maladies (G 2018)

Les travaux d'Ibn An-Nafis ont ainsi contribué à l'avancement de l'épidémiologie en explorant les liens entre les facteurs environnementaux, les habitudes de la population et l'incidence des

maladies. En effet, les deux chercheurs ont décrit clairement l'emplacement des cas, comme ils présentaient une carte des points de déclenchement de la maladie en s'appuyant sur des applications mathématiques, telles que les statistiques, le calcul de probabilité, la modélisation…

III. Types d'études épidémiologiques

Le processus de toute étude épidémiologique commence par la sélection de la population et la durée pendant laquelle l'étude sera menée. La population peut être observée à un moment précis, ce qui est appelé une population "**statique**", ou sur une période donnée, ce qui est appelé une population "**dynamique**". Le terme "dynamique" fait référence à deux aspects : d'une part, chaque individu dans la population peut subir des changements tels que l'âge, le lieu de résidence, les maladies, etc. D'autre part, la composition de la population elle-même peut changer pendant l'observation en raison d'événements tels que la naissance, le décès, la migration, la maladie, etc. (Aday et Cornelius 2006).

Lorsqu'on étudie une population dynamique, il est essentiel de prendre en compte que les individus inclus dans l'étude ne peuvent pas quitter la population pendant la durée de l'étude, sauf en cas de décès ou d'autres événements pertinents tels que la maladie dans une étude de morbidité ou la survie dans une étude de survie. Une fois que la période d'inclusion dans l'étude est terminée, aucun nouvel individu ne peut être ajouté à la population étudiée, et celle-ci subit uniquement des pertes en termes d'effectifs. Le terme "cohorte" est souvent utilisé pour désigner cette population, en remplacement de l'expression "population dynamique fermée". Dans ce contexte, même si un individu change de lieu de résidence, il demeure membre du groupe observé, sauf s'il décède (Bonita et *al.* 2010).

Les études épidémiologiques varient selon la démarche statistique choisie par le chercheur, ainsi que selon plusieurs critères tels que l'objectif de l'étude, le choix de la population et la durée de l'étude. Ainsi, on les a classé en deux grandes catégories : les études **non-expérimentales** (ou d'observation) et les **études expérimentales**. Dans ce dernier type d'étude, l'observateur peut manipuler le degré d'exposition au facteur étudié. En revanche, dans les études non-expérimentales, l'observateur se contente de décrire la réalité telle qu'elle est, sans intervention.

Les études épidémiologiques non-expérimentales sont de types : **descriptives** ou à **visée étiologique**.

Dans les études descriptives, l'observateur décrit un problème de santé dans une population ou un groupe d'individus et en établit la fréquence selon certaines variables de personnes, de lieux et de temps. Si cette étude implique l'observation d'une population sur une période donnée et génère des données d'incidence ou de mortalité, elle est qualifiée d'étude **descriptive longitudinale**. En revanche, si elle permet de décrire un problème de santé à un moment donné et génère des données de prévalence, elle est qualifiée d'étude **descriptive transversale**.

Dans les études à visée étiologique, l'objectif est de déterminer s'il existe un lien de causalité entre le facteur ou les facteurs d'exposition et l'apparition de la maladie en répondant à quelques questions telles que : existe-t-il une relation entre le facteur et la maladie ? quelle est l'intensité de cette relation ?... Cela permet d'identifier les causes sous-jacentes d'une maladie et guider le développement de stratégies de prévention et de traitement efficaces. Ces études peuvent être menées de manière synchrone ou asynchrone. Si l'observation du facteur et de la maladie est effectuée simultanément, elle est qualifiée de **transversale**. En revanche, si les observations sont effectuées de manière asynchrone, l'étude est qualifiée de **longitudinale**. Dans ce dernier cas, il est possible de procéder à une classification des individus en fonction de la présence ou de l'absence du facteur, puis de les suivre pendant une période pour déterminer qui sera affecté par la maladie. Cette démarche directe est appelée étude de **cohorte**, qui consiste en l'observation d'une population fermée. Dans d'autres cas, l'étude peut commencer par la classification des individus selon qu'ils sont malades ou non, puis chercher à déterminer qui a été exposé au facteur. Cette démarche est appelée étude **cas-témoin**, qui se définit essentiellement par la comparaison de deux groupes : l'un composé d'individus atteints de la maladie considérée (cas) et l'autre composé d'individus n'ayant pas la maladie (témoins). La comparaison est faite entre les deux groupes sur l'importance de l'exposition. Une étude cas-témoin peut également être de type transversal.

Une autre classification de l'étude non-expérimentale longitudinale concerne la chronologie de l'exposition au facteur et de l'apparition de la maladie. Ainsi, une étude peut être **rétrospective** si elle est menée après que l'exposition au facteur et la maladie se soit déjà produite. Elle est **prospective** si elle débute avant que l'exposition au facteur ou l'apparition de la maladie ne se produit. Enfin, elle est **ambispective** si elle combine les caractéristiques prospectives et

rétrospectives, c'est-à-dire si elle débute à un moment où l'exposition au facteur ou l'apparition de la maladie ont déjà eu lieu, mais pas tous deux.

La méthode à visée étiologique semble être la plus efficace pour étudier l'impact de la qualité des eaux de surface sur la santé publique et l'éclosion des maladies à transmission hydrique. Nonobstant, la mise en place, la collecte des données, l'analyse et l'interprétation des résultats sont très coûteux et nécessitent beaucoup de logistique. A cet effet, nous avons opté pour une étude non expérimentale descriptive transversale pour décrire la situation actuelle de la qualité des eaux de surface de la ville de Taza et son impact sur la santé publique sans identifier les causes et les effets directs. L'étude a été menée par recueil des données sur la qualité de l'eau, la prévalence des maladies à transmission hydrique et les facteurs de risques associés à ces maladies. Les données ont été collectées à partir des registres de santé, des rapports environnementaux, des enquêtes auprès de la population, etc. A travers cette étude nous pourrons avoir des informations sur les caractéristiques de la population étudiée, telles que l'âge, le sexe, le lieu de résidence, le niveau d'éducation, etc. Ces informations pourraient être utilisées pour identifier les groupes les plus vulnérables et élaborer des interventions de santé publique ciblées pour réduire l'incidence des maladies à transmission hydrique.

IV. Epidémiologie des maladies à transmission hydrique

Les maladies d'origine hydrique sont généralement causées par l'ingestion d'eau contaminée, qui agit comme un vecteur passif pour l'agent infectieux (Leclerc et *al*. 2002). Différents types d'agents pathogènes sont responsables des maladies hydriques (Tableau 17). Ceux-ci comprennent des virus tels que ceux qui causent les hépatites et la poliomyélite, des bactéries telles que celles responsables de la diarrhée commune, de la fièvre typhoïde et du choléra, ainsi que des parasites tels que la giardase et l'amibiase.

Tableau 17 : Exemple de germes pathogènes de risques biologiques

Maladies	Agents pathogènes	Référence
	D'origine bactérienne	
La Typhoïde et la paratyphoïde	*Salmonelle typhique* *Salmonelle parathyphique A et B*	(Brahimi et Benchouk 2020) ; (Dhara et *al.* 2020)
La dysenterie bacillaire	*Shigella sp*	(Tran et *al.* 2020)
Le choléra	*Vibrio cholerae*	(Vanden et *al.* 2007)
La Gastro-entérite aiguë et la diarrhée	*Escherichia coli Entérotoxique* *Campylobacter* *Yersinia enterocolitica* *Salmonelle* *Shigella sp*	(Sack 1975) ; (Zheng et *al.* 2008) ;(Levantesi et *al.* 2012) ; (Casabonne et *al.* 2016) ; (Zimmermann 2020)
	D'Origine virale	
L'hépatite A et E *La polio* *La Gastro-entérite aiguë et chronique*	Virus de l'hépatite A et E Virus de la poliomyélite Virus Norwalk Rotavirus Entérovirus Adénovirus	(Crabtree et *al.* 1997) ; (Woodall 2009) ; (Sinclair et *al.* 2009) ; (Okoh et *al.* 2010) ; (Yugo et Meng 2013) ; (Cuevas-Ferrando et *al.* 2020); (Bisseux et *al.* 2020)
	D'Origine parasitaire	
Dysenterie amibienne *Parasite gastro-entérite*	*Entamoeba histolytica* *Giárdia lâmblia* *Cryptosporidium*	(Mayer et Palmer 1996); (Woodall 2009)

D'après l'OMS, les décès d'enfants de moins de cinq ans dus à la diarrhée sont plus fréquents dans les pays à faible et moyen revenu que ceux résultant du VIH, de la tuberculose et du paludisme combinés (Bartram et Cairncross 2010b). En 2010, ces pays ont signalé environ 1,7 milliards de cas de diarrhée, entraînant environ 750 000 décès (Walker et *al*. 2013). Ces décès évitables sont attribués à un grave problème de santé dans les pays en développement et leurs villes, principalement en raison d'une gestion inadéquate des déchets fécaux. Selon l'OMS, environ 30% de la population mondiale n'a pas accès à de l'eau potable et 60% n'ont pas d'assainissement géré en toute sécurité (« OMS | Eau, assainissement et hygiène » 2017).

Bien que l'État marocain ait déployé des efforts pour éliminer les maladies d'origine hydrique en améliorant la qualité de l'eau et en mettant en place des infrastructures d'assainissement pour les villes, certaines maladies persistent dans la région de Fès-Meknès, telles que la fièvre typhoïde et les hépatites virales épidémiques, liées à la consommation de produits agricoles

irrigués par des eaux usées, selon des recherches menées dans la région (Mouhaddach et *al*. 2014 ; Idrissi et *al*. 2018). Par ailleurs, la province de Taza est considérée comme à haut risque de maladies hydriques. Les services de santé publique ont signalé que quatre maladies hydriques étaient fréquentes dans la ville, notamment la gastro-entérite aigue, l'hépatite A, les TIAC et la typhoïde, mais le ministère de la santé a indiqué que le choléra n'a pas été détecté depuis 1997 (« Ministère de la Santé » 2014).

Dans ce contexte, cette étude a pour objectif de :

- Faire la répartition géographique de la prévalence de trois maladies dans les arrondissements et communes de la ville de Taza par une enquête épidémiologique. Les trois maladies sont la gastro-entérite aigue, la fièvre typhoïde et les hépatites virales ;
- Cartographier la distribution géographique des taux de prévalence de ces maladies dans les différents arrondissements et communes de la ville de Taza. Cette information pourrait aider à identifier les zones où ces maladies sont les plus fréquentes et où des mesures de prévention ciblées pourrait être mises en place pour les contrôler.

IV. 1. La gastro-entérite aigüe

IV.2. 1. Agent causal et mode de transmission

Les symptômes de la gastro-entérite aigue (GEA), une infection fréquente, sont la fièvre, les vomissements, la faiblesse et la déshydratation (Gimenez-Sanchez et al. 2010).

Diverses espèces bactériennes peuvent provoquer la gastro-entérite, telle que l'*E. coli albertii,* la *Salmonella typhimurium,* la *Shigella dysenteriae,* le *Staphylococcus aureus,* le *Clostridium difficile,* le *Listeria monocytogenes,* le *Bacillus cereus,* le *Vibrio cholerae,* l*'Yersinia* pestis, l*'Aeromonas spp. et* le *Campylobacter jejuni* (Iglesias-Torrens et *al*. 2018). Les virus tels que le rotavirus, le norovirus, l'astrovirus, le pestivirus, l'adénovirus et le coronavirus (Wilhelmi et *al*. 2003 ; Iqbal 2015 ; Vu et *al*. 2017) ou les protozoaires parasitaires, comme la souche Cryptospridium (Msolo et *al*. 2020) peuvent aussi causer des cas de gastro-entérite.

La gastro-entérite est principalement transmise par l'ingestion d'aliments ou d'eau contaminés. De plus, un moyen courant de propagation est le contact avec une personne ou un objet contaminé, souvent appelé "voie oro-fécale". Une caractéristique importante de cette infection est que la personne infectée devient contagieuse dès l'apparition des symptômes et reste

contagieuse jusqu'à environ 48 heures après leur disparition. La gestion et la prévention de la maladie peuvent être plus difficiles à cause de cette période de contagion prolongée.

En résumé, la gastro-entérite est une maladie complexe provoquée par plusieurs agents pathogènes. Les pratiques d'hygiène inadéquates favorisent sa transmission, soulignant ainsi l'importance de mesures préventives telles que l'hygiène des mains et la sécurité alimentaire pour réduire son incidence.

IV.2. 2. Épidémiologie de la gastro-entérite aigue

La gastro-entérite est une maladie très courante dans le monde entier, touchant toutes les tranches d'âge et toutes les populations. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il y a chaque année environ 1,9 milliards de cas de gastro-entérite dans le monde, entraînant environ 1,3 millions de décès (WHO 2017a).

En France, la gastro-entérite est l'une des maladies les plus fréquentes en hiver, touchant principalement les jeunes enfants et les personnes âgées. Selon le Réseau Sentinelles, qui surveille l'incidence des maladies en France, il y a en moyenne chaque année environ 2,5 millions de cas de gastro-entérite aigüe (Nisavanh et *al*. 2022).

Aux États-Unis, la gastro-entérite est également très répandue, avec environ 179 millions de cas chaque année (Scallan et *al.* 2011). Selon les Centers for Disease Control and Prevention (CDC), les enfants de moins de cinq ans et les personnes âgées de plus de 65 ans sont les plus vulnérables à la maladie (CDC 2023).

Dans les pays en développement, la gastro-entérite est l'une des principales causes de mortalité infantile, avec environ 525 000 décès chaque année chez les enfants de moins de cinq ans (WHO 2017a). Les maladies diarrhéiques, y compris la gastro-entérite, sont souvent associées à un manque d'accès à l'eau potable et à des infrastructures sanitaires inadéquates.

Lors de l'enquête nationale sur la population et la santé familiale de 2011, il a été observé une baisse de 45 % de la prévalence des maladies diarrhéiques, ainsi qu'un taux de mortalité infanto-juvénile de 2 %, soit environ 30,4 ‰. Cependant, en 2013, selon les estimations annuelles de l'OMS, les maladies diarrhéiques représentaient 6 % de la mortalité infanto-juvénile au Maroc, mettant ainsi le pays parmi les neuf pays les plus touchés par la mortalité infantile (SOMIPEV

2016). Les principaux agents pathogènes impliqués dans ces maladies sont la rotavirus, la shigellose, la salmonellose et la campylobactériose (Ezzine et *al*. 2021).

IV.2. 3. Traitement et prévention

La gastro-entérite peut être traitée et prévenue en prenant des mesures spécifiques selon la cause, qu'elle soit virale, bactérienne ou parasitaire. L'hydratation est l'étape la plus importante du traitement de la gastro-entérite. La perte de liquide due à la diarrhée ou aux vomissements doit être remplacée par des apports liquides tels que de l'eau, des solutions de réhydratation orale ou des soupes légères(Bruzzese et *al*. 2018).

En plus des repas légers et faciles à digérer tels que le bouille de riz, des bananes, des pommes au four, du pain grillé, etc, le repos est également recommandé. En ce qui concerne les symptômes, des médicaments en vente libre peuvent être utilisés pour soulager la diarrhée, les nausées et les douleurs abdominales (CCPSC 2023). Cependant, il est important de consulter un médecin avant de prendre tout médicament, en particulier pour les enfants ou les personnes ayant des conditions médicales préexistantes.

Certaines mesures générales doivent être prises lorsqu'il s'agit de prévenir la gastro-entérite. Le lavage régulier des mains à l'eau et au savon est important pour prévenir la propagation de l'infection ; surtout avant de manipuler des aliments, après être allé aux toilettes et après avoir été en contact avec des personnes malades. Les pratiques d'hygiène alimentaire sont également essentielles. Il faut évitez les aliments crus ou insuffisamment cuits, en particulier la viande et les produits laitiers. Il est important de stocker, de préparer et de manipuler correctement les aliments pour éviter la contamination croisée (CCPSC 2023).

Enfin, il est recommandé d'éviter tout contact étroit avec les personnes atteintes de gastro-entérite, surtout si elles présentent des symptômes tels que la diarrhée ou les vomissements.

IV. 2. Fièvres typhoïdes

IV.2. 1. Agent causal et mode de transmission

La bactérie *Salmonella typhi* est l'agent causal de la fièvre typhoïde (Crump 2019). Cette bactérie, qui fait partie de la famille des *Enterobacteriacea* est classée comme Gram négatif, se propage principalement par la voie fécale-orale. La contamination de l'eau et des aliments est la principale voie de transmission de la fièvre typhoïde.

Une source fréquente de maladie est l'eau potable, surtout lorsqu'elle est contaminée par des matières fécales contenant la bactérie *Salmonella typhi*. La consommation d'une telle eau et son utilisation pour l'hygiène personnelle peuvent entraîner une infection (Paul et Bandyopadhyay 2017). L'eau contaminée est souvent difficile à détecter visuellement, ce qui rend les mesures de prévention essentielles pour réduire les risques sur cette voie de transmission.

Une autre source importante de contamination est l'alimentation. Si les mains souillées, les ustensiles ou les surfaces de préparation d'aliments entrent en contact avec des matières fécales contenant *Salmonella typhi*, ils peuvent être infectés. Une infection peut également être causée par la consommation d'aliments crus ou insuffisamment cuits, tels que des fruits et légumes non traités, des crustacés, des produits laitiers non pasteurisés ou des viandes insuffisamment cuites. Cette voie de transmission met l'accent sur l'importance des techniques de manipulation des aliments sûres et de cuisson appropriées pour prévenir la maladie.

Par ailleurs, les modes de transmission les plus courants associés à la fièvre typhoïde ont été identifiés dans plus de 500 publications en analysant la phrase " *Typhoid AND Fever AND Transmission*" sur la plateforme *Scopus*. Les liens entre les mots-clés relevant de la recherche, ont été visualisé en utilisant le logiciel *VOSviewer* (figure 50). Il existe plusieurs méthodes de transmission connues, telles que la transmission par l'eau potable, la transmission par des aliments contaminés, la transmission par contact direct, l'hygiène, la transmission oro-fécale et d'autres formes particulières.

Dans la littérature scientifique, cette visualisation des liens entre les mots-clés donne un aperçu des principaux modes de transmission associés à la fièvre typhoïde. Pour mieux comprendre la propagation de la fièvre typhoïde et orienter les efforts de prévention et de contrôle, ces informations sont primordiales. Dans l'ensemble, la fièvre typhoïde est une maladie dont la prévention consiste à gérer l'eau et les aliments de manière sécuritaire et à suivre des protocoles d'hygiène personnelle rigoureux pour éviter la propagation de la bactérie.

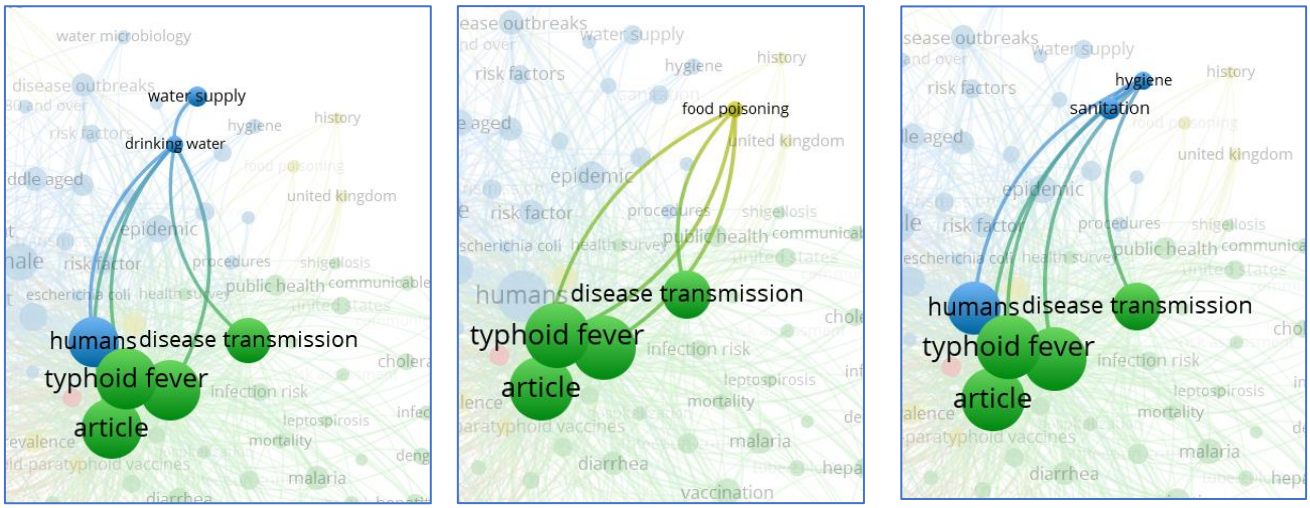

Figure 50. Visualisation des mots-clés en relation avec la transmission de la fièvre typhoïde

IV.2. 2. Epidémiologie de la fièvre typhoïde

La fièvre typhoïde, une maladie infectieuse grave, a un impact significatif sur la santé publique mondiale. Ainsi, il est crucial d'approfondir l'étude des statistiques concernant son épidémiologie.

