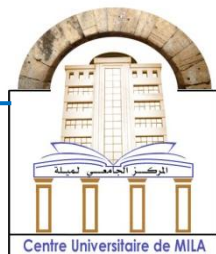


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N°Ref :.....

Centre Universitaire Abdelhafid BOUSSOUF- Mila

Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie et de l'Environnement

**Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de
Master**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie Et Environnement

Spécialité : Protection des écosystèmes

Thème :

***Aptitude à l'irrigation des eaux usées traitées de la
station d'épuration de Sidi Merouane Mila, Algérie.***

Présenté par :

➤ CHETIOUI Hadjer

Devant le jury :

– REBBAH Abderraouf Chouaib	Président	(MCA)	CUM
– BOUNAB Nourhane Amani	Examineur	(MCA)	CUM
– BOUAROUJ Sara	Promoteur	(MCA)	CUM

Année Universitaire : 2024/2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciement



Tout d'abord, je remercie Allah Tout-Puissant de m'avoir donné la force et le courage d'aller jusqu'au bout et surmonter toutes les difficultés.

Un vif remerciement pour mon encadrante **Dr. BOUAROUDJ Sara** qui m'a beaucoup aidée et guidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Ainsi je la remercie sincèrement pour ses précieux conseils, son soutien et sa patience. Je lui exprime *ma profonde gratitude*, et ma *respectueuse considération*.

J'adresse également mes vifs remerciements aux membres du jury **Dr. REBBAH Abderraouf Chouaib** et **Dr. BOUNAB Nourhane Amani** pour avoir accepté d'évaluer mon travail et pour l'intérêt qu'ils y ont manifesté .

Un grand merci à La direction de l'**ONA** et à toute l'équipe de la Station d'Épuration des Eaux Usées de Sidi Merouane, et cheffe de laboratoire Mm **Yasmina** et **Malika** pour leur aide précieuse et leur gentillesse tout au long de mon stage.

Toute la gratitude à mes professeurs et enseignants qui je a supervisés tout au Long de mon carrière universitaire.

Finalement je tente à remercier ma famille, toute les amis et collègues, toute personne ayant contribuée, de près ou de loin afin de réaliser ce travail.





Dédicace



Avant toute chose, et avec l'aide et la protection d'*Allah*, ce modeste travail a pu être accompli. Je remercie Allah de m'avoir accordé la santé, la force et le courage nécessaires pour mener à bien ce travail.

Je dédie ce modeste travail à :

- Après un parcours scolaire rempli de difficultés et d'efforts , me voici aujourd'hui au seuil de ma remise de diplôme , prêt à couronner mes efforts de succès .
- Mes chers parents, qui m'ont inculqué l'esprit de combativité et de persévérance, et qui m'ont toujours soutenu et encouragé dans mes études.
- Ma mère *Fatima* et mon père *Abdelmalek*, qui m'ont soutenue tout au long de mes années d'études grâce à leur aide, leur encouragement, leurs sacrifices et leur patience. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi ; j'espère vous rendre fiers à travers ce projet.

Qu'*Allah* vous protège et illumine ma vie par votre bonheur.- Mes chers frères *Abderrahim* et *Oussama*, ainsi que mes chères sœurs *Souad* et *Tahani*, je vous souhaite une vie comblée de bonheur et couronnée de succès.

- Mes grands-parents bien-aimés, que Dieu les protège, les garde en bonne santé et leur accorde une longue vie, eux qui m'ont donné tout leur amour et leur soutien tout au long de mes études.

- Mes amies et collègues *Chaïma*, *Ilham* et *Nihad* merci pour l'étude remarquable accompli ensemble. Nous avons partagé de magnifiques moments et de précieux souvenirs.

- À toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail, je le dédie également ce travail à tous les étudiants du *Master 2 - Protection des Écosystèmes*, en leur souhaitant plein succès et réussite.
- 

ملخص

في إطار استراتيجية الإدارة المستدامة للموارد المائية وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في الزراعة، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجودة الفيزيائية-الكيميائية لمياه محطة التصفية بسيدي مروان (ولاية ميله، الجزائر) بغرض استعمالها في الري. ولهذا الغرض، تم إجراء تحاليل شهرية خلال الفترة من جانفي إلى ماي على عدة معايير مثل T° ، pH، CE، TDS، DBO_5 ، DCO، N، NO_3^- ، PO_4^{3-} ، Na^+ ، K^+ ، Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Cl^- ، و SO_4^{2-} ، و HCO_3^- .

أظهرت النتائج أن المياه متعادلة إلى قلوية خفيفة pH بين 7,3 و 7,5، مع CE معتدلة تصل إلى 1530 $\mu S/cm$ ، مما يشير إلى ملوحة مقبولة. تتراوح قيم TDS حول 750 mg/L، وهي قريبة من الحدود القصوى المسموح بها للمحاصيل الحساسة. سُجلت بعض القمم في شهر ماي، خاصة في تركيز PO_4^{3-} (5,02 mg/L) و NO_3^- (6,2 mg/L)، دون تجاوز الحدود الحرجة.

تشير مؤشرات جودة المياه مثل SAR بين (2,87 و 3,29)، $Na\%$ (بين 48,5% و 52,3%) و KR أقل من 1، إلى أن المياه صالحة للري بشروط، خصوصاً في الأراضي جيدة الصرف. يصنف مخطط Wilcox هذه المياه على أنها متوسطة إلى عالية الملوحة، لكن بخطر صوديوم منخفض. ويؤكد مخطط Riverside (C3-S1) هذا التقييم.

يُظهر تحليل مخطط Piper أن الطابع الكيميائي للمياه هو $Ca^{2+}-Mg^{2+}$ - $SO_4^{2-}-Cl^-$ ، وهو ما يعكس تأثيراً مزدوجاً بين مياه الصرف المنزلية والجيولوجيا المحلية.

في الختام، يمكن استخدام هذه المياه في الري بشرط اعتماد إدارة محكمة، تشمل التحكم في الصرف، اختيار محاصيل مناسبة، ومزج المياه إذا لزم الأمر بمياه ذات جودة أعلى.

الكلمات المفتاحية: المياه المعالجة العادمة، الري، الزراعة، محطة المعالجة، جودة المياه.

Résumé

Dans le cadre d'une stratégie de gestion durable des ressources hydriques et de réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, la présente étude se propose d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux issues de la STEP de Sidi Merouane (wilaya de Mila, Algérie) en vue de leur utilisation en irrigation. À cet effet, des analyses mensuelles ont été réalisées entre janvier et mai sur des paramètres tels que T° , pH, CE, TDS, DBO₅, DCO, N, NO₃⁻, PO₄³⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, et HCO₃⁻.

Les résultats montrent des eaux neutres à légèrement alcalines (pH entre 7,3 et 7,5) et une CE modérée (jusqu'à 1530 μ S/cm), indiquant une salinité acceptable. Le TDS varie autour de 750 mg/L, proche des seuils limites fixés pour les cultures sensibles. Des pics ponctuels ont été enregistrés en mai, notamment pour les phosphates (5,02 mg/L) et les nitrates (6,2 mg/L), sans dépasser les seuils critiques.

Les indices de qualité de l'eau : SAR (2,87 à 3,29), Na% (48,5 à 52,3%), KR < 1, indiquent une eau adaptée à l'irrigation sous conditions, notamment en sols bien drainés. Le diagramme de Wilcox classe l'eau comme modérément à fortement saline, mais avec un risque sodique faible. Le diagramme de Riverside (C3-S1) confirme cette interprétation.

L'analyse par le diagramme de Piper montre un faciès chimique chloruré-sulfaté calcique-magnésien, typique d'une influence mixte entre les rejets domestiques et la géologie locale.

En conclusion, ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation, à condition d'une gestion rigoureuse, incluant le contrôle du drainage, le choix de cultures adaptées, et éventuellement le mélange avec des eaux de meilleure qualité.

Mots-clés : Eaux usées traitées , Irrigation, agriculture, Station d'épuration, Qualité de l'eau.

Abstract

As part of a sustainable water resource management strategy and the reuse of treated wastewater in agriculture, this study aims to evaluate the physico-chemical quality of water from the Sidi Merouane WWTP (Mila Province, Algeria) for irrigation purposes. To this end, monthly analyses were carried out from January to May on parameters such as T° , pH, CE, TDS, DBO_5 , DCO, N, NO_3^- , PO_4^{3-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , and HCO_3^- .

The results show neutral to slightly alkaline water (pH between 7,3 and 7,5) with moderate CE, reaching up to 1530 $\mu S/cm$, indicating acceptable salinity. TDS values averaged around 750 mg/L, close to the upper limits for sensitive crops. Peak concentrations were recorded in May, particularly for PO_4^{3-} (5,02 mg/L) and NO_3^- (6,2 mg/L), without exceeding critical thresholds.