Selon les estimations, il y a entre 9 millions de cas de fièvre typhoïde par an dans le monde (WHO 2019b) ; ces chiffres varient d'année en année et d'une région à l'autre. Les facteurs tels que l'accès à l'eau potable et aux installations sanitaires sont en grande partie responsables de ces variations. En effet, la maladie est plus répandue dans les zones où les conditions sont difficiles.

La fièvre typhoïde a des répercussions tragiques sur la mortalité. Elle peut affecter des personnes de tout âge. Elle cause entre 128 000 et 161 000 décès par an (WHO 2019b). Les enfants et les jeunes adultes sont les groupes d'âge les plus touchés par la fièvre typhoïde dans les pays à revenu faible et intermédiaire, cette situation est particulièrement préoccupante car il y a souvent des limites à l'accès aux soins de santé adéquats. La fièvre typhoïde se propage principalement dans certaines régions du monde. Les régions d'origine comprennent l'Asie du Sud, l'Afrique subsaharienne, l'Amérique latine et certaines parties du Moyen-Orient.

Au Maroc comme aux autre pays du Nord d'Afrique, la fièvre typhoïde est une maladie commune, avec une fréquence de 10 à 100 cas par 100 000 personnes. Les épidémies de *Salmonella enterica serovar Typhi* sont fréquentes et sont principalement causées par la consommation d'eau usée non traitée ou contaminée. La *Salmonella enterica Paratyphi B* est

plus présente que prévu dans les cas nosocomiaux de fièvre typhoïde, ce qui entraîne des taux de mortalité élevés chez les nourrissons atteints de malformations congénitales. Les voyageurs qui reviennent de cette région sont rares, avec moins d'un cas pour 100 000 personnes. Une réémergence de souches sensibles au chloramphénicol et à l'ampicilline a été observée malgré le fait que des souches multirésistantes de *Salmonella Typhi* et *Paratyphi* sont courantes dans cette région (Ghenghesh et *al*. 2009).

IV.2. 3. Traitement et prévention

La *Salmonella Typhi*, responsable de la fièvre typhoïde, est devenue un problème de santé publique de plus en plus important. Selon (J. Walker et *al*. 2023), le volume de voyages aériens en provenance du Pakistan est fortement lié à la transmission de la *S. Typhi* résistante aux médicaments, ce qui met en garde contre le risque d'importation de cette espèce résistante dans d'autres pays. Par conséquent, des mesures de santé publique sont nécessaires, en particulier dans les pays qui voyagent fréquemment vers les régions touchées.

En Colombie, on a montré que la salmonellose demeure une cause de morbidité et de mortalité, malgré l'accès accru aux antibiotiques. Au cours des dix dernières années, la résistance aux antibiotiques a augmenté, en particulier pour les médicaments tels que la ciprofloxacine et la ceftriaxone. Les populations vulnérables continuent d'être touchées par la maladie, ce qui met en avant l'importance de renforcer les plans de santé publique (Rosso et *al*. 2023).

Enfin, au Pakistan, des cas de paratyphoïde causés par *S. Paratyphi A* résistante à la ceftriaxone ont été découverts. La résistance est plasmidique et dépend de certains gènes. La surveillance épidémiologique est essentielle pour suivre et arrêter la propagation de la résistance aux antimicrobiens chez les Salmonelles typhoïdes (Irfan et *al*. 2023).

Ces études incitent de prise des mesures de santé publique renforcées et des pratiques antimicrobiennes appropriées pour faire face à ces infections potentiellement graves et à leur résistance aux médicaments.

- **Traitement**

La ciprofloxacine est le médicament le plus couramment prescrit pour traiter la fièvre typhoïde. Dans la classe des fluoroquinolones, la ciprofloxacine cible l'enzyme ADN gyrase. Le superenroulement négatif de l'ADN, un processus essentiel à la réplication et à la transcription de l'ADN, est responsable de cette enzyme.

Les souches de salmonelle typhi Paratyphi A et Paratyphi B ont été créées par l'utilisation inappropriée de la ciprofloxacine, malgré son efficacité (Hooper et *al*. 1987). Le problème de l'émergence de souches résistantes aux antibiotiques est également rencontré lors de l'utilisation de l'antibiotique ceftriaxone. Cette substance est couramment employée pour traiter diverses infections bactériennes, mais son utilisation inadéquate a provoqué l'apparition de souches de bactéries, y compris *Salmonella typhi*, qui présentent une résistance à la ceftriaxone (Irfan et *al*. 2023 ; Dahiya et *al*. 2023).

L'azithromycine et la lévofloxacine sont d'autres antibiotiques couramment utilisés pour traiter la fièvre typhoïde (Das et *al.* 2016 ; Sjölund-Karlsson et *al.* 2020). Cependant, la résistance aux antibiotiques demeure un problème important pour la santé publique, car elle limite l'efficacité de ces médicaments dans la gestion des infections. Donc, une utilisation appropriée des antibiotiques, la mise en place des moyens de prévention de la résistance aux antibiotiques et de création de nouvelles solutions thérapeutiques, sont très recommandées. Il est aussi essentiel de suivre le schéma posologique complet prescrit par un professionnel de la santé afin d'éviter une récidive de la maladie. De plus, le traitement de la fièvre typhoïde nécessite une hydratation adéquate car la déshydratation peut entraîner les symptômes tels que la fièvre et la diarrhée.

- **Prévention**

Plusieurs mesures clés peuvent être prises pour prévenir la fièvre typhoïde. Telle que :

- ✓ La vaccination. Les vaccins antityphoïdiques, y compris le vaccin Vi injectable et le vaccin Ty21a oral vivant atténué, sont couramment utilisés pour protéger contre la fièvre typhoïde (Vidal 2023).
- ✓ La consommation contrôlée des aliments crus ou insuffisamment cuits, en particulier des fruits et légumes non traités, des crustacés, des produits laitiers non pasteurisés et des viandes insuffisamment cuites.
- ✓ L'accès à de l'eau potable propre, et la purification de l'eau par filtration et/ou chloration.
- ✓ L'adoption des pratiques d'hygiène personnelle, telles que le lavage fréquent des mains avec du savon, et la réduction de tout contact avec des personnes infectées ou des objets potentiellement contaminés.
- ✓ L'amélioration des installations sanitaires et l'élimination appropriée des déchets humains.

En combinant ces stratégies de traitement et de prévention, la fièvre typhoïde peut être contrôlée, sa propagation réduite et ses effets sur la santé publique minimisés si on renforce la sensibilisation, les moyens de prévention et l'amélioration des infrastructures sanitaires.

IV. 3. L'hépatite virale A

IV.3. 1. Agent causal et mode de transmission

Le virus de l'hépatite A (VHA), fait parti de la famille des *Picornaviridae*. Il est responsable de la maladie du foie. Cette maladie se transmet principalement par voie féco-orale. Le virus est excrété dans les selles d'une personne infectée et peut être transmis par voie orale à d'autres (Le Guyader et *al*. 2014 ; Elmahdy et *al.* 2015).

L'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés est le principal mécanisme de transmission de l'hépatite A. Cette contamination peut survenir lors de la manipulation d'aliments par une personne infectée ou dans des endroits où l'approvisionnement en eau n'est pas correctement traité pour éliminer le virus. Les aliments mal préparés ou non cuits et l'eau non potable sont des sources potentielles de transmission.

Un contact direct avec une personne infectée peut également transmettre l'hépatite A. Si des pratiques d'hygiène personnelle inadéquates sont observées, cela peut se manifester lors de contacts sexuels non protégés, de soins de santé ou même dans la vie quotidienne. Les comportements à risque augmentent donc la probabilité que le virus se propage.

De plus, l'hépatite A peut se propager dans des environnements contaminés. Le virus peut être présent dans l'environnement dans certaines circonstances, comme dans des endroits publics insalubres. Un vecteur de transmission peut être le contact avec de telles surfaces ou des objets contaminés.

Il est important de garder à l'esprit que l'hépatite A est une maladie qui peut être évitée en appliquant la bonne hygiène personnelle se vaccinant. Les vaccins contre l'hépatite A sont disponibles et recommandés pour les voyageurs et les personnes exposées à un risque accru d'infection.

IV.3. 2. Epidémiologie de l'hépatite A

L'hépatite A est une infection virale du foie répandue dans le monde, principalement dans les pays en développement. Elle se transmet principalement par voie fécale-orale, notamment par

la consommation d'eau et d'aliments contaminés, ainsi que de personne à personne. Les symptômes incluent fatigue, fièvre, nausées, douleurs abdominales et jaunisse. Les complications sont rares mais peuvent inclure une hépatite fulminante et une insuffisance hépatique, avec un taux de mortalité de 0,3 %. Aucun pays n'est à l'abri de l'hépatite A, et l'endémicité d'un pays peut être évaluée en déterminant l'âge où 50 % de la population a des anticorps protecteurs, indiquant une infection passée. Les enfants contractent souvent l'infection de manière asymptomatique, ce qui peut conduire à des épidémies touchant des individus plus âgés dans les pays à moindre endémicité (INSPQ 2023).

IV.3. 3. Traitement et prévention

Le traitement et la prévention de l'hépatite A sont essentiels dans la lutte contre cette infection virale du foie. *Ils reposent sur le repos, la gestion des symptômes, le soutien à la récupération, l'hydratation,* l'alimentation saine équilibrée et sans alcool, la vaccination, l'hygiène personnelle, la réduction de contact non protégés avec des personnes infectés en particulier lors de pratique sexuelle, la sécurité de l'eau et des aliments, la consommation de l'eau potable et des aliments provenant de sources fiables, et l'éducation du public et la sensibilisation aux risques et aux meilleures pratiques à adopter. La prophylaxie post-exposition peut également être envisagée dans certaines circonstances. Il peut s'agir d'un vaccin ou d'immunoglobulines après avoir été exposé au virus de l'hépatite A.

Chapitre II : Epidémiologie des maladies à transmission hydrique au niveau de la ville de Taza :

I. Introduction

Ce chapitre traite des méthodes de collecte et d'enregistrement de données concernant les trois maladies à transmission hydrique, à savoir la fièvre typhoïde, la gastro-entérite aiguë et l'hépatite A. Il examine également les méthodes utilisées pour avoir ces données, les enquêtes épidémiologiques réalisées et les outils statistiques et géospatiaux utilisés pour analyser les résultats de l'étude. Il expose en outre les principaux résultats de l'analyse des questionnaires étudiés.

II. Méthodologie de travail

II. 1. Méthodes de collecte des données sanitaires

L'étude épidémiologique a eu lieu par la méthode descriptive transversale en se basant sur le recueil des données et leur analyse ; ayant impliquée plusieurs organismes et acteurs. Le recensement des données épidémiologiques relatives aux 3 maladies susmentionnées a eu lieu via deux méthodes :

- Un questionnaire destiné à la population avoisinant les oueds étudiés.
- Les administrations concernées et les centres de santé avoisinants.

Le questionnaire a nécessité la soumission d'un dossier éthique composé d'une description détaillée de l'étude et des différentes techniques prévenues, des fiches de consentement destinées à la population enquêtée, du contenu de questionnaire et d'une demande au comité d'éthique domiciliée à la faculté de médecine et de pharmacie de Fès. Le numéro d'accord du dossier est 07/22. L'enquête a duré 3 mois.

Quant aux autres données, elles ont été recensées en collaboration avec les autorités locales et les acteurs impliqués, tels que la Cellule préfectorale d'épidémiologie de Taza (CPE), la Direction régionale et épidémiologique de veille sanitaire de la région Fès-Meknès (DREVS), ainsi que les hôpitaux et centres de santé locaux (Ibnou Baja, Bin Jradi) et la direction régionale de la santé. Les données recueillies portaient sur les maladies à transmission hydrique prises des bulletins épidémiologiques de la santé au Maroc, des registres annuels des cas cliniques confirmés, leur taux de prévalence à Taza et à la région Fès-Meknès, ainsi que des dossiers médicaux des différents centres de santé de la ville et les déclarations journalières. L'Agence Urbaine de Taza a fourni les données démographiques, y compris la population totale et la

densité de population par zone pour les années 2016, 2017 et 2018. Ensuite, le logiciel SIG (Système d'Information Géographique) a été utilisé pour saisir, analyser et cartographier ces informations.

II. 2. Etude épidémiologique transversale des maladies à transmission hydrique dans les zones d'étude

II.2. 1. Objectif de l'étude

L'étude vise à examiner trois aspects : démographique, clinique et causal.

1. Aspect sociodémographique : a pour principe de représenter la population vivant dans les six quartiers de la ville de Taza. L'âge, le sexe, le milieu d'habitat (urbain ou rural), le statut matrimonial, le niveau d'éducation et d'autres paramètres sociodémographiques sont inclus. Ces données aident à comprendre la composition de la population, à détecter les disparités potentielles et à cibler les groupes à risque.

2. Aspect clinique : examine les aspects cliniques de fièvre typhoïde, d'hépatite A et de gastro-entérite. Les symptômes, la prévalence de ces maladies et d'autres indicateurs cliniques sont passés en revue pour évaluer leur impact sur la population. Cela permet d'obtenir une image claire de la santé publique dans la région et de cibler des domaines spécifiques nécessitant une attention particulière.

3. Aspect causal : consiste à identifier les éléments qui augmentent le risque de survenue des maladies à transmission hydrique. Certains de ces facteurs incluent l'exposition aux sources d'eau contaminées et les pratiques individuelles d'hygiène et d'assainissement. Des mesures préventives ciblées peuvent être élaborées pour réduire l'incidence de ces maladies en comprenant les facteurs qui favorisent leur propagation.

II.2. 2. Schéma de l'étude

L'enquête vise à analyser les conditions de vie des habitants de la ville de Taza qui résident à proximité des cours d'eau pollués par les eaux usées de la ville. Un questionnaire d'ordre médico-social a été élaboré, comprenant cinq principaux domaines d'investigation : L'état civil, la zone d'habitation (proximité des égouts), les données sociologiques, les antécédents personnels et familiaux les symptômes pathologiques les plus fréquents. Le recueil des données de cette enquête est effectué par des personnes préalablement formées à cet effet.

II.2. 3. Cadre de l'étude

La ville de Taza (Maroc) (figure 51) compte une population de 207 984 habitants (Haut Commissariat au Plan 2014). La topographie de la zone d'étude est caractérisée par des pentes très raides du sud vers le nord, avec une différence d'altitude de 230 m entre la limite sud du périmètre de développement (630 m NGM) et la gare ferroviaire au sud-ouest (400 m NGM). Le terrain présente généralement des pentes supérieures à 5 % et peut atteindre 15 et 20 % par endroit. Le réseau hydrique est composé de l'oued Larbâa au nord, de l'oued El Haddar (ou Taza) au sud, et des oueds Dfali, Rhouireg et Jaouna à l'est. Les effluents du sud (oued Taza) et de l'est (oueds Dfali, Rhouireg et Jaouna) s'écoulent vers le nord, rejoignant l'oued Larbâa (Mahmoud et *al*. 2023).

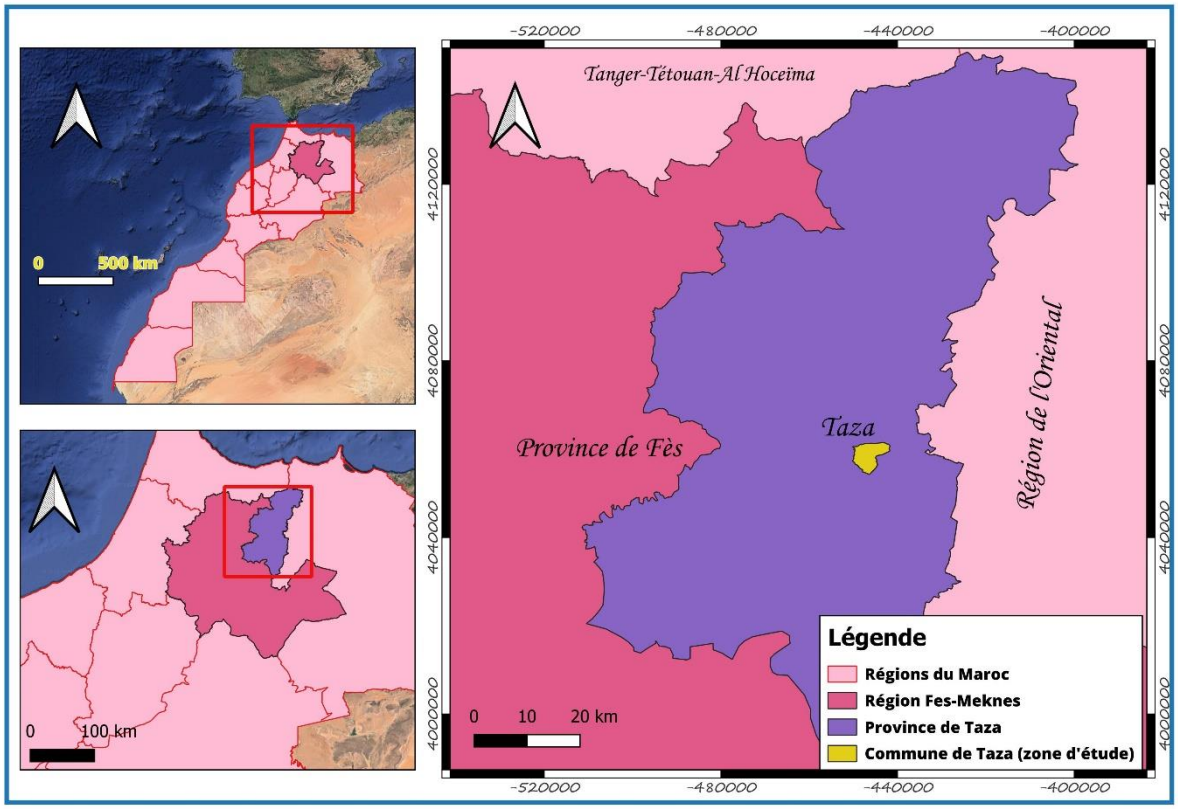

Figure 51. Cadre régional de l'étude épidémiologique

La ville de Taza est dotée d'un réseau d'assainissement de type unitaire. Il couvre pratiquement toute la ville et totalise un linéaire de 140 km, comprenant 27 km de réseau primaire, 17 km de réseau secondaire et 96 km de réseau tertiaire. Le taux de raccordement au réseau d'assainissement est actuellement estimé à 77%. Cependant, ce réseau présente plusieurs anomalies et insuffisances, aussi bien au niveau de sa conception que de sa réalisation et exploitation. Les effluents provenant du réseau, qui comprend les collecteurs principaux tels

que Larbâa, Taza, Rhouireg, Dfali et Jaouna, sont déversés dans les oueds traversant la ville sans traitement préalable, contribuant ainsi à la dégradation environnementale de ces milieux et constituant une non-conformité aux lois sur l'eau et l'environnement (L'agence urbaine de Taza 2014).

En ce qui concerne l'approvisionnement en eau de Taza, la ville est alimentée à partir de deux ressources principales, l'une appartenant à la RADEETA et l'autre à l'ONEP. La RADEETA produit exclusivement de l'eau pour l'alimentation en eau de la ville de Taza. Le débit total exploitable par la RADEETA à partir de la nappe est d'environ 250 à 300 L/s en été et de 500 à 600 L/s en hiver. Les principales ressources équipées sont Ras El Ma, Aïn Nsa, Ain Anemli, Jiarine, Jaouna 1 et 2, Defali 1 et 2, et Magoussa. Les forages de la RADEETA sont actuellement situés en amont des rejets de la ville, mais le développement urbain prévu par le plan d'aménagement pourrait entraîner un risque majeur de contamination des ressources, notamment le forage de Jiarine et les sources d'Ain N'Sa et d'Aïn Anemli (L'agence urbaine de Taza 2014). Il est essentiel de prendre des mesures pour assainir ces zones et assurer un suivi rigoureux des travaux d'installation des conduites et des branchements

II.2. 4. Population de l'étude

Six arrondissements dont la population est la plus touchée par la pollution des eaux des oueds avoisinant par les activités industrielles et agricoles : Taza haut, Taza bas, Ibn Baja, El Massira, Al Wifaq, Al Amal

L'étude s'étalait sur 4 mois à partir du 01/04/2022 et le recrutement a concerné les femmes et les hommes. En plus, les individus étaient sélectionnés au hasard de la population cible.