Water quality indices: SAR (2,87 to 3,29), Na% (48,5 to 52,3%), and $KR < 1$, indicate that the water is conditionally suitable for irrigation, especially in well-drained soils. The Wilcox diagram classifies the water as moderately to highly saline, but with a low sodium hazard. The Riverside diagram (C3-S1) confirms this assessment.

The Piper diagram analysis reveals a $Cl^-SO_4^{2-}$ $Ca^{2+}Mg^{2+}$ chemical facies, typical of a mixed influence between domestic effluents and local geology.

In conclusion, this water can be used for irrigation under strict management, including drainage control, the selection of tolerant crops, and possibly mixing with higher-quality water.

Key Words: Treated wastewater, Irrigation, Agriculture, Wastewater treatment plant, Water quality

Table des matières

Remerciement

Dédicace

ملخص

Résumé

Abstract

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des Figures

Liste des abréviations

Introduction	1
2.Synthèse bibliographique.....	3
2.1. Les eaux usées	3
2.2. Origine des eaux usées	4
2.2.1. Eaux usées domestiques	4
2.2.2. Les eaux usées d'établissement industriels, communaux ou artisanaux	4
2.2.3. Les eaux usées d'agriculture.....	4
2.2.4. Les eaux usées pluviales	5
2.3. Composition des eaux usées des stations d'épurations.....	5
2.3.1. Composition physique	5
2.3.2. Composition chimique	6
2.3.3. Composition microbiologique.....	10
2.4. Les domaines de réutilisation des eaux usées	11
2.4.1. Réutilisation agricole.....	11
2.4.2. Recharge de nappe	11
2.4.3. Réutilisation industrielle	11
2.4.4. Usages urbains	12
2.5. Risques associés à l'utilisation des eaux polluées en irrigation	12
2.5.1. Risques sanitaires	12
2.5.2. Effets sur le sol.....	13
2.5.3. Effes sur les cultures.....	13
2.6. La nécessité de l'épuration des eaux usées	14
2.7. Avantages et inconvénient de la réutilisation des eaux usées épurées	14

2.8. L'utilisation des eaux des stations d'épurations dans l'irrigation	15
2.8.1. Bilan mondial.....	15
2.8.2. Les différentes réglementations et normes des eaux d'irrigation	16
2.9. Aspect législatif.....	22
2.10. L'irrigation en Algérie	22
3.Présentation de la zone d'étude.....	27
3.1. Présentation de la wilaya de Mila	27
3.2. Présentation de la ville de Sidi Merouane	28
3.3. Contexte climatique.....	28
3.4. Géologie.....	34
3.5. Hydrologie.....	34
4. Matériel et méthodes.....	34
4.1. Définition d'une station d'épuration.....	34
4.2. Installation d'une station d'épuration	35
4.3. Présentation de la STEP de Sidi Merouane	35
4.4. Objectif de la station d'épuration	37
5. Les différents traitements réalisés dans la station étudiée.....	38
5.1. Les grandes étapes de traitement des eaux usées.....	38
5.2. Salle de supervision	56
5.3. La désodorisation biologique.....	56
5.4. Analyses réalisées au niveau du laboratoire	57
6. L'Echantillonnage	58
6.1 L'échantillonnage de l'eau	58
6.2. Choix des points de prélèvement	58
6.3. Laboratoire	59
6.4. Détermination de la qualité physico-chimique de l'eau	60
7. Protocoles D'analyses.....	61
7.1. Mesure de la température (T°)	61
7.2. Le potentiel d'hydrogène (pH)	61
7.3. La conductivité électrique (CE)	62
7.4. Demande chimique en oxygène (DCO)	63
7.5. Demande biologique en oxygène (DBO ₅)	65
7.6. Phosphore (PO ₄)	67
7.7. L'Azote (Nt)	69
7.8 Dosage de l'azote ammoniacal N-NH ₃ ⁻	71
7.9. Dosage des nitrates (N-NO ₃ ⁻)	72