II.2. 5. Taille de l'échantillon

En utilisant les données démographiques de chaque quartier, recueillies auprès de l'agence urbaine de Taza en 2020, et les données épidémiologiques fournies par la délégation de la santé de la ville, nous avons fait des calculs pour déterminer la taille de l'échantillon de chaque quartier. Les calculs ont été effectués de telle façon à avoir un échantillon représentatif de X populations, réparties dans chaque zone d'étude. La taille de l'échantillon (N1) a été calculée en utilisant l'effectif total (N), dans la formule appropriée aux populations très larges :

$$\boldsymbol{N = \pi \times (1 - \pi) \times (\frac{Z_\alpha}{p})^2}$$

Avec :

- Zα : valeur de risque de première espèce correspondant à α pour une situation bilatérale.
- α, choisi en fonction du degré de confiance. Pour notre cas, 1-α désiré est de 95%.

Π : proportion attendue de sujets présentant une caractéristique descriptive donnée

- p : écart d'imprécision accepté de chaque côté de l'estimation (p = 0,05).

Les résultats du calcul ont permis de déterminer la taille de l'échantillon nécessaire pour l'interrogation dans chaque zone. Cette taille a été augmenté de 75 (N) à 80 (N1) pour tenir compte du problème potentiel de refus des participants. Par conséquent, au cours de l'année 2022, environ 480 personnes dans les six zones étudiées ont été interrogées.

Critères d'inclusions

Seules les personnes répondant aux critères d'inclusion établis pouvaient participer à l'étude. Les participants devaient avoir 18 ans ou plus et être des résidents des quartiers pris en compte dans l'étude pour être admissibles. De plus, avant d'inclure les participants dans l'étude, le consentement des participants était nécessaire pour garantir leur volonté de participer en toute connaissance de cause. Ces critères d'inclusion ont été rigoureusement appliqués pour assurer la cohérence et la validité des données collectées.

Critères d'exclusions

Les critères d'exclusion étaient également définis. En raison de la nécessité de garantir que tous les participants étaient capables de comprendre et de suivre les procédures de l'étude, les personnes souffrant de troubles cognitifs étaient exclues de l'étude. En veillant à ce que les participants fournissent des informations cohérentes et fiables tout au long de l'étude, cette exclusion visait à préserver l'intégrité de la recherche. Les critères d'exclusion ont été utilisés pour s'assurer que les données recueillies reflètent la population étudiée au mieux possible.

II.2. 6. Collecte des données

Pour cette étude, le questionnaire était conçu pour recueillir un large éventail d'informations pertinentes. Il y avait plusieurs catégories d'objets, chacune ayant pour but d'examiner divers aspects de la situation épidémiologique. Voici quelques-unes des catégories importantes ayant été incluses dans l'enquête :

- **Informations sociodémographiques :** concernent les informations de base sur les participants, telles que leur âge, leur sexe, leur milieu d'habitat, leur statut matrimonial, leur niveau d'éducation, etc. Ces données sociodémographiques sont essentielles pour mieux comprendre la composition de l'échantillon de l'étude et pour identifier des corrélations potentielles avec les maladies à transmission hydrique.
- **Données médicales :** consistent à recueillir des informations sur l'histoire médicale des participants, en mettant l'accent sur la prévalence des maladies à transmission hydrique telles que la fièvre typhoïde, l'hépatite virale A et la gastro-entérite. L'évaluation de la prévalence de ces maladies dans la population étudiée est tributaire des données cliniques.
- **Informations concernant les activités à proximité** des zones d'étude : Comprennent des informations sur les systèmes d'assainissement, des problèmes liés aux Oueds, le mode d'exposition des participants aux facteurs de risque et la distance approximative entre les participants et les Oueds. En effet la compréhension des facteurs environnementaux et comportementaux qui pourraient contribuer à la transmission des maladies dépend de ces données.

La collecte des différentes catégories de données permet d'établir des liens entre les caractéristiques sociodémographiques des participants, leur exposition à des facteurs de risque et la prévalence des maladies à transmission hydrique. Les résultats de cette enquête permettront ensuite de mieux cibler les interventions de santé publique et de formuler des recommandations pour la prévention et le contrôle de ces maladies dans la région étudiée.

II.2. 7. Analyse statistique

Pour une analyse approfondie, toutes les données collectées étaient saisies et analysées par le logiciel SPSS 2022. La saisie avait lieu par l'exploration descriptive des données socioéconomiques et environnementales extraites des réponses des participants. Cela conduisait à une compréhension globale des caractéristiques de la population étudiée tout en mettant l'accent sur les variables prises en compte dans la recherche.

Des tableaux croisés étaient ensuite créés, offrant une analyse approfondie des liens et des associations qui pourraient exister entre l'apparition des symptômes de trois maladies à transmission hydrique majeures étudiées : la gastro-entérite aiguë, la fièvre typhoïde et l'hépatite A, aussi qu'une variété de facteurs socioéconomiques et géographiques. Les illustrations croisées étaient utilisées pour trouver des liens potentiels et souligner des tendances importantes, illuminant les liens entre ces éléments complexes.

En poursuivant l'analyse, des analyses bivariées étaient menées pour examiner de manière plus approfondie les associations découvertes. Les analyses bivariées étaient utilisées pour étudier en détail les liens entre les facteurs socioéconomiques, géographiques et la fréquence des maladies à transmission hydrique. De plus, ils aidaient à évaluer la force et la direction de ces associations et fournissaient des informations essentielles pour comprendre les déterminants des maladies étudiées.

II.2. 8. Considérations éthiques

Le comité d'éthique de l'hôpital-universitaire de Fès recevait le protocole de cette étude et examinait le plan de recherche, les méthodes et les procédures pour s'assurer qu'ils respectaient les normes éthiques les plus élevées. Le comité d'éthique a formellement approuvé la poursuite de l'étude, reconnaissant sa rigueur éthique sous le numéro de leur accord 07/22.

Tous les participants étaient pleinement informés des objectifs de l'étude, des procédures à suivre et de leurs droits en tant que participants avant de contribuer à l'étude. Chaque participant fournissait un consentement éclairé écrit de manière systématique, démontrant leur compréhension et leur volonté de contribuer à l'étude. Ils étaient assurés de la confidentialité et de l'anonymat de leurs données personnelles.

Après la collecte des données, toute information personnelle identifiable était supprimée de manière irréversible des bases de données électroniques pour protéger la vie privée et la

confidentialité des participants. Cela garantit que les données recueillies sont traitées de manière complètement anonyme, ce qui protège l'identité de chaque participant et respecte les principes éthiques de la recherche.

La protection des droits, de la vie privée et de la dignité de tous les participants était le but de l'ensemble de ces mesures éthiques et de sécurité, qui ont également contribué de manière significative à la recherche et à la compréhension des maladies à transmission hydrique dans la région d'étude.

III. Résultats et discussion

Introduction

L'état épidémiologique de la ville, vis-à-vis des maladies à transmission hydrique et leur relation avec les eaux de surface traversant la ville était examiné et conçu via une enquête épidémiologique transversale avec un questionnaire. Deux types d'analyse des données étaient exploitées : descriptive et bivariée. Les variables qualitatives et quantitatives ont été comparées par le test du Khi-deux.

III. 1 Analyse descriptive

Le groupe de terrain a recruté 500 participants, dont 385 étaient enregistrés et randomisés. Parmi les raisons des 115 personnes qui n'étaient pas enregistrées et participées à l'enquête étaient l'incapacité de participer à l'enquête (30%), l'âge de moins 18 ans (40%), le refus d'en participer (15%), et l'affiliation géographique (15 %). Les caractéristiques de base étaient similaires parmi les participants éligibles randomisés dans chaque district comme le montre le tableau 18.

Tableau 18. Répartition des participations selon les arrondissements de la ville de Taza

Arrondissements	Fréquence	Pourcentage (%)
Taza haut	67	17,4
Taza bas	48	12,5
Ibn Baja	95	24,7
El Massira	61	15,8
Al Wifaq	37	9,6
Al Amal	77	20,0
	Total (N=385)	100%

La population étudiée comptait 385 participants, dont 65,7 % d'hommes et 43,3 % de femmes (Tableau 19). Les participants étaient âgés de 18 à plus de 55 ans, avec une moyenne d'âge de 30 ans et un écart-type de 5 ans. La tranche d'âge de 25 à 35 ans correspondait à la majorité des participants, soit environ 30,1 %. En outre, 7,5 % des participants avaient terminé l'école primaire, 6,8 % avaient reçu une éducation traditionnelle et 3,6 % étaient analphabètes. En outre, 35,1 % des participants étaient titulaires d'un diplôme d'études secondaires.

Tableau. 19 Caractéristiques Sociodémographique, Économique, Sanitaire et Environnementale selon l'enquête réalisée

Paramètres sociodémographique et environnementaux			Fréquence	Pourcentage (%)
Sexe		Femelle	132	34,3
		Male	253	65,7
Age		15-25 ans	111	28,8
		25-35 ans	116	30,1
		35-45 ans	84	21,8
		45-55 ans	45	11,7
		Plus de 55 ans	29	7,5
Niveau scolaire		Analphabète	14	3,6
		Primaire	29	7,5
		Secondaire	135	35,1
		Universitaire	181	47,0
		Classique	26	6,8
Profession		Sans	131	34,0
		Commerçant	56	14,5
		Fonctionnaire	24	6,2
		Retraité	9	2,3
		Entrepreneur	11	2,9
		Autres	154	40,0
Distance approximative aux oueds		Sup à 15 Km	75	19,5
		De 10 à 15 Km	29	7,5
		De 5 à 10 Km	92	23,9
		Moins de 5 Km	188	48,8
Assainissement		Non	37	9,6
		Oui	348	90,4
Exposition aux eaux usées		Non	91	23,6
		Oui	294	76,4
Mode d'exposition		Aucun	205	53,2
		Mauvaise odeur	67	17,4
		Insectes parasites	90	23,4
		Irrigation	14	3,6
		Natation des petites enfants	8	2,1
		Élevage des ovins et bovins	1	0,3
Symptômes des maladies à transmission hydrique	**Typhoïde**	Non	308	80,0
		Oui	77	20,0
	Gastro-entérite aigüe (GEA)	Non	281	73,0
		Oui	104	27,0
	Hépatite A	Non	310	80,5
		Oui	75	19,5
			Total (N = 385)	

Sur le plan professionnel, la population étudiée présentait un large éventail de professions. Environ 14,5 % se sont identifiées comme commerçants, 6,2 % comme fonctionnaires, et 40 % sont entrées dans la catégorie "autres", qui peut inclure diverses professions non spécifiquement mentionnées. 34 % des participants étaient déclarés chômeurs ou sans emploi au moment de l'étude.

En outre, plus de 48 % des participants confirmaient qu'ils vivaient à proximité des oueds qui reçoivent les eaux usées de la ville de Taza, à une distance inférieure à 5 km. Cette proximité des sources d'eaux usées peut les exposer à des risques sanitaires potentiels. En outre, plus de 76 % des participants déclaraient avoir été directement ou indirectement exposés à cette eau. Les voies d'exposition comprenaient le contact avec des insectes parasites (23,4 %), l'exposition à des odeurs désagréables (17,4 %) ou la consommation de légumes cultivés dans ces zones. Ces voies d'exposition pourraient expliquer la propagation potentielle de maladies d'origine hydrique dans la population.

Les taux de prévalence des maladies d'origine hydrique parmi les participants à l'étude qui présentaient des symptômes étaient de 20 % pour la fièvre typhoïde, 27 % pour la gastro-entérite et 19,5 % pour l'hépatite A. Ces résultats indiquent une proportion significative de personnes présentant des symptômes de maladies d'origine hydrique au sein de la population étudiée. Il est à noter que ces taux de prévalence sont spécifiques aux personnes qui présentaient des symptômes et que la prévalence globale au sein de l'ensemble de la population pourrait différente. Ces résultats suggèrent une association potentielle entre l'exposition à des sources d'eau contaminées, telles que les oueds recevant les eaux usées de la ville de Taza, et la manifestation de maladies d'origine hydrique chez les personnes présentant des symptômes.

III. 2 Analyse Bivariée

L'analyse bivariée montre qu'il y a une association entre l'incidence des trois maladies à transmission hydrique (gastroentérite, typhoïde et hépatite A) et les données sociodémographiques tels que l'âge et le sexe. Ainsi que les données cliniques et spécifiques tels que les zones d'étude, les problèmes liés aux cours d'eau (mauvaise odeur, irrigation, insectes parasites, baignade des enfants, élevage des bovins), l'assainissement, l'exposition et la distance approximative. Les résultats de cette analyse pourrait fournir des informations importantes pour la santé publique et les politiques de prévention des maladies à transmission hydrique.

III.2. 1 *Associations entre les maladies à transmission hydrique et les données sociodémographiques*

Le tableau 20 expose la prévalence différenciée des maladies étudiées au sein de différentes tranches d'âge de la population. Il ressort clairement que la cohorte des individus âgés entre 15 et 25 ans affiche la plus forte incidence de la fièvre typhoïde, avec un taux alarmant de 25,2%. En revanche, la tranche d'âge située entre 35 et 45 ans est davantage touchée par l'hépatite virale, présentant un taux significatif de 22,2%. La prévalence de la gastroentérite aiguë atteint son apogée chez les individus de plus de 55 ans.

Tableau 20. Analyse Bivariée de l'association entre les maladies à transmission hydriques et les données sociodémographiques

			Apparition des symptômes					
			FT		HV		GEA	
Age	15-25	Oui (%)	25,2	p = 0,031	21,6	p = 0,046	29,7	p= 0,052
		Non (%)	74,8		78,4		70,3	
	25_35	Oui (%)	20,7		16,4		27,6	
		Non (%)	79,3		83,6		72,4	
	35_45	Oui (%)	20,2		20,2		19	
		Non (%)	79,8		79,8		81	
	45_55	Oui (%)	6,7		22,2		26,7	
		Non (%)	93,3		77,8		73,3	
	Plus de 55	Oui (%)	17,2		18,3		37,9	
		Non (%)	82,8		81,7		62,1	
Sexe	Féminin (%)		66,2	p = 0,914	68	p = 0,642	59,6	p = 0,125
	Masculin (%)		33,8		34		40,4	

Concernant l'analyse bivariée liée à l'âge, des résultats captivants émergent. Une association statistiquement significative est établie entre l'âge et les taux de la fièvre typhoïde (p=0,031) ainsi que de l'hépatite virale (p=0,046), mettant en évidence une corrélation manifeste entre ces maladies et l'évolution de l'âge. En revanche, la gastroentérite ne présente pas de variation significative en fonction de l'âge, indiquant une dynamique distincte pour cette maladie.

Quant au paramètre du sexe, l'analyse démontre qu'aucune association significative n'est observée avec les taux des trois maladies étudiées. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en considération la dimension de l'âge dans la compréhension des facteurs de risque associés à ces maladies, tout en mettant en évidence l'absence d'une corrélation significative avec le sexe de la population étudiée.

III.2. 2 *Associations entre les maladies à transmission hydrique et les données cliniques et spécifiques*

L'analyse bivariée, présentée dans le Tableau 21, révèle des disparités marquées dans la prévalence des maladies à transmission hydrique selon les zones géographiques étudiées.

Tableau 21. Analyse Bivariée des associations entre des maladies à transmission hydrique et les données cliniques et spécifiques

Zones d'étude								
	(%)	Arrondissement Taza Haut	Arrondissement Taza Bas	Arrondissement Ibn Baja	Arrondissement AL Massira	Arrondissement Al Wifaq	Arrondissement Al Amal	p
FT	Non	68,7	91,7	70,5	93	75,7	80,5	**0,019**
	Oui	31,3	8,3	29,5	17	24,3	19,5	
HV	Non	86,6	83,3	88,4	63,9	67,6	83,1	**0,003**
	Oui	13,4	16,7	11,6	36,1	32,4	16,9	
GEA	Non	64,2	75	61,1	75,4	89,2	73	**0,001**
	Oui	35,8	25	38,9	24,6	21,8	27	
Problèmes liés aux Oueds								
	(%)	Aucun	Mauvaise odeur	Insectes parasites	Irrigation	Natation enfants	Élevage bovins	p
FT	Non	80	76,1	84,4	71,4	87,5	81	**0,03**
	Oui	20	23,9	22,2	28,6	15,5	19	
HV	Non	83,4	79,1	76,7	64,3	87,5	89	**0,043**
	Oui	16,6	20,9	23,3	35,7	12,5	11	
GEA	Non	74,6	71,6	77,8	57,1	25	91,5	**0,009**
	Oui	25,4	28,4	22,2	42,9	75	8,5	

		Assainissement		**Mode d'exposition**		**Distance approximative aux oueds**
	(%)					
FT	Non	13,5	**p = 0,299**	16,5	**p = 0,025**	20 **p = 0,007**
	Oui	86,5		83,5		80
HV	Non	21,6	**p = 0,729**	11	**p = 0,019**	20,7 **p = 0,041**
	Oui	78,4		89		79,3
GEA	Non	24,3	**p = 0,698**	30,8	**p = 0,04**	26,1 **p = 0,047**
	Oui	75,7		69,2		73,9

Ces variations pourraient être attribuables à la proximité variable de ces régions par rapport aux cours d'eau contaminés. Les résultats de cette analyse mettent en lumière une corrélation statistiquement significative entre la fièvre typhoïde, l'hépatite A et la gastroentérite, et les zones géographiques considérées ($p = 0,019$; $p = 0,003$; $p = 0,001$ respectivement). Ces conclusions sont étayées par une analyse supplémentaire portant sur l'association entre la distance approximative entre les oueds et les habitats résidentiels. Cette corrélation suggère que la proximité des habitations aux cours d'eau contaminés a un grand impact sur l'incidence des

maladies à transmission hydrique, soulignant ainsi l'importance de considérer la dimension géographique dans les stratégies de prévention et de gestion de ces affections.

En outre l'analyse bivariée a relaté des associations entre l'éclosion de ces maladies et divers problèmes qui compromettent la qualité de vie dans les arrondissements examinés. Parmi ces problèmes, la présence de mauvaises odeurs et d'insectes parasites est notable. Ces éléments sont identifiés comme des facteurs associés à l'augmentation des cas de maladies à transmission hydrique. De plus, certains modes de vie et activités locales, tels que, l'élevage des bovins, la pratique de la natation par les enfants dans les oueds, ainsi que l'irrigation des produits maraîchers destinés à une consommation crue par les citoyens, contribuent également à cette corrélation. En effet, l'exposition directe ou indirecte aux oueds, notamment à travers la consommation de produits maraîchers irrigués par des eaux contaminées, présente une corrélation significative. Dans le contexte des trois principales maladies étudiées, cette corrélation est notable. En effet, il y a une corrélation significative entre la fièvre typhoïde ($p = 0,025$), l'hépatite A ($p = 0,019$) et la gastroentérite ($p = 0,04$). Ces observations recommandent la prise en compte ces aspects liés à l'environnement et aux pratiques quotidiennes liées à l'eau et à l'agriculture dans le développement de stratégies de prévention et d'amélioration de la santé publique au sein de ces arrondissements.

L'absence de corrélation entre le niveau d'assainissement et le taux de maladies à transmission hydrique dans la ville est dû au fait que chaque arrondissement de la ville dispose d'un système d'assainissement commun.

III. 3 Test ANOVA

Les données issues de l'analyse par des tests de l'analyse de la variance (ANOVA) (Tableau 22) fournissent une compréhension approfondie des variations spatio-temporelles de la qualité globale physico-chimique, bactériologique, et métallique des oueds étudiés, ainsi que des réponses positives aux infections de la typhoïde, de l'hépatite virale, et de la gastro-entérite au sein de la population étudiée. Tout d'abord, l'importance du test de Fisher est manifeste, avec la valeur de probabilité (p) jouant un rôle décisif. En suivant le seuil de signification classique ($p < 0,05\%$), il devient possible d'évaluer la validité de l'hypothèse nulle. Un $p < 0,05\%$ indique le rejet de l'hypothèse nulle, concluant une différence significative. Les résultats exhibent que le facteur "zones d'étude" exerce une influence plus marquée que le facteur "temps" sur les paramètres examinés. En d'autres termes, les variations géographiques semblent avoir un impact plus prononcé que les variations temporelles dans les mesures de la qualité globale. L'influence significative du facteur "temps" est notée sur la plupart des paramètres, à l'exception de la qualité globale physico-chimique et métallique, qui restent stables au fil du temps. En revanche, le facteur "zones d'étude" exerce une influence considérable sur tous les paramètres analysés, à l'exception de la qualité globale métallique. Cette constatation confirme que la géographie de l'étude est responsable aux différences observées, avec des implications statistiquement significatives. De plus, les taux de réponses positives pour la fièvre typhoïde, l'hépatite virale, et la gastro-entérite varient de manière significative en fonction du temps et des zones d'étude. Cela met en lumière l'importance d'évaluation de ces facteurs dans la prévalence des infections au sein de la population étudiée.

Tableau 22. Test ANOVA liant la qualité des eaux étudiées aux maladies les plus probables

Altération	**Temps**				**zones d'étude**			
	M.S	F	p value summary	Significant	M.S	F	p value summary	Significant
(1) Typhoïde	4120,513	1934,065	**p<0.0001** ***	Oui	4025,206	301,743	**0.003** ***	Oui
(2) Hépatite virale	2016,320	10,098	**0,0003****	Oui	3753,630	237,371	**0,001****	Oui
(3) Gastro-entérique	1365,517	292,232	**0.0001** ***	Oui	3376,315	321,895	**0,0149** **	Oui
(4) Qualité globale physico-chimique	1063,170	203,811	0,061 ns	Non	2391,931	316,326	**0,038****	Oui
(5) Qualité globale bactériologique	3452,000	398,324	0,039 **	Oui	59913,650	131,763	0,417 **	Oui
(6) Qualité globale métallique	325185,834	101,081	0,119 ns	Non	197039,967	10,196	0,822 ns	Non

p > a = 0,05 : (ns) différences non significatives avec 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 ; cela veut dire 100% vrai
F : valeur F de Fisher
M.S : moyenne quadratique

En conclusion, ces résultats démontrent l'impact différencié des facteurs "zones d'étude" et "temps" sur les paramètres de qualité d'eaux de surfaces étudiées et la prévalence des infections. Les différences géographiques se révèlent particulièrement significatives, tandis que le temps joue un rôle moindre dans ces variations. Ces conclusions s'alignent avec d'autres travaux antérieurs, renforçant ainsi la validité des résultats obtenus (Idrissi 2018).

Conclusion

Le but principal de cette étude était d'examiner les éléments liés aux risques d'apparition des maladies à transmission hydrique dans la ville de Taza. Pour y parvenir, une méthode descriptive transversale était utilisée pour représenter la situation épidémiologique de ces maladies.

Les conclusions majeures tirées de cette investigation sont les suivantes :

- La description de la population étudiée, révèle que les taux de prévalence des maladies à transmission hydrique étaient significatifs. Ils sont de 20 % pour la fièvre typhoïde, de 27 % pour la gastro-entérite et de 19,5 % pour l'hépatite A.
- Les analyses bivariées montrent l'impact significatif des activités de la population par zone géographique sur l'apparition des maladies à transmission hydrique. En effet, certaines zones sont plus touchées que d'autres, suggérant une corrélation statiquement signifiante entre la propagation de ces maladies (la fièvre typhoïde, l'hépatite A et la gastro-entérite), ainsi que les zones géographiques ($p = 0,019$, $p = 0,003$, $p = 0,001$) et la proximité de rivières contaminées.
- L'étude de la relation entre les cours d'eau et les zones résidentielles renforce cette tendance.

Les résultats ainsi obtenus seront d'une grande utilité aux autorités locales pour la prise de décision en matière de santé publique à Taza en fournissant des données essentielles sur la qualité des eaux d'oueds traversant la ville et les programmes de prévention des maladies liées à l'eau.

Conclusion Générale et Perspectives

La gestion de la qualité des eaux de surface est devenue une préoccupation majeure dans le contexte mondial actuel. Notre étude se concentrait sur la ville de Taza au Maroc. Elle a permis de mettre en lumière les défis environnementaux et sanitaires liés à la détérioration de la qualité de l'eau due aux divers facteurs, notamment l'impact du changement climatique, la surexploitation des ressources en eau et la pollution. Ces éléments ont des répercussions significatives sur la santé humaine et l'environnement.

Dans le cadre de la gestion de ces défis, nous avions examiné les stratégies développées de gestion, d'une part, des eaux, et d'autre part, de survenue des maladies à transmission hydrique à l'échelle nationale et internationale. Au Maroc, le cadre juridique régissant les eaux de surface a été révisé et complété par de nouveaux articles insistant sur le traitement des eaux usées de tout origine avant leur rejet dans les cours d'eau, la réutilisation des eaux usées épurées, la recherche de nouvelles sources d'eau non conventionnelles, la réalisation de plusieurs stations d'épuration des eaux usées, le dessalement des eaux de mer, le stockage et recyclage des eaux de pluies et la construction de nouveaux barrages…

Pour le traitement des eaux polluées, nous avions suggéré les techniques de traitement et de remédiation les plus citées et justifiées par des études antérieures, notamment la coagulation-floculation, l'adsorption, la filtration. Le système d'évaluation de la Qualité des Eaux de Surface (SEQ-Eau), et la gestion informatique et géographique des données sont les plus exploités.

Concernant les efforts mis en action vis-à-vis des maladies à transmission hydrique, le Maroc a intensifié ses efforts pour lutter contre les maladies à transmission hydrique en améliorant l'infrastructure d'approvisionnement en eau, en organisant des campagnes de sensibilisation sur l'hygiène, en instaurant des programmes de surveillance et de contrôle des maladies, en investissant dans le traitement de l'eau et en travaillant en collaboration avec des organisations internationales. Ces mesures ont pour but d'assurer un accès continu à l'eau potable et de diminuer le nombre de maladies liées à l'eau, ce qui contribuera à l'amélioration de la santé et le bien-être de la population du Maroc.

Pour ce faire, nous avions dans un premier volet : évalué la qualité de l'eau des oueds traversant la ville de Taza et identifié d'éventuelles associations entre les nombreux paramètres mesurés, contribué à la remédiation de la problématique de pollution des eaux de surface par la valorisation des margines

dans l'irrigation du sorgho, et des aiguilles de pin d'Alep comme matériau adsorbant des polluants organiques non biodégradables des eaux usées déversées dans les eaux de surface de la ville.

Dans un deuxième volet, nous avions évalué l'impact de la qualité des eaux de la ville de Taza sur la prévalence des maladies hydriques (l'hépatite A, la typhoïde et la gastroentérite) par une étude épidémiologique transversale à visé descriptive.

Les résultats conduisent aux conclusions suivantes :

- Le diagnostic révèle des anomalies significatives au niveau du réseau d'assainissement de la ville de Taza, l'absence d'une station de traitement des eaux usées entraînant le rejet direct de ces eaux polluées dans les oueds qui traversent la ville, sans aucune forme de traitement préalable, l'utilisation des eaux d'oueds polluées pour l'irrigation des cultures maraîchères, ce qui représente un risque potentiel de contamination et de propagation des maladies à transmission hydrique,

- Les indices de qualité globale du système SEQ-EAU, relataient que la qualité physicochimique globale est très mauvaise aux points O1 et O2, et mauvaise au niveau des points O3 et O4. Pour ce qui est de la qualité métallique globale, elle est jugée moyenne aux points O1 et O2, et bonne aux points O3 et O4. Alors que la qualité bactériologique globale est estimée moyenne aux points O1, O2 et O4, tandis qu'elle est jugée bonne au point O3.

Face à cette situation préoccupante, il est impératif de mettre en place un système de traitement des eaux usées ainsi que des mesures de prévention et de sensibilisation. Cela est essentiel pour protéger la santé publique et prévenir la survenue d'épisodes de maladies à transmission hydrique. Il est également capital d'adopter des pratiques durables et responsables en matière de gestion de l'eau, afin de garantir la sécurité des ressources hydriques locales et la santé des habitants de la ville de Taza.

- Les résultats de l'utilisation des margines dans l'irrigation du sorgho à différente concentrations (100%, 50% et 25%) montraient que les plantes traitées avec les margines brutes ont des valeurs réduites de transpiration, de conductance stomatique, d'efficience du photosystème II et de teneur en azote. Les margines diluées à 50% ont des effets similaires à ceux de l'eau seule. Cette méthode pourrait permettre d'exploiter jusqu'à 2302 kg/an/ha des margines.
- Le traitement physique des aiguilles de pin d'Alep (PA) permettait d'obtenir un biomatériau léger, peu conducteur, poreux, légèrement acide et principalement composé de carbone et d'oxygène. Des caractéristiques qui font de lui un adsorbant de bonne qualité avec un rendement

d’abattement de la DCO des eaux usées de la ville déversées dans les eaux de surfaces, jusqu’à 94% dans les conditions optimale de pH égale à 3, du temps d’agitation de 240 min et de masse d’adsorbant de 0.2 $g.L^{-1}$

- L’étude transversale des maladies à transmission hydrique dans la ville de Taza révélait un taux de prévalence élevé : 20 % pour la fièvre typhoïde, 27 % pour la gastro-entérite et 19,5 % pour l'hépatite A. Les analyses montrent une corrélation entre les activités de la population par zone géographique et l'apparition de ces maladies.

Dans le cadre des perspectives et des recommandations pour la ville de Taza, il est conseillé de prendre des mesures concrètes pour améliorer la gestion de l'eau, réduire la pollution et promouvoir des pratiques durables telles que :

1. La construction d'une station de traitement des eaux usées à la ville de Taza. Cette infrastructure est essentielle pour traiter les eaux usées domestiques et industrielles avant leur rejet dans les oueds. Un traitement approprié contribuera à réduire la pollution des cours d'eau et à prévenir la propagation de maladies à transmission hydrique.

2. La séparation des réseaux d'assainissement qui permettra de canaliser les eaux usées industrielles vers des étangs ou des stations spécialisées dans leur traitement et leur valorisation. Cette séparation des flux d'eaux usées domestiques et industrielles permettra de mieux contrôler, traiter les polluants industriels et recycler les eaux épurées répondant aux normes en vigueur et s’alignant à la stratégie du pays.

3. L’encouragement de l'économie circulaire dans l'industrie de la région afin de réduire la production de déchets, réutiliser des matériaux et préserver les ressources naturelles. la mise en place des processus de recyclage efficaces. Les autorités locales peuvent collaborer avec les entreprises pour mettre en œuvre ces pratiques et réduire l'impact environnemental.

4. La promotion de diversifier les cultures agricoles les moins exigeantes en eau. Cela peut aider à réduire la pression sur les ressources hydriques locales et préserver les sols et l'eau.

5. Le recyclage des déchets agricoles en biomatériaux utiles, contribuant ainsi à réduire la pollution des différents milieux et son impact sur la santé.

6. La sensibilisation et l’éducation de la population locale, des agriculteurs, des industriels et des décideurs politiques via des campagnes d'information sur l'importance de la préservation de la qualité

de l'eau et sur les pratiques durables. L'éducation des jeunes générations sur la gestion de l'eau et de l'environnement est également essentielle.

7. la collaboration intersectorielle entre les autorités locales, les institutions gouvernementales, les chercheurs, les entreprises et les communautés locales pour mettre en œuvre ces recommandations et résoudre les défis environnementaux de manière efficace et durable.

En adoptant ces mesures et en s'engageant dans une gestion responsable des ressources hydriques, la ville de Taza pourrait progresser vers un avenir plus durable, préservant à la fois la santé publique et l'environnement. Ces actions contribueraient également à renforcer la résilience de la région face aux défis environnementaux actuels et futurs, tels que les sécheresses, la pollution et par conséquent le changement climatique.

Référence

AAE. 2017. « Assises de l'Association Africaine de l'eau (AAE) à Skhirat ». Maroc.ma. 14 février 2017. https://www.maroc.ma/fr/actualites/assises-de-lassociation-africaine-de-leau-aae-skhirat.

Abdelali, S., Mohammed H., Hassan F., et Badri W. 2012. Etude des variations climatiques de la région centre du Maroc. Actes du XXVème Colloque del'AIC. Vol. 25.

Abdelmajid, K., Mohamed L., Abdeslam E., et Laboratoire Pamsn. 2012. « Production et commercialisation des ressources végétales dans la province de Taza (Nord du Maroc) ».

Abhijna, U. G. 2016. « Monitoring and assessment of a eutrophicated coastal lake using multivariate approaches ». Global Journal of Environmental Science and Management 2 (3): 275-88. https://doi.org/10.7508/gjesm.2016.03.007.

Achak, M., Ouazzani N., Yaacoubi A., et Mandi L. 2008. « Caractérisation des margines issues d'une huilerie moderne et essais de leur traitement par coagulation-floculation par la chaux et le sulfate d'aluminium. » Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science 21 (1): 53-67. https://doi.org/10.7202/017930ar.

Aday, Lu Ann, et Llewellyn J. Cornelius. 2006. Designing and Conducting Health Surveys: A Comprehensive Guide. John Wiley & Sons.

Agence urbaine de Taza. 2014. « Etude du schéma directeur d'élimination des margines des huileries situées a la province de Taza ». https://mobile.autaza.ma/.

Aharonov-Nadborny, R., Tsechansky L., Raviv M., et Graber E.R. 2018. « Mechanisms Governing the Leaching of Soil Metals as a Result of Disposal of Olive Mill Wastewater on Agricultural Soils ». Science of The Total Environment 630 (juillet):1115-23. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.270.

Ahmadi, S., et Izanloo C. 2023. « Biosynthesis of Iron Oxide Nanoparticles at Different Temperatures and Its Application for the Removal of Zinc by Plant Mediated Nanoparticle, as an Eco-Friendly Nanoadsorbent ». Results in Chemistry 6. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.101192.

Alardhi, S.M., Salih H.G., Ali N.S., Khalbas A.H., Salih I.K., Saady N.M.C., Zendehboudi S., Albayati T.M., et Harharah H.N. 2023. « Olive Stone as an Eco-Friendly Bio-Adsorbent for Elimination of Methylene Blue Dye from Industrial Wastewater ». Scientific Reports 13 (1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-47319-x.

Allan, Richard P., Mathew Barlow, Michael P. Byrne, Annalisa Cherchi, Hervé Douville, Hayley J. Fowler, Thian Y. Gan, et al. 2020. « Advances in Understanding Large-Scale Responses of the Water Cycle to Climate Change ». Annals of the New York Academy of Sciences 1472 (1): 49-75. https://doi.org/10.1111/nyas.14337.

Al-Maliky, Ebtehal A., Hatem A. Gzar, et Mohammed G. Al-Azawy. 2021. « Determination of Point of Zero Charge (PZC) of Concrete Particles Adsorbents ». IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1184 (1): 012004. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1184/1/012004.

Aquilanti, Lucia, Manuela Taccari, Donatella Bruglieri, Andrea Osimani, Francesca Clementi, Francesca Comitini, et Maurizio Ciani. 2014. « Integrated biological approaches for olive

mill wastewater treatment and agricultural exploitation ». International Biodeterioration & Biodegradation 88 (mars):162-68. https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.12.010.

Bahir, M., Chkir N., Trabelsi R., Friha H.A., Zouari K., et Chamchati H. 2012. « Hydro-Geochemical Behaviour of Two Coastal Aquifers under Severe Climatic and Human Constraints: Comparative Study between Essaouira Basin in Morocco and Jeffara Basin in Tunisia ». International Journal of Hydrology Science and Technology 2 (1): 75-100. https://doi.org/10.1504/IJHST.2012.045940.

Bahir, M., Ouhamdouch S., Ouazar D., Rafik A., et Chehbouni A. 2021. « An Assessment of Groundwater from Semi-Arid Environment of Morocco for Drinking and Agricultural Uses with Reference to Water Quality Indices Technique ». Carbonates and Evaporites 36 (3). https://doi.org/10.1007/s13146-021-00731-8.

Balaguer-Romano, R., Díaz-Sierra R., Madrigal J., Voltas J., et de Dios V.R. 2020. « Needle Senescence Affects Fire Behavior in Aleppo Pine (Pinus Halepensis Mill.) Stands: A Simulation Study ». Forests 11 (10): 1-14. https://doi.org/10.3390/f11101054.

Banaji, Shreyas. 2022. « Preventing the Deluge: Climate Change, the Four Spheres, Interactions, and Causalities ». Atmospheric and Climate Sciences 13 (1): 1-9. https://doi.org/10.4236/acs.2023.131001.

Barbéro, M., Loisel R., et Quézel P. 1998. « Pines of the Mediterranean basin. In 'Ecology and Biogeography of Pinus'.(Ed. DM Richardson) pp. 153–170 ». Cambridge University Press: Cambridge, UK.

Bartram, Jamie, et Sandy Cairncross. 2010a. « Hygiene, sanitation, and water: forgotten foundations of health ». PLoS medicine 7 (11). https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000367.

———. 2010b. « Hygiene, Sanitation, and Water: Forgotten Foundations of Health ». PLoS Medicine 7 (11). https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000367.

Bawab, Abeer Al, Noor Ghannam, Saida Abu-Mallouh, Ayat Bozeya, Rund A. Abu-Zurayk, Yazan A. Al-Ajlouni, Fida'a Alshawawreh, Fadwa Odeh, et Muna A. Abu-Dalo. 2018. « Olive Mill Wastewater Treatment in Jordan: A Review ». IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 305 (février):012002. https://doi.org/10.1088/1757-899X/305/1/012002.

Béchir, Dr Béchir Ben, Dr Kamel Gargouri, Dr Mounir Abichou, et Dr Ali Rhouma. 2014. « L'épandage des margines sur les terres agricoles : résultats et gestion pratique », 37.

Belhassan, Kaltoum. 2022. Water Scarcity Management in the Maghreb Region. Drought - Impacts and Management. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.103788.

Ben Abbou, M., F. Fadil, et M. El Haji. 2014. « Évaluation de la qualité des cours d'eau de la ville de Taza utilisés dans l'irrigation des cultures maraîchères (Maroc). » Journal of Applied Biosciences 77:6462-73.

Ben Abbou, M., El Haji M., Zemzami M., et Fadil F. 2013. « Détermination de la qualité des eaux souterraines des nappes de la province de Taza (Maroc) ». LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680 / E-ISSN 2521-9782, n° 16 (décembre). http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/181.

Ben Abbou, Mohamed, Rheribi R., El Haji M., Rais Z., et Zemzami M. 2014. « Effect of using olive mill wastewater by electrocoagulation process on the development and germination of tomato seeds », 7.

Benech Arnold, R.L., Ghersa C.M., Sanchez R.A., et Garcia Fernandez A.E. 1988. « The role of fluctuating temperatures in the germination and establishment of Sorghum halepense (L.) Pers. Regulation of germination under leaf canopies ». Functional Ecology 2 (3): 311-18. https://doi.org/10.2307/2389403.

Benouadah, Nacera, Djamel Aliouche, Andrey Pranovich, et Stefan Willför. 2019. « Chemical characterization of Pinus halepensis sapwood and heartwood ». Wood Material Science & Engineering 14 (3): 157-64. https://doi.org/10.1080/17480272.2018.1448436.

Bentahar, Yassine. 2016. « Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse ». France: l'UNIVERSITE de Nice-Sophia Antipolis. https://theses.hal.science/tel-01452518/document.

Bi, S., Lai H., Guo D., Liu X., Wang G., Chen X., Liu S., Yi H., Su Y., et Li G. 2022. « Spatio-Temporal Variation of Bacterioplankton Community Structure in the Pearl River: Impacts of Artificial Fishery Habitat and Physicochemical Factors ». BMC Ecology and Evolution 22 (1). https://doi.org/10.1186/s12862-022-01965-3.

Bilger, Wolfgang, Ulrich Schreiber, et Michael Bock. 1995. « Determination of the Quantum Efficiency of Photosystem II and of Non-Photochemical Quenching of Chlorophyll Fluorescence in the Field ». Oecologia 102 (4): 425-32. https://doi.org/10.1007/BF00341354.

Bino, Naser I. Faruqui / ASIT K. Biswas / MURAD J. 2003. La gestion de l'eau selon l'Islam. KARTHALA Editions.

Bisseux, Maxime, Didier Debroas, Audrey Mirand, Christine Archimbaud, Hélène Peigue-Lafeuille, Jean-Luc Bailly, et Cécile Henquell. 2020. « Monitoring of Enterovirus Diversity in Wastewater by Ultra-Deep Sequencing: An Effective Complementary Tool for Clinical Enterovirus Surveillance ». Water Research 169 (février):115246. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115246.

Bled, Eurydice, et David Carassus. 2015. « Agenda 21 : Un Outil de Développement Durable ». Post-Print, Post-Print, , octobre. https://ideas.repec.org//p/hal/journl/hal-02152516.html.

B.O N°6132. 2013. Les limites Marocaines de rejet des eaux usées dans les eaux de surface ou souterraines (VLMR). NM BO N°6132 du Rabie II 1434.

Bonita, R., Beaglehole R., et Tord Kjellström. 2010. Eléments d'épidémiologie. Organisation mondiale de la santé.

Boretti, Alberto, et Lorenzo Rosa. 2019. « Reassessing the Projections of the World Water Development Report ». Npj Clean Water 2 (1): 1-6. https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9.

Bouyer, Jean. 2009. Épidémiologie : principes et méthodes quantitatives. Lavoisier.

Brahimi, H., et Benchouk S. 2020. « Épidémie de fièvre typhoïde en 2019 ». Médecine et Maladies Infectieuses, 21es Journées Nationales d'Infectiologie, 50 (6, Supplement): S113. https://doi.org/10.1016/j.medmal.2020.06.232.

Bruzzese, Eugenia, Antonietta Giannattasio, et Alfredo Guarino. 2018. « Antibiotic treatment of acute gastroenteritis in children ». F1000Research 7 (février):193. https://doi.org/10.12688/f1000research.12328.1.

Caflisch, Lucius. 1997. « La convention du 21 mai 1997 sur l'utilisation des cours d'eau internationaux à des fins autres que la navigation ». Annuaire Français de Droit International 43 (1): 751-98. https://doi.org/10.3406/afdi.1997.3481.

Calvete, Tatiana, Eder C., Lima, Natali F., Cardoso, Júlio C. P. Vaghetti, Silvio L. P. Dias, et Flavio A. Pavan. 2010. « Application of Carbon Adsorbents Prepared from Brazilian-Pine Fruit Shell for the Removal of Reactive Orange 16 from Aqueous Solution: Kinetic, Equilibrium, and Thermodynamic Studies ». Journal of Environmental Management 91 (8): 1695-1706. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.013.

Casabonne, Cecilia, Agustina González, Virginia Aquili, et Claudia Balagué. 2016. « Prevalence and Virulence Genes of Shigella spp. Isolated from Patients with Diarrhea in Rosario, Argentina ». Japanese Journal of Infectious Diseases 69 (6): 477-81. https://doi.org/10.7883/yoken.JJID.2015.459.

CBD. 1993. « History of the Convention on Biological Diversity », 1993. https://www.cbd.int/history/.

CCNUCC. 1994. « Qu'est-ce que la CCNUCC, la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques ? | CCNUCC ». 1994. https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/qu-est-ce-que-la-ccnucc-la-convention-cadre-des-nations-unies-sur-les-changements-climatiques.

CCPSC. 2023. « Recommandations générales lors de diarrhées et/ou vomissements ou gastro-entérite ». Clinique communautaire de Pointe-Saint-Charles. 2023. https://ccpsc.qc.ca/fr/gastro/.

CDC. 2023. « CDC: Salmonella Outbreak Linked to Flour ». Centers for Disease Control and Prevention. 1 mai 2023. https://www.cdc.gov/salmonella/infantis-03-23/index.html.

Chantereau, Jacques, Jean-François Cruz, Alain Ratnadass, Gilles Trouche, et Geneviève Fliedel. 2013. Le sorgho. éditions Quae. https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2062-5.

Charcosset, Catherine. 2009. « A review of membrane processes and renewable energies for desalination ». Desalination, Engineering with Membranes 2008, 245 (1): 214-31. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.06.020.

Chen, X., Gu X., Liu P., Wang D., Mumtaz F., Shi S., Liu Q., et Zhan Y. 2022. « Impacts of inter-annual cropland changes on land surface temperature based on multi-temporal thermal infrared images ». Infrared Physics and Technology 122. https://doi.org/10.1016/j.infrared.2022.104081.

Cicci, A., M. Stoller, et M. Bravi. 2013. « Microalgal Biomass Production by Using Ultra- and Nanofiltration Membrane Fractions of Olive Mill Wastewater ». Water Research 47 (13): 4710-18. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.030.

CIRAD. 2023. « Face à la sécheresse, communautés scientifiques et agricoles se penchent sur le sorgho ». CIRAD. 16 juin 2023. https://www.cirad.fr/espace-presse/communiques-de-presse/2023/conference-sorgho-au-21e-siecle.

« Convention RAMSAR ». 1980. 1980. https://www.ramsar.org/.

Cooley, Sarah W., Jonathan C. Ryan, et Laurence C. Smith. 2021. « Human Alteration of Global Surface Water Storage Variability ». Nature 591 (7848): 78-81. https://doi.org/10.1038/s41586-021-03262-3.

Cornic, Gabriel, et Angelo Massacci. 1996. « Leaf Photosynthesis Under Drought Stress ». In Photosynthesis and the Environment, édité par Neil R. Baker, 347-66. Advances in Photosynthesis and Respiration. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/0-306-48135-9_14.

Coskun, Tamer, Eyup Debik, et Neslihan Manav Demir. 2010. « Treatment of Olive Mill Wastewaters by Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes ». Desalination 259 (1-3): 65-70. https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.034.

Crabtree, K. D., Gerba C. P., Rose J. B., et Haas C. N. 1997. « Waterborne Adenovirus: A Risk Assessment ». Water Science and Technology, Health-Related Water Microbiology 1996, 35 (11): 1-6. https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00225-4.

Croux, Christophe, et Catherine Dehon. 2010. « Influence Functions of the Spearman and Kendall Correlation Measures ». Statistical Methods & Applications 19 (4): 497-515. https://doi.org/10.1007/s10260-010-0142-z.

Crump, John A. 2019. « Progress in Typhoid Fever Epidemiology ». Clinical Infectious Diseases 68 (Supplement_1): S4-9. https://doi.org/10.1093/cid/ciy846.

Cuevas-Ferrando, Enric, Walter Randazzo, Alba Pérez-Cataluña, et Gloria Sánchez. 2020. « HEV Occurrence in Waste and Drinking Water Treatment Plants ». Frontiers in Microbiology 10 (janvier):2937. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02937.

Dahiya, S., Katiyar A., Rai S., Sharma P., Kaur Punit, et Kapil A. 2023. « Ceftriaxone-Resistant Salmonella Typhi Isolated from Paediatric Patients in North India: Insights into Genetic Profiles and Antibiotic Resistance Mechanisms ». Indian Journal of Medical Microbiology 46. https://doi.org/10.1016/j.ijmmb.2023.100448.

Das, Surojit, Ujjwayini Ray, et Shanta Dutta. 2016. « Revisit of fluoroquinolone and azithromycin susceptibility breakpoints for Salmonella enterica serovar Typhi ». Journal of Medical Microbiology 65 (7): 632-40. https://doi.org/10.1099/jmm.0.000288.

Dash, S., et Kalamdhad A.S. 2021. « Science Mapping Approach to Critical Reviewing of Published Literature on Water Quality Indexing ». Ecological Indicators 128. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107862.

Davidson, Andrew, et Ferenc Csillag. 2003. « A comparison of nested analysis of variance (ANOVA) and variograms for characterizing grassland spatial structure under a limited sampling budget ». Canadian Journal of Remote Sensing 29 (1): 43-56. https://doi.org/10.5589/m02-078.

Denden, M., T. Bettaieb, Alef Salhi, et M. Mathlouthi. 2005. « Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales ». Tropicultura 23 (4): 220-25.

Deng, Yingrui, Xiaoting Zhang, Rui Li, Zhuo Li, Boguang Yang, Peng Shi, Honglu Zhang, et al. 2022. « Biomaterial-Mediated Presentation of Wnt5a Mimetic Ligands Enhances Chondrogenesis and Metabolism of Stem Cells by Activating Non-Canonical Wnt Signaling ». Biomaterials 281 (février):121316. https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2021.121316.

Dhaouadi, H., et Marrot B. 2010. « Olive mill wastewater treatment in a membrane bioreactor: process stability and fouling aspects ». Environmental Technology 31 (7): 761-70. https://doi.org/10.1080/09593331003636621.

Dhara, Debashis, Scott M. Baliban, Chang-Xin Huo, Zahra Rashidijahanabad, Khandra T. Sears, Setare Tahmasebi Nick, Anup Kumar Misra, Sharon M. Tennant, et Xuefei Huang. 2020. « Syntheses of Salmonella Paratyphi A Associated Oligosaccharide Antigens and Development towards Anti-Paratyphoid Fever Vaccines ». Chemistry – A European Journal n/a (n/a). https://doi.org/10.1002/chem.202002401.

Diréction Générale de l'Eau. 2009. « Plan National de l'Eau ». 2009. http://81.192.10.228/ressources-en-eau/politique-de-leau/.

Doggett, Hugh. 1988. Sorghum. Longman Scientific & Technical.

Driemeier, Carlos, et Lucas H. Francisco. 2014. « X-Ray Diffraction from Faulted Cellulose I Constructed with Mixed Iα–Iβ Stacking ». Cellulose 21 (5): 3161-69. https://doi.org/10.1007/s10570-014-0390-4.

Duby, C, et S Robin. 2006. « Analyse en Composantes Principales » 80:53.

Edberg, S C, Allen M. J., et Smith D. B. 1988. « National field evaluation of a defined substrate method for the simultaneous enumeration of total coliforms and Escherichia coli from drinking water: comparison with the standard multiple tube fermentation method ». Applied and Environmental Microbiology 54 (6): 1595-1601. https://doi.org/10.1128/aem.54.6.1595-1601.1988.

Ejaz, H., Sultan M., Qamar M.U., Junaid K., Rasool N., Alanazi A., Alruways M.W., et al. 2023. « Antibacterial Efficacy of Indigenous Pakistani Honey against Extensively Drug-Resistant Clinical Isolates of Salmonella Enterica Serovar Typhi: An Alternative Option to Combat Antimicrobial Resistance ». BMC Complementary Medicine and Therapies 23 (1). https://doi.org/10.1186/s12906-023-03870-8.

El Bilali, A., Taleb A., et Brouziyne Y. 2021. « Groundwater Quality Forecasting Using Machine Learning Algorithms for Irrigation Purposes ». Agricultural Water Management 245. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106625.

El Hajjami, Saadia, Salah Souabi, et Mohammed El Alami. 2022. « Assessment of Pollution by Phosphate and Nitrogen Elements from Sebou and Oum Er Rbia, Morocco ». In Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2020), édité par Janusz Kacprzyk, Valentina E. Balas, et Mostafa Ezziyyani, 370-84. Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90633-7_32.

El Madani, Fatima-Zahra, Nisrine Idrissi, Kenza Lahlou, Nouha El, M. Ben Abbou, Mohamed Merzouki, et Zakia Rais. 2021. « Spatiotemporal assessment of the quality of surface water the most polluted in the city ». Journal of Biodiversity and Environmental Sciences | JBES 18 (4): 1-10. https://doi.org/10.5281/zenodo.6759236.

El Madani, Fatima-Zahra, Lahlou K., Idrissi N., El Allaoui N., Ben Abbou M., Merzouki M., Chetouani A., Taleb M., et Rais Z. 2019. « Identification of the Quality of Surface Waters in the City of Fez by the SEQ-GIS Approach and Analysis of Variance ». Moroccan Journal of Chemistry 7 (4): 7-682. https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v7i4.16482.

El Mrissani, S., Haida S., Probst J.L, et Probst A. 2021. « Multi-Indices Assessment of Origin and Controlling Factors of Trace Metals in River Sediments from a Semi-Arid Carbonated Basin (The Sebou Basin, Morocco) ». Water (Switzerland) 13 (22). https://doi.org/10.3390/w13223203.

El Yousfi, Yassine, Mahjoub Himi, Mourad Aqnouy, Said Benyoussef, Hicham Gueddari, Imane Lamine, Hossain El Ouarghi, et al. 2023. « Pollution Vulnerability of the Ghiss Nekkor Alluvial Aquifer in Al-Hoceima (Morocco), Using GIS-Based DRASTIC Model ». International Journal of Environmental Research and Public Health 20 (6): 4992. https://doi.org/10.3390/ijerph20064992.

El-Abbassi, A., Hafidi A., Khayet M., et García-Payo M. C. 2013. « Integrated direct contact membrane distillation for olive mill wastewater treatment ». Desalination, Membrane Distillation and related Membrane Systems, 323 (août):31-38. https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.06.014.

El-Abbassi, A., Kiai H., Hafidi A., García-Payo M. C., et Khayet M. 2012. « Treatment of olive mill wastewater by membrane distillation using polytetrafluoroethylene membranes ». Separation and Purification Technology 98 (septembre):55-61. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.06.026.

Elaieb, Mohamed Tahar, Habib Kachouri, Sofien Azzouz, Foued Shel, Mohamed Larbi Khouja, et Kévin Candelier. 2019. « Le bois du pin d'Alep Tunisien : propriétés, potentialités et débouchés ». Book_section. Le pin d'Alep en Tunisie : Ecologie, gestion et usages. INRGREF. Tunisie. 2019. https://agritrop.cirad.fr/587242/.

Elmahdy, E. M., Fongaro G., Schissi C. D., Petrucio M. M., et Barardi C. R. M. 2015. « Enteric viruses in surface water and sediment samples from the catchment area of Peri Lagoon, Santa Catarina State, Brazil ». Journal of Water and Health 14 (1): 142-54. https://doi.org/10.2166/wh.2015.295.

Espitia-Hernández, Pilar, Mónica L. Chávez González, Juan A. Ascacio-Valdés, Desiree Dávila-Medina, Antonio Flores-Naveda, Teresinha Silva, Xóchitl Ruelas Chacón, et Leonardo Sepúlveda. 2020. « Sorghum (Sorghum bicolor L.) as a potential source of bioactive substances and their biological properties ». Critical Reviews in Food Science and Nutrition 0 (0): 1-12. https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1852389.

FAO. 2022. « Water Scarcity | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations ». 2022. https://www.fao.org/land-water/water/water-scarcity/en/.

F.D. Owa. 2013. « Water Pollution: Sources, Effects, Control and Management | Mediterranean Journal of Social Sciences » 4 (8). https://doi.org/10.5901/mjss.2013.v4n8p65.

Fdil, F., S. Errochdi, El Alami M., Bennas N., Belqat B., et Ater M. 2012. « Étude de la qualité physicochimique et microbiologique de deux réseaux hydrographiques nord marocains: Laou et Tahaddart ». Méditerranée: Revue géographique des pays méditerranées, nº 118, 41-51.

Ferronato, Navarro, et Vincenzo Torretta. 2019. « Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues ». International Journal of Environmental Research and Public Health 16 (6): 1060. https://doi.org/10.3390/ijerph16061060.

Flores, Nelly, Enric Brillas, Francesc Centellas, Rosa María Rodríguez, Pere Lluís Cabot, José Antonio Garrido, et Ignasi Sirés. 2018. « Treatment of Olive Oil Mill Wastewater by Single Electrocoagulation with Different Electrodes and Sequential Electrocoagulation/Electrochemical Fenton-Based Processes ». Journal of Hazardous Materials 347 (avril):58-66. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.059.

French, Alfred D., et Michael Santiago Cintrón. 2013. « Cellulose Polymorphy, Crystallite Size, and the Segal Crystallinity Index ». Cellulose 20 (1): 583-88. https://doi.org/10.1007/s10570-012-9833-y.

G, Kayali. 2018. « The Forgotten History of Pre-Modern Epidemiology: Contribution of Ibn An-Nafis in the Islamic Golden Era. » Eastern Mediterranean Health Journal = La Revue de Sante de La Mediterranee Orientale = Al-Majallah Al-Sihhiyah Li-Sharq Al-Mutawassit 23 (12): 854-57. https://doi.org/10.26719/2017.23.12.854.

Galassi, E., L. Gazza, Nocente F., Kouagang Tchakoutio P., Natale C., et Taddei F. 2023. « Valorization of Two African Typical Crops, Sorghum and Cassava, by the Production of Different Dry Pasta Formulations ». Plants 12 (15). https://doi.org/10.3390/plants12152867.

Garane, Dr Amidou. 2008. « CONVENTION DES NATIONS UNIES SUR LES COURS D'EAU INTERNATIONAUX : »

Geng, Yuqing, Mukasar Maimaituerxun, et Han Zhang. 2020. « Coupling Coordination of Water Governance and Tourism: Measurement and Prediction ». Discrete Dynamics in Nature and Society 2020 (mars):e3683918. https://doi.org/10.1155/2020/3683918.

Geniey-Camara, Baptiste. 2016. « L'empreinte du milieu naturel et de la nature dans le traité hippocratique Airs, eaux, lieux. » Mémoire. Université Toulouse-Jean Jaurès. 15 septembre 2016. http://dante.univ-tlse2.fr/1889/.

Ghenghesh, K.S., Franka E., Tawil K., Wasfy M.O, Ahmed S.F., Rubino S., et Klena J.D. 2009. « Enteric Fever in Mediterranean North Africa ». Journal of Infection in Developing Countries 3 (10): 753-61. https://doi.org/10.3855/jidc.606.

Gimenez-Sanchez, F., Delgado-Rubio A., Martinon-Torres F., et Bernaola-Iturbe E. 2010. « Multicenter Prospective Study Analysing the Role of Rotavirus on Acute Gastroenteritis in Spain ». Acta Paediatrica 99 (5): 738-42. https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2010.01684.x.

Gonçalves, M. R., Marques I. P., et Correia J. P. 2012. « Electrochemical mineralization of anaerobically digested olive mill wastewater ». Water Research 46 (13): 4217-25. https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.05.019.

Gonçalves, M.R., Costa J.C., Marques I.P., et Alves M.M. 2012. « Strategies for Lipids and Phenolics Degradation in the Anaerobic Treatment of Olive Mill Wastewater ». Water Research 46 (6): 1684-92. https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.046.

Gorelick, Steven M., et Chunmiao Zheng. 2015. « Global Change and the Groundwater Management Challenge ». Water Resources Research 51 (5): 3031-51. https://doi.org/10.1002/2014WR016825.

Guellaf, A., et Kettani K. 2021. « Assessing the Ecological Status Using Physico-Chemical, Bacteriological Parameters and Biotic Indices of the Oued Martil River Basin in Northwestern Morocco ». Biologia 76 (2): 585-98. https://doi.org/10.2478/s11756-020-00560-5.

Hadbaoui, Zineb, et Yousf M. 2007. « Etude de l'activité antioxydante fractions lipidiques,protéiques et phénoliques des graines se Sorgho local ». Thesis. http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/498.

Haddadou, Imane, Djamel Aliouche, Nicolas Brosse, et Siham Amirou. 2015. « Characterization of Cellulose Prepared from Some Algerian Lignocellulosic Materials (Zeen Oak Wood, Aleppo Pine Wood and Date Palm Rachis) ». European Journal of Wood and Wood Products 73 (3): 419-21. https://doi.org/10.1007/s00107-015-0903-3.

Hagemann, S., C. Chen, D. B. Clark, S. Folwell, S. N. Gosling, I. Haddeland, N. Hanasaki, et al. 2013. « Climate Change Impact on Available Water Resources Obtained Using Multiple Global Climate and Hydrology Models ». Earth System Dynamics 4 (1): 129-44. https://doi.org/10.5194/esd-4-129-2013.

Haldar, Ishita. 2011. Global Warming: The Causes and Consequences. Readworthy.

Halder, Joshua Nizel, et Nazrul Islam. 2015. « Water Pollution and Its Impact on the Human Health ». Journal of Environment and Human 2 (1): 36-46. https://doi.org/10.15764/EH.2015.01005.

Hanafi, Fatiha, Nadia Sadif, Omar Assobhei, et Mohammed Mountadar. 2009. « Traitement des margines par électrocoagulation avec des électrodes plates en aluminium ». Revue des sciences de l'eau 22 (4): 473. https://doi.org/10.7202/038326ar.

HANCHANE, M., et JANATI IDRISSIA. 2012. « SIG et modélisation du risque de feu de forêts dans la forêt de Bab Azhar (Taza-Maroc) ». Edumedia, 324.

Haut Commissariat au Plan. 2014. « RGPH 2014 ». 2014. http://rgphentableaux.hcp.ma/.

Hind Ezzine, Ahmed Rguig, Mariam Naciri, et I. Jroundi. 2021. « Trends for Rotavirus Acute Gastroenteritis in Children under 5 Years Old before and after Vaccine Introduction, Morocco, 2006–2014 ». Eastern Mediterranean Health Journal 27 (6): 553-62.

Hooper, D C, J S Wolfson, E Y Ng, et M N Swartz. 1987. « Mechanisms of Action of and Resistance to Ciprofloxacin ». The American Journal of Medicine 82 (4A): 12-20.

Horowitz, Cara A. 2016. « Paris Agreement ». International Legal Materials 55 (4): 740-55. https://doi.org/10.1017/S0020782900004253.

Hossain, Md. Saddam, Nahidul Islam Md., Mamunur Rahman Md., Mohammad Golam Mostofa, et Arifur Rahman Khan Md. 2022. « Sorghum: A Prospective Crop for Climatic Vulnerability, Food and Nutritional Security ». Journal of Agriculture and Food Research 8 (juin):100300. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300.

Hssaisoune, Mohammed, Lhoussaine Bouchaou, Abdelfattah Sifeddine, Ilham Bouimetarhan, et Abdelghani Chehbouni. 2020. « Moroccan Groundwater Resources and Evolution with Global Climate Changes ». Geosciences 10 (2): 81. https://doi.org/10.3390/geosciences10020081.

Ibrahima, N, Jens Aune, Synnevåg Gry, et harouna Yossi. 2020. Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique au Mali Résultats et leçons apprises au Sahel.

Ibriz, Aldjia Soumeya. 2016. « Elimination de la matière organique dans l'eau par couplage adsorption-coagulation ». Thesis, ENSA. http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/3055.

Idrissi, N., Elmadani F. Z., Ben Abbou M., Taleb M., El Rhazi K., Nejjari C., et Rais Z. 2018. « Assessment of the Physicochemical and Bacteriological Quality of Oueds Fez and Sebou Downstream of Fez after the Launch of the Wastewater Treatment Plant: Impact on Health, Morocco », 11. https://doi.org/10.26872/jmes.2018.9.4.130.

Idrissi, Nisrine. 2018. « Evaluation de la qualité des eaux de surface et leurs relations avec certaines maladies hydriques (cas de la ville de Fès) ». Thèse, Faculté des sciences Dhar El Mahraz: Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. http://toubkal.imist.ma/handle/123456789/12706.

Iglesias-Torrens, Yaidelys, Elisenda Miró, Pedro Guirado, Teresa Llovet, Carmen Muñoz, Marta Cerdà-Cuéllar, Cristina Madrid, Carlos Balsalobre, et Ferran Navarro. 2018. « Population Structure, Antimicrobial Resistance, and Virulence-Associated Genes in Campylobacter Jejuni Isolated From Three Ecological Niches: Gastroenteritis Patients, Broilers, and Wild Birds ». Frontiers in Microbiology 9. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01676.

INSPQ. 2023. « Épidémiologie de l'hépatite A | INSPQ ». Institut national de santé publique du Québec. 2023. https://www.inspq.qc.ca/sante-voyage/guide/immunisation/hepatite-a/epidemiologie.

Ioannou-Ttofa, L., I. Michael-Kordatou, S. C. Fattas, A. Eusebio, B. Ribeiro, M. Rusan, A. R. B. Amer, et al. 2017. « Treatment Efficiency and Economic Feasibility of Biological Oxidation, Membrane Filtration and Separation Processes, and Advanced Oxidation for the Purification and Valorization of Olive Mill Wastewater ». Water Research 114:1-13. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.020.

IOC. 2018. « Chiffres du marché mondial des olives de table - International Olive Council ». Organisation mondiale. International Olive Council. 2018. http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/132-world-table-olive-figures.

IPCC, éd. 2014. « Australasia ». In Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report: Volume 2: Regional Aspects, 2:1371-1438. Cambridge: Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.005.

———. 2023. « About The IPCC ». 2023. https://www.ipcc.ch/about/.

Iqbal A, Siddique F. 2015. « Eco-Epidemiology and Control of Waterborne Gastroenteritis: A Review ». Journal of Food Processing & Technology 06 (08). https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000477.

Irfan, S., Hasan Z., Qamar F., Ghanchi N., Ashraf J., Kanji A., Razzak S., Greig D., Nair S., et Hasan R. 2023. « Ceftriaxone Resistant Salmonella Enterica Serovar Paratyphi A Identified

in a Case of Enteric Fever: First Case Report from Pakistan ». BMC Infectious Diseases 23 (1). https://doi.org/10.1186/s12879-023-08152-9.

Isaac, Esezi. 2018. « Test for Significance of Pearson's Correlation Coefficient ( ) ».

Jarboui, Raja, Mohamed Chtourou, Chafai Azri, Néji Gharsallah, et Emna Ammar. 2010. « Time-dependent evolution of olive mill wastewater sludge organic and inorganic components and resident microbiota in multi-pond evaporation system ». Bioresource Technology 101 (15): 5749-58. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.069.

Jarray, Hanen, Fadoua Hamzaoui-Azaza, Mounira Zammouri, Mohamed Ouessar, Manuela Barbieri, Raul Carrey, Albert Soler, Enrico Guastaldi, et Samir Sahal. 2023. « Geochemical evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and irrigation purposes in arid and semiarid regions: The case of Zeuss-Koutine and a part of Mio-Plio-Quaternary aquifers (SE Tunisia) ». Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 132 (décembre):103483. https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103483.

Javier, Mateo-Sagasta, Zadeh M S., Turral H, et Burke J. 2017. Water Pollution from Agriculture: A Global Review. Executive Summary. Rome, Italy: FAO Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE).

Jo, C.D., et H.G. Kwon. 2023. « Temporal and Spatial Evaluation of the Effect of River Environment Changes Caused by Climate Change on Water Quality ». Environmental Technology and Innovation 30. https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103066.

Ju, Xiaohui, Mark Bowden, Elvie E. Brown, et Xiao Zhang. 2015. « An improved X-ray diffraction method for cellulose crystallinity measurement ». Carbohydrate Polymers 123 (juin):476-81. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.071.

Kanga, I. S., Naimi M., et Chikhaoui M. 2020. « Groundwater Quality Assessment Using Water Quality Index and Geographic Information System Based in Sebou River Basin in the North-West Region of Morocco ». International Journal of Energy and Water Resources 4 (4): 347-55. https://doi.org/10.1007/s42108-020-00089-y.

Kangombe, Thomas Kayobola. 2020. « Approvisionnement en eau potable en milieu rural en République Démocratique du Congo face à l'Objectif 6 de Développement Durable, Exemple de la province du Maniema ». Phdthesis, Selinus University of Science and Literature. https://theses.hal.science/tel-02934887.

Karangoda, R.C., et Nanayakkara K.G.N. 2023. « Use of the Water Quality Index and Multivariate Analysis to Assess Groundwater Quality for Drinking Purpose in Ratnapura District, Sri Lanka ». Groundwater for Sustainable Development 21. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100910.

Karume, Ibrahim, Simon Bbumba, Simon Tewolde, Is'harq Z. T. Mukasa, et Muhammad Ntale. 2023. « Impact of Carbonization Conditions and Adsorbate Nature on the Performance of Activated Carbon in Water Treatment ». BMC Chemistry 17 (1): 162. https://doi.org/10.1186/s13065-023-01091-1.

Keerthana Devi, M., Karmegam N., Manikandan S., Subbaiya R., Hocheol Song, Eilhann E. Kwon, Binoy Sarkar, et al. 2022. « Removal of nanoplastics in water treatment processes: A review ». Science of The Total Environment 845 (novembre):157168. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157168.

Keiser, David A. et Joseph S Shapiro. 2019. « Consequences of the Clean Water Act and the Demand for Water Quality* ». The Quarterly Journal of Economics 134 (1): 349-96. https://doi.org/10.1093/qje/qjy019.

Khoufi, Sonia, Assawer Louhichi, et Sami Sayadi. 2015. « Optimization of Anaerobic Co-Digestion of Olive Mill Wastewater and Liquid Poultry Manure in Batch Condition and Semi-Continuous Jet-Loop Reactor ». Bioresource Technology 182 (avril):67-74. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.092.

Kifuani, Kifline Milebudi, Anatole Kifuani Kia Mayeko, Philippe Noki Vesituluta, Bernard Ilinga Lopaka, Gracien Ekoko Bakambo, Blaise Mbala Mavinga, et Jérémie Muswema Lunguya. 2018. « Adsorption d'un Colorant Basique, Bleu de Méthylène, En Solution Aqueuse, Sur Un Bioadsorbant Issu de Déchets Agricoles de Cucumeropsis Mannii Naudin ». International Journal of Biological and Chemical Sciences 12 (1): 558-75. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.43.

Kim, Tae Kyun. 2015. « T test as a parametric statistic ». Korean Journal of Anesthesiology 68 (6): 540-46. https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540.

Kiril Mert, Berna, Taner Yonar, Melike Yalili Kiliç, et Kadir Kestioğlu. 2010. « Pre-treatment studies on olive oil mill effluent using physicochemical, Fenton and Fenton-like oxidations processes ». Journal of Hazardous Materials 174 (1): 122-28. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.09.025.

Konapala, Goutam, Ashok K. Mishra, Yoshihide Wada, et Michael E. Mann. 2020. « Climate Change Will Affect Global Water Availability through Compounding Changes in Seasonal Precipitation and Evaporation ». Nature Communications 11 (1): 3044. https://doi.org/10.1038/s41467-020-16757-w.

Lafi, Walid K., Mohammad Al-Anber, Zaid A. Al-Anber, Mohammad Al-shannag, et Adnan Khalil. 2010. « Coagulation and advanced oxidation processes in the treatment of olive mill wastewater (OMW) ». Desalination and Water Treatment 24 (1-3): 251-56. https://doi.org/10.5004/dwt.2010.1567.

L'agence urbaine de Taza. 2014. « Le rapport SDAL 2014 réalisé par l'agence urbaine de Taza ».

Lakhloufi, M.Y., F. Lamchouri, M. El Haissoufi, M. Boulfia, A. Zalaghi, et H. Toufik. 2021. « Evaluation of Anthropic Activities Impact through the Monitoring of Aquatic Fauna on Oued Lârbaa in Taza City of Morocco ». Environmental Monitoring and Assessment 193 (3). https://doi.org/10.1007/s10661-021-08938-x.

Le Guyader, Françoise S., Joanna Ollivier, Jean-Claude Le Saux, et Pascal Garry. 2014. « Les virus entériques humains et l'eau ». Revue Francophone des Laboratoires, Micro-organismes pathogènes de l'eau (1), 2014 (459): 41-49. https://doi.org/10.1016/S1773-035X(14)72363-9.

Leclerc, H., L. Schwartzbrod, et E. Dei-Cas. 2002. « Microbial Agents Associated with Waterborne Diseases ». Critical Reviews in Microbiology 28 (4): 371-409. https://doi.org/10.1080/1040-840291046768.

Levantesi, Caterina, Lucia Bonadonna, Rossella Briancesco, Elisabeth Grohmann, Simon Toze, et Valter Tandoi. 2012. « Salmonella in Surface and Drinking Water: Occurrence and Water-Mediated Transmission ». Food Research International, Salmonella in Foods: Evolution, Strategies and Challenges, 45 (2): 587-602. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.037.

Li, Ruizhen, Congyu Zhang, Jing Hui, Tieheng Shen, et Ying Zhang. 2024. « The application of P-modified biochar in wastewater remediation: A state-of-the-art review ». Science of The Total Environment 917 (mars):170198. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170198.

Liu, Y., Zhang J., Wang X., Wu W., Kang Q., et Li C. 2022. « Temperature-Induced Environmental Chain Reaction in Marine Sedimentation and Its Impact on Manila Clam Ruditapes Philippinarum ». Frontiers in Marine Science 9. https://doi.org/10.3389/fmars.2022.845768.

Liu, Yong, Xuemei Zhang, et Jianlong Wang. 2022. « A critical review of various adsorbents for selective removal of nitrate from water: Structure, performance and mechanism ». Chemosphere 291 (mars):132728. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132728.

« loi 36-15 sur l'Eau – Direction Générale de l'Eau ». 2015. 2015. http://81.192.10.228/reglementation/au-niveau-national/loi-36-15/.

Lucas, Marco S., J. Beltrán-Heredia, J. Sanchez-Martin, Juan Garcia, et José A. Peres. 2013. « Treatment of high strength olive mill wastewater by Fenton's reagent and aerobic biological process ». Journal of Environmental Science and Health, Part A 48 (8): 954-62. https://doi.org/10.1080/10934529.2013.762742.

Maddocks, Andrew, Robert Samuel Young, et Paul Reig. 2015. « Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040 », août. https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040.

Mahmoud, Rachid, Fatimzahra Ainlhout, Mohamed Ben Abbou, Mustapha Taleb, Mounia El haji, et Zakia Rais. 2021. « Exploitation of Olive Mill Wastewater in Sorghum Irrigation ». International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture, n° Online First (mai). https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1914715.1163.

Mahmoud, Rachid, Imane Mehdaoui, Fatima-Zahra El Madani, M. Ben Abbou, Majbar Zineb, Saoudi Hassani El Mokhtar, Mustapha Taleb, et Zakia Rais. 2023. « Surface Water Quality – A Physicochemical and Bacteriological Assessment with the Water Quality Assessment System ». Ecological Engineering & Environmental Technology, juin. http://www.ecoeet.com/Surface-Water-Quality-A-Physicochemical-and-Bacteriological-Assessment-with-the-Water,168086,0,1.html.

Majbar, Zineb. 2019. « Traitement des margines par un procédé couplant l'électrocoagulation et l'adsorption sur des charbons actifs de la sciure de bois d'eucalyptus et leur valorisation par la filière de compostage des déchets vinicoles ». Maroc: Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.

Majdy, I., Cherkaoui E., Nounah A., et Khamar M. 2015. « The physico-chemical treatment by coagulation flocculation of wastewater discharges from the city of sale ». Journal of Materials and Environmental Science 6 (3): 834-39.

Mansir, Imane, Lhoussaine Bouchaou, Bouchra Chebli, Yassine Ait Brahim, et Redouane Choukr-Allah. 2021. « A specific indicator approach for the assessment of water resource vulnerability in arid areas: the case of the Souss-Massa Region (Morocco) ». Hydrological Sciences Journal 66 (7): 1151-68. https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1924379.

MAP. 2019. « Le Plan national de l'eau 2020-2050 : Une feuille de route pou affronter les défis des 30 années à venir ». http://fnh.ma. 2019. https://fnh.ma/article/actualite-economique/le-plan-national-de-l-eau-2020-2050-une-feuille-de-route-pou-affronter-les-defis-des-30-annees-a-venir.

MAP, H24Info ma avec. 2018. « Olives: une production nationale estimée à près de 2 millions de tonnes en 2018 H24info ». H24info (blog). 2018. https://www.h24info.ma/actu/olives-une-production-nationale-estimee-a-pres-de-2-millions-de-tonnes-en-2018/.

MAPMDREF. 2014. « Filière Oléicole | Département de l'agriculture - Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts », 2014. http://www.agriculture.gov.ma/pages/acces-fillieres/filiere-oleicole.

Marques, Isabel P. 2001. « Anaerobic Digestion Treatment of Olive Mill Wastewater for Effluent Re-Use in Irrigation ». Desalination 137 (1-3): 233-39. https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00224-7.

Mayer, C. L., et Palmer C. J. 1996. « Evaluation of PCR, Nested PCR, and Fluorescent Antibodies for Detection of Giardia and Cryptosporidium Species in Wastewater. » Applied and Environmental Microbiology 62 (6): 2081-85.

McHugh, Mary L. 2013. « The Chi-Square Test of Independence ». Biochemia Medica 23 (2): 143-49. https://doi.org/10.11613/BM.2013.018.

McNabb, David E. 2019. « The Population Growth Barrier ». In Global Pathways to Water Sustainability, édité par David E. McNabb, 67-81. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04085-7_5.

Mecha, Achisa C., et Martha N. Chollom. 2020. « Photocatalytic Ozonation of Wastewater: A Review ». Environmental Chemistry Letters 18 (5): 1491-1507. https://doi.org/10.1007/s10311-020-01020-x.

Mekki, Akka Aït El. 2006. « Les politiques céréalières au Maroc ». Centre International de Hautes études Agronomiques Méditerranéennes 7.

Michael, I., Panagi A., Ioannou L. A., Frontistis Z., et Fatta-Kassinos D. 2014. « Utilizing solar energy for the purification of olive mill wastewater using a pilot-scale photocatalytic reactor after coagulation-flocculation ». Water Research 60 (septembre):28-40. https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.032.

Michailides, Michael, Panagiotis Panagopoulos, Christos S. Akratos, Athanasia G. Tekerlekopoulou, et Dimitris V. Vayenas. 2011. « A Full-Scale System for Aerobic Biological Treatment of Olive Mill Wastewater ». Journal of Chemical Technology & Biotechnology 86 (6): 888-92. https://doi.org/10.1002/jctb.2601.

« Ministère de la Santé ». 2014. 2014. https://www.sante.gov.ma/Pages/Communiques.aspx?IDCom=291.

Ministère de l'agriculture. 2021. « Eau et irrigation ». 2021. https://www.agriculture.gov.ma/fr/programme/eau-et-irrigation.

Ministère de l'environnement. 2015. « PNDM (Programe National des Déchets Ménagers) ». 2015. https://www.environnement.gov.ma/fr/dechets.

Ministère de l'Equipement de l'Eau. 2022. « « Economiser l'eau devient un acte citoyen » - Ministère du Transport et de la Logistique - Royaume du Maroc - Ministry of Transport and Logistics ». 2022. http://www.equipement.gov.ma/Actualites/Pages/Actualites.aspx?IdNews=3714.

Mishra, Prabhaker, Chandra M Pandey, Uttam Singh, Anshul Gupta, Chinmoy Sahu, et Amit Keshri. 2019. « Descriptive Statistics and Normality Tests for Statistical Data ». Annals of Cardiac Anaesthesia 22 (1): 67-72. https://doi.org/10.4103/aca.ACA_157_18.

Miyah, Y, Idrissi M., et Zerrouq F. 2015. « Etude et Modélisation de la Cinétique d'Adsorption du Bleu de Méthylène sur les Adsorbants Argileux (Pyrophillite, Calcite) [Study and Modeling of the Kinetics Methylene blue Adsorption on the Clay Adsorbents (Pyrophillite, Calcite)] ».

Molle, François, et Oumaima Tanouti. 2017. « Squaring the Circle: Agricultural Intensification vs. Water Conservation in Morocco ». Agricultural Water Management 192 (octobre):170-79. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.07.009.

Molle, Pascal, Fournel J., Meyer D., Troesch S., Clement F., Brelot E., Bacot L., et al. 2013. Extensive systems for storm water and combine sewer overflow treatment. https://hal.inrae.fr/hal-02599141.

Mouhaddach, O., Ben-Daoud M., Vanwambeke S., Kestement M.-P., et El Jaafari S. 2014. « Utilisation des statistiques de scan spatio-temporelle en épidémiologie des maladies hydriques au niveau de la ville de Meknès, Maroc ». Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique 62:S88-89.

Mouhanni, H., Hamdi H., Bendou A., Benzine L., et Cavalli E. 2012. « Impact of the Reuse of Treated Wastewater in Irrigation: An Analysis of Ionic Lixiviats ». Revue Des Sciences de l'Eau 25 (1): 69-73. https://doi.org/10.7202/1008536ar.

Mourhir, Asmaa, Tajjeeddine Rachidi, et Mohammed Karim. 2014. « River water quality index for Morocco using a fuzzy inference system ». Environmental Systems Research 3 (1): 21. https://doi.org/10.1186/s40068-014-0021-y.

Mseddi, Salma, Leila Chaari, Chokri Belaid, Ikram Chakchouk, et Monem Kallel. 2016. « Valorization of Treated Olive Mill Wastewater in Fertigation Practice ». Environmental Science and Pollution Research 23 (16): 15792-800. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4353-6.

Msolo, Luyanda, Benson C. Iweriebor, et Anthony I. Okoh. 2020. « Rotavirus and Cryptosporidium pathogens as etiological proxies of gastroenteritis in some pastoral communities of the Amathole District Municipality, Eastern Cape, South Africa ». BMC Research Notes 13 (mars). https://doi.org/10.1186/s13104-020-05024-2.

MTEDD. 2017a. « Programme national en santé et environnement ». 2017. http://www.environnement.gov.ma/fr/partenariat-cooperation/95-preventions-des-risques/programmes/190-programme-national-en-sante-et-environnement.

———. 2017b. « Stratégie Nationale de Développement Durable (SNDD) ». MINISTERE DE LA TRANSITION ENERGETIQUE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE وزارة الانتقال الطاقي والتنمية المستدامة. 2017. http://www.mtedd.gov.ma/index.php.

MTL. 2021. « L'investissement public dans les secteurs de l'eau et de l'équipement s'établit à 26,5 MMDH ». 2021. http://www.equipement.gov.ma/ports/Actualites/Pages/Actualites.aspx?IdNews=3575.

Mujere, Never, et William Moyce. 2018. « Climate Change Impacts on Surface Water Quality ». Chapter. Hydrology and Water Resource Management: Breakthroughs in Research and Practice. IGI Global. 2018. https://doi.org/10.4018/978-1-5225-3427-3.ch004.

Najat Assem, Latifa El hafid, et Fatima Lamchouri. 2018. « Etude comparative entre trois variétés marocaines du pin caractéristiques du parc national de Tazekka », 18.

Naji, Laith A., Salim H. Jassam, Mohammed J. Yaseen, Ayad A. H. Faisal, et Nadhir Al-Ansari. 2020. « Modification of Langmuir model for simulating initial pH and temperature effects on sorption process ». Separation Science and Technology 55 (15): 2729-36. https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1655055.

Nasr, Mahmoud, et Abeer EL Shahawy. 2016. « Artificial Intelligence for Electrocoagulation Treatment of Olive Mill Wastewater ». Journal of Bioremediation & Biodegradation 07 (03). https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000345.

NatGeoFrance. 2017. « Pénurie d'eau : le Maroc tire le signal d'alarme ». National Geographic. 2017. https://www.nationalgeographic.fr/environnement/penurie-deau-le-maroc-tire-le-signal-dalarme.

Nations Unies. 2010. « 2010–2020 : Décennie des Nations Unies pour les Déserts et la Lutte contre la Désertification ». 2010. https://www.un.org/fr/events/desertification_decade/convention.shtml.

———. 2018. « Décennie internationale d'action sur le thème « L'eau et le développement durable » (2018-2028) ». Nations Unies. 2018. https://www.un.org/fr/events/waterdecade/background.shtml.

Nations, United. 2015. « L'accès à l'eau potable : plus de 2 milliards de personnes toujours privées de ce droit fondamental (ONU) | Nations Unies ». United Nations. United Nations. 2015. https://www.un.org/fr/desa/new-un-water-development-report.

———. 2017. « World Population Projected to Reach 9.8 Billion in 2050, and 11.2 Billion in 2100 ». United Nations. United Nations. 2017. https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100.

Nguyen, Ngoc-Tue, Duc-Trung Nguyen, Thuong-Quang Tran, Xuan-Truong Nguyen, et Van-Tien Pham. 2023. « Assessing the Change of Water Quality and Quantity in the Upper Basin of Thac Ba Reservoir under the Impacts of Future Land-Use Scenarios ». Modeling Earth Systems and Environment 9 (3): 3709-20. https://doi.org/10.1007/s40808-023-01732-3.

Nieto, Leopoldo Martínez, Gassan Hodaifa, Salvador Rodríguez, José A. Giménez, et Javier Ochando. 2011. « Degradation of Organic Matter in Olive-Oil Mill Wastewater through Homogeneous Fenton-like Reaction ». Chemical Engineering Journal 173 (2): 503-10. https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.022.

Nisavanh, Athinna, Imene Horrigue, Marion Debin, Clément Turbelin, Charly Kengne-Kuetche, Oriane Nassany, Katia Ambert-Balay, et al. 2022. « Epidemiology of Acute Gastroenteritis in France from November 2019–August 2021, in Light of Reported Adherence to COVID-19 Barrier Measures ». Scientific Reports 12 (1): 17504. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22317-7.

Normes marocaines de la qualité des eaux d'irrigation. Bulletin officiel n° 5062 du 30 ramadan 1423 (5 décembre 2002), vol. n° 1276-01. 2002. 2002. Article 2. Vol. n° 1276-01.

Okoh, Anthony I., Thulani Sibanda, et Siyabulela S. Gusha. 2010. « Inadequately Treated Wastewater as a Source of Human Enteric Viruses in the Environment ». International

Journal of Environmental Research and Public Health 7 (6): 2620-37. https://doi.org/10.3390/ijerph7062620.

« OMS | Eau, assainissement et hygiène ». 2017. WHO. World Health Organization. 2017. http://www.who.int/water_sanitation_health/fr/.

Ospina-Montoya, V., S. Pérez, J. Muñoz-Saldaña, A. Forgionny, E. Flórez, et N. Acelas. 2024. « Performance of Novel Ca-Biocomposites Produced from Banana Peel and Eggshell for Highly Efficient Removal and Recovery of Phosphate from Domestic Wastewater ». Journal of Environmental Management 352. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120029.

Osseni, Abdel A., Hubert O. Dossou-Yovo, François G. H. Gbesso, et Brice Sinsin. 2023. « GIS-Based Multi-Criteria Analysis for Selecting Suitable Areas for Urban Green Spaces in Abomey-Calavi District, Southern Benin ». Land 12 (8): 1553. https://doi.org/10.3390/land12081553.

Ouabou, E, A Anouar, et S Hilali. 2014. « Élimination des polluants organiques présents dans la margine d'huile d'olive par filtration sur colonne d'argile et sciure de bois d'eucalyptus ». Journal of Applied Biosciences 75 (1): 6232. https://doi.org/10.4314/jab.v75i1.9.

Ouafi, Redouane, Meryem Asri, Anass Omor, Mustapha Taleb, et Zakia Rais. 2021. « Snail Shells Adsorbent for Copper Removal from Aqueous Solutions and the Production of Valuable Compounds ». Journal of Chemistry 2021 (septembre):e9537680. https://doi.org/10.1155/2021/9537680.

Page, Matthew J., David Moher, Patrick M. Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C. Hoffmann, Cynthia D. Mulrow, Larissa Shamseer, et al. 2021. « PRISMA 2020 Explanation and Elaboration: Updated Guidance and Exemplars for Reporting Systematic Reviews ». BMJ 372 (mars):n160. https://doi.org/10.1136/bmj.n160.

Pallant, Julie. 2020. SPSS Survival Manual: A step by step guide to data analysis using IBM SPSS. 7e éd. London: Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003117452.

Park, M.J., Wang C., Gonzales R.R., Phuntsho S., Matsuyama H., Drioli E., et Shon H.K. 2022. « Fabrication of Thin Film Composite Polyamide Membrane for Water Purification via Inkjet Printing of Aqueous and Solvent Inks ». Desalination 541. https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.116027.

Paul, Uttam, et Arup Bandyopadhyay. 2017. « Typhoid fever: a review ». International Journal of Advances in Medicine 4 (mars):300. https://doi.org/10.18203/2349-3933.ijam20171035.

Pelendridou, Katerina, Michail K. Michailides, Dimitris P. Zagklis, Athanasia G. Tekerlekopoulou, Christakis A. Paraskeva, et Dimitrios V. Vayenas. 2014. « Treatment of Olive Mill Wastewater Using a Coagulation–Flocculation Process Either as a Single Step or as Post-Treatment after Aerobic Biological Treatment ». Journal of Chemical Technology & Biotechnology 89 (12): 1866-74. https://doi.org/10.1002/jctb.4269.

Pokhrel, Yadu, Farshid Felfelani, Yusuke Satoh, Julien Boulange, Peter Burek, Anne Gädeke, Dieter Gerten, et al. 2021. « Global Terrestrial Water Storage and Drought Severity under Climate Change ». Nature Climate Change 11 (3): 226-33. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00972-w.

RADEETA. 2023. « Activités Assainissement Liquide ». 2023. https://www.radee-ta.ma/activite-assainissement-liquide.html.

Rais, Z., El Haji M., Benabbou M., Majbar Z., Lahlou K., Taleb M., Zaytouni Y., Rheribi R., Bouka H., et Nawdali M. 2017. « Margines : traitement, valorisation dans la germination des graines de tomate et dans la filière de compostage ». Revue des sciences de l'eau 30 (1): 57. https://doi.org/10.7202/1040064ar.

Rashidi, N.A., Yusup S., Borhan A., et Loong L.H. 2014. « Experimental and Modelling Studies of Carbon Dioxide Adsorption by Porous Biomass Derived Activated Carbon ». Clean Technologies and Environmental Policy 16 (7): 1353-61. https://doi.org/10.1007/s10098-014-0788-6.

ReliefWeb. 2019. « South Africa's Water Crisis Is Bigger than the Cape - South Africa | ReliefWeb ». 2019. https://reliefweb.int/report/south-africa/south-africas-water-crisis-bigger-cape.

Rizzo, Luigi, Giusy Lofrano, et Vincenzo Belgiorno. 2010. « Olive Mill and Winery Wastewaters Pre-Treatment by Coagulation with Chitosan ». Separation Science and Technology 45 (16): 2447-52. https://doi.org/10.1080/01496395.2010.487845.

Rizzo, Luigi, Giusy Lofrano, Mariangela Grassi, et Vincenzo Belgiorno. 2008. « Pre-treatment of olive mill wastewater by chitosan coagulation and advanced oxidation processes ». Separation and Purification Technology 63 (3): 648-53. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.07.003.

Rodier, J. 2009. « L'analyse de léau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer (Chimie, physico-chimie, bactériologique, biologie). » 2009. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=L%E2%80%99analyse+de+L%E2%80%99eau&author=Rodier,+J.&author=Legube,+B.&author=Merlet,+N.&publication_year=2009.

Rodier, J, Legube, B, et Merlet, N. 2016. L'analyse de l'eau. 10e édition vol. 10. Dunod.

Rosso, F., Rebellón-Sánchez D.E., Llanos-Torres J., Hurtado-Bermudez L.J., Ayerbe L., Suárez J.H., Orozco-Echeverri N., et al. 2023. « Clinical and Microbiological Characterization of Salmonella Spp. Isolates from Patients Treated in a University Hospital in South America between 2012–2021: A Cohort Study ». BMC Infectious Diseases 23 (1). https://doi.org/10.1186/s12879-023-08589-y.

Saad, H., Khoukh A., Ayed N., Charrier B., et Charrier-El Bouhtoury F. 2014. « Characterization of Tunisian Aleppo Pine Tannins for a Potential Use in Wood Adhesive Formulation ». Industrial Crops and Products 61 (novembre):517-25. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.07.035.

Sack, R. Bradley. 1975. « Human Diarrheal Disease Caused by Enterotoxigenic Escherichia Coli ». Annual Review of Microbiology 29 (1): 333-54. https://doi.org/10.1146/annurev.mi.29.100175.002001.

Sahraoui, H., Jrad A., et Mellouli H. J. 2012. « Épandage Des Margines Sur Les Sols Agricoles : Impacts Environnementaux Microbiologiques ». Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologie 8 (1). https://www.ajol.info/index.php/afsci/article/view/87644.

Sahya, A., Sonkamble S., Jampani M., Narsing Rao A., et Amerasinghe P. 2023. « Field Site Soil Aquifer Treatment Shows Enhanced Wastewater Quality: Evidence from Vadose Zone Hydro-Geophysical Observations ». Journal of Environmental Management 345. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118749.

Sampaio, M. A., Gonçalves M. R., et Marques I. P. 2011. « Anaerobic digestion challenge of raw olive mill wastewater ». Bioresource Technology 102 (23): 10810-18. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.09.001.

Sarris, Dimitris, Nikolaos G. Stoforos, Athanasios Mallouchos, Ioannis K. Kookos, Apostolis A. Koutinas, George Aggelis, et Seraphim Papanikolaou. 2017. « Production of Added-Value Metabolites by Yarrowia Lipolytica Growing in Olive Mill Wastewater-Based Media under Aseptic and Non-Aseptic Conditions ». Engineering in Life Sciences 17 (6): 695-709. https://doi.org/10.1002/elsc.201600225.

Sbai, G., et M Loukili. 2015. « Ttraitement électrochimique des margines et identification des composes avant et après traitement par chromatographie en phase gazeuse couplée par spectroscopie de masse ». LARHYSS Journal 12 (2): 139-52.

Scallan, E., Hoekstra R. M., Angulo F.J., Tauxe R. V., Widdowson M.-A., Roy S. L., Jones J.L., et Griffin P. M. 2011. « Foodborne Illness Acquired in the United States—Major Pathogens ». Emerging Infectious Diseases 17 (1): 7-15. https://doi.org/10.3201/eid1701.P11101.

SEEE. 2008. « Fiche sur le nouveau système d'évaluation de la qualité des eau, Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Eau et de l'Environnement, Maroc ».

Shirazi, A., Bazgir S., et Meshkani F. 2020. « A Novel Dual-Layer, Gas-Assisted Electrospun, Nanofibrous SAN4-HIPS Membrane for Industrial Textile Wastewater Treatment by Direct Contact Membrane Distillation (DCMD) ». Journal of Water Process Engineering 36 (août):101315. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101315.

Simón, D., Gass S., Palet C., et Cristóbal A. 2021. « Disposal of Wooden Wastes Used as Heavy Metal Adsorbents as Components of Building Bricks ». Journal of Building Engineering 40 (août):102371. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102371.

Sinan, M., et Belhouji A. 2016. « Impact of the Climate Change on the climate and the water resources of Morocco on horizons 2020, 2050 and 2080 and measures of adaptation ». Houille Blanche 2016-August (4): 32-39. https://doi.org/10.1051/lhb/2016037.

Sinclair, R. G., Jones E. L., et Gerba C. P. 2009. « Viruses in Recreational Water-Borne Disease Outbreaks: A Review ». Journal of Applied Microbiology 107 (6): 1769-80. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04367.x.

Singh, J., Yadav P., Kumar Pal A., et Mishra V. 2020. « Water Pollutants: Origin and Status ». In Sensors in Water Pollutants Monitoring: Role of Material, édité par D. Pooja, Praveen Kumar, Pardeep Singh, et Sandip Patil, 5-20. Advanced Functional Materials and Sensors. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0671-0_2.

Sjölund-Karlsson, M., Howie R. L., Crump J. A., et Whichard J. M. 2020. « Fluoroquinolone Susceptibility Testing of Salmonella enterica: Detection of Acquired Resistance and Selection of Zone Diameter Breakpoints for Levofloxacin and Ofloxacin ». Journal of Clinical Microbiology 52 (3): 877-84. https://doi.org/10.1128/jcm.02679-13.

Slim, K., Atoui A., et Temsah M. 2013. « Impact des rejets de margines sur la qualité des eaux du Nahr Hasbani (Sud Liban) par référence spéciale aux indices diatomiques ». . . C, 11.

SOMIPEV. 2016. « 4ème Congrès de la SOMIPEV - 25-27 Mars 2016 à Marrakech ». In . Marrakech. https://somipev.ma/fr/congr%C3%A8s-2016.html.

Souilem, S., El-Abbassi A., Kiai H., Hafidi A., Sayadi S., et Galanakis C. M. 2017. « Chapter 1 - Olive oil production sector: environmental effects and sustainability challenges ». In Olive Mill Waste, édité par Charis M. Galanakis, 1-28. Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805314-0.00001-7.

Souilmi, F., et Tahraoui S. 2021. « Assessment of Spatial and Seasonal Water Quality Variation of the Upstream and Downstream of Oum Er-Rabia River in Morocco ». Indian Journal of Ecology 48 (1): 47-51.

Stadnik, J., Giusti E. D., et. Borges A. R. 2023. « Investigation of the Zero-Charge Point of Orange Biomass for Further Use as a Metal Biosorbent ». Seven Editora, juin. https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1625.

Stahel, Walter R. 2016. « The Circular Economy ». Nature 531 (7595): 435-38. https://doi.org/10.1038/531435a.

Struk-Sokołowska, J., Faszczewska A., Kotowska U., et Mielcarek A. 2024. « Comparison of Benzotriazole Ultraviolet Stabilizers (BUVs) Removal from Wastewater after Subsequent Stages of Sequencing Batch Reactor (SBR) Treatment Process ». Science of the Total Environment 914. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169813.

Sulejmanović, J., Skopak E., Šehović E., Karadža A., Zahirović A., Smječanin N., Mahmutović O., Ansar S., et Sher F. 2023. « Surface engineered functional biomaterials for hazardous pollutants removal from aqueous environment ». Chemosphere 336 (septembre):139205. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139205.

Sun, Q., et Liu Z. 2020. « Impact of Tourism Activities on Water Pollution in the West Lake Basin (Hangzhou, China) ». Open Geosciences 12 (1): 1302-8. https://doi.org/10.1515/geo-2020-0119.

Touhari, F., Guetarni H., Sadaoui S., et Mehaiguene M. 2023. « Water QualityAssessment of the Ouled Mellouk Dam Treatment Plant, Northwestern Algeria ». Agricultural Science Digest 43 (3): 334-39. https://doi.org/10.18805/ag.DF-497.

Touzani, I., Machkor M., Boudouch O., El Machrafi I., Flouchi R., et Fikri-Benbrahim K. 2020. « Environmental Impact Assessment of Taza City's Wastewater: Application through Principal Component Analysis ». Scientifica 2020 (novembre):e9168569. https://doi.org/10.1155/2020/9168569.

Tramblay, Y., Badi W., Driouech F., El Adlouni S., Neppel L., et Servat E. 2012. « Climate Change Impacts on Extreme Precipitation in Morocco ». Global and Planetary Change 82-83 (février):104-14. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.12.002.

Tran, Elizabeth Ngoc Hoa, Christopher J. Day, Erin McCartney, Jessica Poole, Edmund Tse, Michael P. Jennings, et Renato Morona. 2020. « Shigella flexneri Targets Human Colonic Goblet Cells by O Antigen Binding to Sialyl-Tn and Tn Antigens via Glycan–Glycan Interactions ». ACS Infectious Diseases 6 (10): 2604-15. https://doi.org/10.1021/acsinfecdis.0c00178.

Uddin, Md. Galal, Stephen Nash, et Agnieszka I. Olbert. 2021. « A Review of Water Quality Index Models and Their Use for Assessing Surface Water Quality ». Ecological Indicators 122 (mars):107218. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218.

UNEP. 1978. « La Convention de Barcelone et ses Protocoles | UNEPMAP ». 1978. https://www.unep.org/unepmap/fr/who-we-are/barcelona-convention-and-protocols.

UNICEF. 2015. « 2,1 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable salubre à leur domicile et plus du double ne disposent pas de services d'assainissement sûrs ». 2015. https://www.unicef.org/fr/communiqu%C3%A9s-de-presse/21-milliards-de-personnes-n%E2%80%99ont-pas-acc%C3%A8s-%C3%A0-l%E2%80%99eau-potable-salubre-%C3%A0-leur.

Vanden Broeck, Davy, Caroline Horvath, et Marc J. S. De Wolf. 2007. « Vibrio Cholerae: Cholera Toxin ». The International Journal of Biochemistry & Cell Biology 39 (10): 1771-75. https://doi.org/10.1016/j.biocel.2007.07.005.

Vedula, Shivani S., et Ganapati D. Yadav. 2022. « Wastewater treatment containing methylene blue dye as pollutant using adsorption by chitosan lignin membrane: Development of membrane, characterization and kinetics of adsorption ». Journal of the Indian Chemical Society 99 (1): 100263. https://doi.org/10.1016/j.jics.2021.100263.

Vidal. 2023. « Le vaccin contre la fièvre typhoïde ». VIDAL. 2023. https://www.vidal.fr/sante/voyage/avant-voyage/vaccins-voyage/fievre-typhoide.html.

Vigdorowitsch, Michael, Alexander Pchelintsev, Liudmila Tsygankova, et Elena Tanygina. 2021. « Freundlich Isotherm: An Adsorption Model Complete Framework ». Applied Sciences 11 (17): 8078. https://doi.org/10.3390/app11178078.

Vu, Diem-Lan, Albert Bosch, Rosa M. Pintó, et Susana Guix. 2017. « Epidemiology of Classic and Novel Human Astrovirus : Gastroenteritis and Beyond ». Viruses 9 (2): 33. https://doi.org/10.3390/v9020033.

Walker, Christa L Fischer, Igor Rudan, Li Liu, Harish Nair, Evropi Theodoratou, Zulfiqar A Bhutta, Katherine L O'Brien, Harry Campbell, et Robert E Black. 2013. « Global Burden of Childhood Pneumonia and Diarrhoea ». The Lancet 381 (9875): 1405-16. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60222-6.

Walker, J., Chaguza C., Grubaugh N.D., Carey M., Baker S., Khan K., Bogoch I.I., et Pitzer V.E. 2023. « Assessing the Global Risk of Typhoid Outbreaks Caused by Extensively Drug Resistant Salmonella Typhi ». Nature Communications 14 (1). https://doi.org/10.1038/s41467-023-42353-9.

Warner, Pamela. 2013. « Testing Association with Fisher's Exact Test ». Journal of Family Planning and Reproductive Health Care 39 (4): 281-84. https://doi.org/10.1136/jfprhc-2013-100747.

Wei, Zhang, ElDidi Hagar, Swallow A Kimberly, Meinzen-Dick Suseela Ruth, Ringler Claudia, Masuda Yuta, et Aldous Allison. 2020. La gestion communautaire des ressources en eau douce: Un guide du practicien pour appliquer la théorie TNC de la Voix, du Choix et de l'Action. Intl Food Policy Res Inst.

WHO. 2017a. « Maladies diarréhiques ». 2017. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease.

———. 2017b. « Une augmentation majeure des investissements dans l'eau et l'assainissement est nécessaire pour atteindre les cibles en matière de développement ». 2017.

https://www.who.int/fr/news/item/13-04-2017-radical-increase-in-water-and-sanitation-investment-required-to-meet-development-targets.

———. 2019a. « 1 personne sur 3 dans le monde n'a pas accès à de l'eau salubre – UNICEF, OMS ». 2019. https://www.who.int/fr/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-–-unicef-who.

———. 2019b. « Fièvre typhoïde ». 2019. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/typhoid.

———. 2022. « Drinking-Water ». 2022. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water.

Wilhelmi, I., Roman E., et Sanchez-Fauquier A. 2003. « Viruses Causing Gastroenteritis ». Clinical Microbiology and Infection 9 (4): 247-62. https://doi.org/10.1046/j.1469-0691.2003.00560.x.

Withers, Paul J. A., Colin Neal, Helen P. Jarvie, et Donnacha G. Doody. 2014. « Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? » Sustainability 6 (9): 5853-75. https://doi.org/10.3390/su6095853.

WMO. 2019. « 2019 Concludes a Decade of Exceptional Global Heat and High-Impact Weather ». 2 décembre 2019. https://public.wmo.int/en/media/press-release/2019-concludes-decade-of-exceptional-global-heat-and-high-impact-weather.

Woodall, C. J. 2009. « Waterborne Diseases – What Are the Primary Killers? » Desalination 248 (1): 616-21. https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.110.

Woolway, R. Iestyn, Benjamin M. Kraemer, John D. Lenters, Christopher J. Merchant, Catherine M. O'Reilly, et Sapna Sharma. 2020. « Global Lake Responses to Climate Change ». Nature Reviews Earth & Environment 1 (8): 388-403. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0067-5.

Yaakoubi, Abderrahmane, Abdelkader Chahlaoui, et Abdelaziz Chaouch. 2009. « Traitement des margines à pH neutre et en conditions d'aérobie par la microflore du sol avant épandage (*) », 14.

Yahiaoui, O., Lounici H., Abdi N., Drouiche N., Ghaffour N., Pauss A., et Mameri N. 2011. « Treatment of olive mill wastewater by the combination of ultrafiltration and bipolar electrochemical reactor processes ». Chemical Engineering and Processing: Process Intensification 50 (1): 37-41. https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.11.003.

Yan, Yupeng, Biao Wan, Muammar Mansor, Xiaoming Wang, Qin Zhang, Andreas Kappler, et Xionghan Feng. 2022. « Co-sorption of metal ions and inorganic anions/organic ligands on environmental minerals: A review ». Science of The Total Environment 803 (janvier):149918. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149918.

Yugo, Danielle M., et Xiang-Jin Meng. 2013. « Hepatitis E Virus : Foodborne, Waterborne and Zoonotic Transmission ». International Journal of Environmental Research and Public Health 10 (10): 4507-33. https://doi.org/10.3390/ijerph10104507.

Yusuf, Abdulqawi A., éd. 2010. « Convention de l'Union Africaine sur la protection et l'assistance aux personnes déplacées en Afrique (Convention de Kampala) ». African Yearbook of International Law Online / Annuaire Africain de droit international Online 18 (1): 485-505. https://doi.org/10.1163/22116176-01801018.

Zhang, Chuanzhen, Shen Liu, Shuxia Wu, Shuqin Jin, Stefan Reis, Hongbin Liu, et Baojing Gu. 2019. « Rebuilding the Linkage between Livestock and Cropland to Mitigate Agricultural Pollution in China ». Resources, Conservation and Recycling 144 (mai):65-73. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.011.

Zhang, Yannan, Valeria Palomba, et Andrea Frazzica. 2022. « Understanding the effect of materials, design criteria and operational parameters on the adsorption desalination performance – A review ». Energy Conversion and Management 269 (octobre):116072. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116072.

Zheng, H., Sun Y., Lin S., Mao Z., et Jiang B. 2008. « Yersinia Enterocolitica Infection in Diarrheal Patients ». European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases 27 (8): 741. https://doi.org/10.1007/s10096-008-0562-y.

Zimmermann, Stefan. 2020. « Workflow Optimization for Syndromic Diarrhea Diagnosis Using the Molecular Seegene Allplex™ GI-Bacteria(I) Assay ». Eur J Clin Microbiol Infect Dis, 6.

Zuo, Qiting, Chunhui Han, Jing Liu, et Junxia Ma. 2018. « A New Method for Water Quality Assessment: By Harmony Degree Equation ». Environmental Monitoring and Assessment 190 (3): 162. https://doi.org/10.1007/s10661-018-6541-6.

Annexes

Annexe 1 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux de surface (SEEE 2008)

N° Altération	Classes de qualité	Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
	Indices	100 80	80 60	60 40	40 20	20 0
	Température					
1	**T**	<20	20-25	25-30	30-35	>35
	Acidification					
2	**pH**	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	8,5 - 9,2	3-6,5 et 9,2-10	-
	Matières organiques et oxydables					
3	**O_2 dissous** ($mgO_2.L^{-1}$)	7 – 10	5 – 7	5- 3	3 – 1	<1
	DBO_5 ($mgO_2.L^{-1}$)	0,5 – 3	3 – 5	5 – 10	10 – 25	>25
	DCO ($mgO_2.L^{-1}$)	1,5 – 30	30 — 35 0	35 – 40	40 – 80	>80
	NH_4^+ ($mgNH_4.L^{-1}$)	0 — 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 2	2 – 8	>8
	Matières azotées					
4	**NTK** ($mgNTK.L^{-1}$)	< 1	1-2	2-3	< 3	-
	Matières phosphorées					
5	**P_t** ($mg.L^{-1}$)	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
	Nitrates					
6	**NO_3^-** ($mg.L^{-1}$)	< 10	10 – 25	25 – 50	> 50	-
	Minéralisation					
7	**CE** 20 °C (µS/cm)	100 -750	750 -1300	1300 - 2700	2700 -3000	3000 -7000
	Particules en suspension					
8	**TU** (NTU)	< 15	15 – 35	35 – 70	70 - 100	> 100
	Microorganismes					
9	**CF**/100mL	≤20	20-2000	2000-20.000	>20.000	-
	Éléments trace métalliques ETM (mg/l)					
10	Cd ($mg.L^{-1}$)	≤ 0.003	≤ 0.003	0.003-0.005	>0,005	
	Cr ($mg.L^{-1}$)	≤0.05	≤0.05	≤0.05	>0,05	
	Pb ($mg.L^{-1}$)	≤0.01	≤0.01	0.01-0,05	>0,05	
	As ($mg.L^{-1}$)	≤0,01	≤0,01	0,01-0,05	>0,05	

Annexe 2 : fiche de recueil d'information

Eaux Des Oueds De La Ville De Taza : Qualité, Risques Sanitaires, Source De Pollution Et Remédiation

Numéro dossier (enquête) |__|__|__| **Date d'Enquête** |__|__|/|__|__|/|__|__|__|__|

Identification de l'enquêteur : _____

Nom du quartier enquêté : _____

A- Informations sociodémographiques

A.1. Profession: ……

A.2. Age: 15-20 ans ☐ 21-30 ans ☐ 31-40 ans ☐ 41-50 ans ☐ +50 ans ☐

A.3. Sexe : F ☐ M ☐

A.4.Date de naissance : …./…./…… A.5.Lieu de naissance :…….

A.6. Statut marital : célibataire ☐ marié ☐ divorcé ☐

A.7. Nombre d'enfants :…….

A.8. Sécurité sociale : oui (préciser) :…… ☐ non ☐

A.9.Habitation actuelle :……

A.10. Type d'habitat : □habitats luxueux □Modernes □ nouvelle médina □Ancienne médina □Habitat précaire ou bidonville □Logement rural

A.11. Distance approximative :

Aux oueds ☐
Au réseau de déversement des eaux usées de la ville ☐

A.12. Niveau d'étude : □Analphabète □Primaire □Secondaire □Supérieur □Education informelle

□Ecole coranique, Précisez nombre années……..

B- Informations cliniques

B.1. Antécédents cliniques personnels

Maladie Chronique : |__| Oui |__| Non

Type d'atteinte :……

Date de l'atteinte : |__|__| / |__|__| / |__|__|__|__|

B.2. Autres antécédents médicaux et chirurgicaux (dates)

……

……

B.3. Antécédents familiaux de maladie chronique |__| Oui |__| Non

Si oui précisez : Le lien de parenté :……Le type d'atteinte :……..

B.4. Actuellement, avez-vous un problème de santé □ Oui □Non

Si oui, lequel (ou lesquels) ?.....

Autres commentaires :

……

……

C- Informations sur l'exposition

C.1. Depuis combien de temps habitez-vous dans ce quartier ?

1 an ☐ 1 à 5 ans ☐ 10-20 ans ☐ 5-10 ans ☐ > 20 ans ☐

C.2. Consommation des produits potagers locaux ?

Consommez-vous des produits potagers locaux ? Oui ☐ Non ☐

Si oui, quelle est la fréquence de cette consommation ?

Chaque jour ☐ Quelques fois par semaine ☐ Une fois par mois ☐ Rarement ☐

Revenu mensuel :

< 2000 DH ☐ 2000-5000 DH ☐ 5000-1000 DH ☐

≥10000 DH ☐ Ne sais pas ☐ Autre, précisez…...

Risques liés à la manipulation avec les produits chimiques toxiques pour les industriels et les agriculteurs

- Produits chimiques utilisés :

……

……

<u>Actions de prévention contre les risques liés à l'utilisation des produits chimiques pour les industriels et les agriculteurs</u>

- Équipement de protection individuelle :

Masque anti-poussières ☐ Appareil à ventilation assistée ☐ Autres :…… ☐

- Contre contact directe des produits chimiques:

☐ ☐

Gants : oui non
Lunettes : oui non
Bottes : oui ☐ non ☐

- Utilisation d'autres moyens : □ Oui □Non
- Si, oui précisez :

…… □ Jamais □ Quelquefois □ A chaque utilisation

…….. □ Jamais □ Quelquefois □ A chaque utilisation

…….. □ Jamais □ Quelquefois □ A chaque utilisation

- Aération du lieu de travail □ Jamais □ Quelquefois □ A chaque utilisation

- Y'a-t-il un suivi médical en cas d'accident de travail ?

Oui ☐ Non ☐

Si oui, à quelle fréquence ? …. /Mois De quel type ?…….....

- Avez-vous une mutuelle de travail ?

Oui ☐ Non ☐

Si oui, laquelle ?.....
……

- Avez-vous des suggestions pour améliorer les conditions de travail et lutter contre les impacts des produits chimiques toxiques ?

……
……..

D- Consommation du tabac

Avez-vous déjà fumé des cigarettes, le cigare ou la pipe au cours de votre vie ?

□ Oui □ Non

Si oui, en quelle année avez-vous commencé ? Début en année /_____/

Quel est au total le nombre d'années ou vous avez fumé ? /___/ années

(Merci de soustraire les années d'interruption)

Fumez-vous actuellement ? □ Oui □Non

En moyenne, combien fumez-vous (ou fumiez-vous) par jour ? /_____/ cigarettes/jour

E- Consommation d'alcool

- Avez-vous déjà consommé de l'alcool ? □ Oui □Non
- Si oui, en consommez-vous actuellement ? □ Oui □Non

Depuis combien d'années ? /_____/

Quantité moyenne consommée par jour ? /_____/

- Depuis combien d'années Avez-vous arrêté de consommer de l'alcool ? /_____/

Durée de consommation (en années) ? /_____/

Quantité moyenne consommée par jour ? /_____/

F- Les symptômes

Est-ce que vous avez senti un des signes suivants ?

Signes	Oui	Non	Si oui, depuis quand
Diarrhée			
Vomissements			
Douleurs abdominales			
Fièvre			
Maux de tête			
Fatigue			
Nausées			
Déshydratation			
Perte d'appétit			
Urine foncée			
Selles décolorées			
Jaunisse			
Fièvre élevée			
Maigreur et faiblesse			
Maux de tête et maux de gorge			
Éruptions cutanées			
Confusion mentale			
Sensation de malaise général			
Toux qui s'intensifie ou qui ne disparaît pas			
Expectorations sanguinolentes (mucus et autres matières expulsés des poumons quand on tousse)			
Essoufflement			
Respiration sifflante			
Infections broncho-pulmonaires fréquentes (bronchite ou pneumonie)			
Voix enrouée			
Perte de poids			
Poumon affaissé (pneumothorax)			
Douleur importante à l'épaule			
Angines longues à guérir en dépit d'un traitement antibiotique et anti-inflammatoire adapté			
Otites			

Rhinite			
Épistaxis (Hémorragie nasale)			
Baisse ressentie de l'acuité auditive			
Saignements de nez			
Nez bouché			
Baisse nette de l'odorat			
Masse au visage Rhume			
Lésions cutanées traumatiques			
Ulcère qui ne guérit pas			
Nodule rosé ou blanchâtre, ferme, verruqueux			
Eczéma			
Mycoses			
Migraine			
Évanouissement			
Vertiges			
Énurésie ("pipi au lit" Involontaires)			
Épilepsie			
Conjonctivite			
Traumatismes oculaires			
Bronchite (toux, crachats, hémoptysies)			
Tuberculose			
Asthme			
Troubles du rythme			
Cardiopathie rhumatismale			
Troubles du transit (diarrhées, constipation)			
Anorexie (perte d'appétit très souvent associée à des Troubles psychologiques)			
Douleurs osseuses			
Musculaires et articulaires			
Déformations squelettiques			
Caries			
Abcès			
Lésions bucco-gingivales			
Soif intense			
Faim exagérée			
Vision embrouillée			
Perte de poids inexpliquée			
Infection des organes génitaux			
Voix rauque			
Nervosité			

Fourmillement Grosseur au niveau du cou (goitre)			
Insomnie			
Tremblement de main			
Transpiration excessive			
Palpitation et augmentation du rythme cardiaque			
Troubles du sommeil			
Hypersalivation			
Déprime			
Hypersudation			

Annexe 3 : Fiche d'information sur l'étude

Eaux Des Oueds De La Ville De Taza : Qualité, Risques Sanitaires, Source De Pollution Et Remédiation

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à l'étude présentée ci-dessous. Avant de vous décider, il est important que vous compreniez :

- Pourquoi cette étude est réalisée,

-ce que l'étude implique,

- Les bénéfices, les conseils et les mesures de protection et de sécurité.

Prenez votre temps pour lire attentivement cette note d'information destinée à répondre aux questions que vous pourriez vous poser au sujet de cette étude. Vous pouvez également vous adresser à votre investigateur qui vous a proposé cette étude et lui poser toutes les questions que vous souhaitez.

1. QUEL EST L'OBJECTIF DE L'ETUDE ?

Cette étude vise à identifier les risques sanitaires des eaux usées dans la ville de Taza, notamment avec la mauvaise gestion de ces déchets (par exemple, l'absence de stationsd'épuration) et compte tenu de la proximité de certains quartiers des oueds au niveau desquels les eaux usées sont rejetées, en plus de l'exploitation par certains agriculteurs des eaux de ces oueds pour irriguer certains légumes qui sont vendus sur les marchés locaux**.**

2. QUEL EST LE DEROULEMENT DE L'ETUDE ?

Après avoir pris connaissance de ce document et si vous acceptez de participer à cette étude, votre investigateur vous demandera de signer un formulaire de consentement de participation. Puis, il va vous demander de répondre à un questionnaire destiné à recueillir vos données sociodémographiques et des données spécifiques à l'étude qui vous seront bien éclaircies.

3. QUELS BENEFICES ATTENDRE DE MA PARTICIPATION A CETTE ETUDE ?

Les bénéfices attendus pour le participant à l'étude sont :

- Les conseils scientifiques, ainsi que les méthodes de prévention préconisées dans ce domaine. A savoir des conseils scientifiques sur la consommation des produits potagers,

la baignade dans les oueds, la consommation d'eau de puits et de sources proches, et l'irrigation de certaines cultures avec de l'eau polluée dans certaines vallées.

- Les Campagnes de sensibilisation au profit des riverains des vallées polluées pour que les enfants ne soient pas autorisés à se baigner dans ces vallées
- La Sensibilisation des petits agriculteurs qui exploitent les eaux polluées des oueds pour irriguer certaines cultures consommées par la population locale ou les bétails **Précautions recommandées :**
- Interdire aux enfants de nager ou de jouer dans les oueds pollués.
- Nettoyez les fruits et légumes.
- Stériliser l'eau, en particulier pour les citoyens qui ne sont pas alimentés en eau potable.

4. VOS DROITS

Votre participation à cette recherche est entièrement libre et volontaire

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à l'étude qui vous est proposée.

En cas d'acceptation, vous êtes libre de changer d'avis en cours d'étude et d'arrêter à tout moment votre participation.

5. CONFIDENTIALITE DES INFORMATIONS

Toutes les informations vous concernant seront conservées de façon anonyme et confidentielle. Le traitement informatique n'est pas nominatif. La transmission des informations concernant le participant pour l'expertise ou pour la publication scientifique seraelle aussi anonyme.

-**Lieu de traitement des données :** Laboratoire d'ingénierie d'Electrochimie ; de Modélisation et d'Environnementaux (LIEME)

-**Responsable chargée de traitement des données :** Pr. RAIS Zakia

Si vous êtes d'accord pour participer à cette étude, nous vous demandons de donner votre consentement écrit en datant et signant le formulaire joint. Cette signature ne dégage en rien les investigateurs de leurs responsabilités ; elle atteste simplement que vous avez été informé de cette étude et que vous y participez librement.

Date : ……

Nom et Prénom du participant	Nom et Prénom de l'investigateur
	Pr. Rais Zakia
Signature	Signature

Annexe 4 : Production scientifique

❖ **Articles publiés**

- ✓ "**Exploitation of olive mill wastewater in sorghum irrigation"** R Mahmoud, F Ainlhout, M Ben Abbou, M Taleb, M El Haji, Z Rais. International journal of recycling organic waste in agriculture 10 (4), 319-329
- ✓ "**Surface water quality in Taza, Morocco: a physicochemical and bacteriological assessment with the SEQ-water system**" R Mahmoud, I Mehdoaui, Z Majbar, MB Abbou, M Taleb, Z Rais. Ecological Engineering & Environmental Technology 24 (8)
- ✓ **"The Needles of Aleppo Pine from the Province of Taza-Morocco–A Biomaterial of Great Potential"** R Mahmoud, K Hjouji, I Mehdaoui, EM Saoudi Hassani, M Ben Abbou, Mustapha Taleb, Zakia Rais. Journal of Ecological Engineering 24 (1)
- ✓ **"Acquired Scientific Research on the Treatment or Valorization of Olive Oil Waste"** R Mahmoud, Z Majbar, K Lahlou, M Benabbou, M Elhaji, M Taleb, Z Rais. ENVIRONMENTAL SCIENCES 4 (6)
- ✓ "**Energy Valorization of Olive Mill Waste Cake–Extraction of Vegetable Oil and Transesterification**", I Mehdaoui, Z Majbar, EMS Hassani, R Mahmoud, I Atemni, M Ben Abbou, ...Journal of Ecological Engineering 24 (5)

❖ **Communications orales**

- ✓ R. MAHMOUD, F. AINLHOUT, M. BEN ABBOU, M. TALEB, M. El Haji, Z. RAIS " Exploitation of margines in the irrigation of Sorghum ". EcoMat 2019, Rabat 06 March 2019
- ✓ Rachid MAHMOUD, Z. MAJBAR, K. LAHLOU, M. BENABBOU, M. ELHAJI, M. TALEB, Z. RAIS " Acquis de la recherche scientifique sur le traitement ou la valorisation des déchets oléicoles ". 10th National Meeting of Electrochemistry, 18-19 April 2019 IFRANE - Morocco
- ✓ Rachid Mahmoud, Mohamed Ben Abbou, Imane Mehdaoui, Zineb Majbar, Mustapha Taleb, Zakia Rais "Surface water quality in the city of Taza, Morocco" 4th edition of the international congress on water and environment studies (CI3E 2021)
- ✓ Rachid Mahmoud; Kaoutar Hjouji; Imane Mehdaoui ; Nisrine Idrissi ; Mohamed Ben Abbou ; Zineb Majbar ; Mustapha Taleb ; Zakia Rais. "The needles of Aleppo pine from the province of Taza-Morocco: A biomaterial of great potential". The 1st Edition of the Multidisciplinary Doctoral Days (JDM'22) 29-30 January 2022