7.10. Dosage des nitrites (N-NO_2^-)	73
7.11. Sulfate (SO_4^-)	75
7.12. Chlorure (Cl^-)	75
7.13. Carbonate (CO_3^-) et Bicarbonate (HCO_3^-)	76
7.14. Détermination des Solides Dissous Totaux (TDS)	77
7.15. Dosage de la somme du Calcium et Magnesium	77
7.16. Dosage de la somme du Sodium et Potassium	78
8. Méthodologie	79
8.1. L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation	80
8.2. Les diagrammes	80
8.2.1. Diagramme de Piper	80
8.2.2. Diagramme de Richards Riverside	81
8.2.3 Diagramme de Wilcox	82
9. Indices de la qualité de l'eau	83
10. Analyses statistiques	84
11. Résultats et discussions	85
11.1. Eaux d'irrigation	85
11.1.1. Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimique des eaux d'irrigation de la STEP de Sidi Merouane	85
11.1.1.1. La température	86
11.1.1.2. pH	87
11.1.1.3. La conductivité électrique (CE)	88
11.1.1.4. TDS	89
11.1.1.5. Demande chimique en oxygène (DCO)	90
11.1.1.6. La Demande biologique en oxygène (DBO_5)	91
11.1.1.7. Azote Total (Nt)	92
11.1.1.8. Nitrates (NO_3^-)	93
11.1.1.9. Nitrites (NO_2^-)	94
11.1.1.10. Azote Ammoniacal (N-NH_3^+)	95
11.1.1.11. Phosphore (PO_4)	96
11.1.1.12. Sulfates	97
11.1.1.13. Chlorures	98
11.1.1.14. Bicarbonates	99
11.1.1.15. Calcium	100
11.1.1.16. Magnésium	101
11.1.1.17. Sodium	102

11.1.1.18. Potassium	103
11.1.2. Les indices de la qualité de l'eau d'irrigation	104
11.1.2.2. Sodium Adsorption Ratio (SAR).....	105
11.1.2.3. Magnésium hazard (MH).....	105
11.1.2.4. Indice de perméabilité (PI)	106
11.1.2.5. Ratio de Kelly (KR).....	106
11.1.3. Les diagrammes de la qualité de l'eau	107
11.1.3.1. Diagramme de Piper	107
11.1.3.2. Diagramme de Wilcox.....	108
11.1.3.3. Diagramme de Richards Riverside	109
12.2. Étude statistique	110
12.1. Analyses des composantes principales.....	110
Conclusion.....	112
Références bibliographiques	114

Liste des tableaux

Tableau 1 : Eaux usées générées et réutilisées chaque année dans certains pays	15
Tableau 2 : Recommandations microbiologiques de l'OMS (1989) pour le traitement des eaux usées destinées à l'irrigation.....	17
Tableau 3 : Recommandations de l'USEPA concernant la réutilisation des eaux usées .	19
Tableau 4 : Concentrations maximales recommandées (CMR) dans l'eau d'irrigation de quelques métaux et métalloïdes sélectionnés	20
Tableau 5 : Les superficies irrigable et équipées des GPI en Algérie en 2020(en Ha).....	25
Tableau 6 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020)	29
Tableau 7 : paramètre de température durant la période (2010-2020) de la région d'étude.....	30
Tableau 8 : variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2020) de la région d'étude	31
Tableau 9 : taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) dans la région d'étude.....	32
Tableau 10 : Données techniques de la STEP de Sidi Merouane.....	37
Tableau 11 : Description des équipements poste de relevage.....	39
Tableau 12 : Description des équipements Dégrillage grossier.....	40
Tableau 13 : Description des équipements Dégrillage fin.	42
Tableau 14 : Caractéristiques de comptage des effluents.....	43
Tableau 15 : Description des équipements Dessablage-déshuilage.	44
Tableau 16 : Caractéristiques de la zone anaérobie.....	46
Tableau 17 : Description des équipements dans la zone aérée	48
Tableau 18 : Description des équipements Dégrillage grossier.....	49
Tableau 19 : Caractéristique de clarificateur.....	50
Tableau 20 : Description de l'équipement de recirculation et extraction des boues.....	51
Tableau 21 : Description des équipements des filtres à bandes	52
Tableau 22 : Caractéristiques des lits de séchage des boues	53
Tableau 23 : Caractéristiques d'aire de stockage	54
Tableau 24 : Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques.....	60
Tableau 25 : Représenté le volume et le facteur d'échantillonnage.....	66
Tableau 26 : Détermination du carbonate et bicarbonate.....	76

Tableau 27 : Critères de classification de l'eau de culture selon la classification de Wilcox Eau	81
Tableau 28 : Différentes classifications et différents types de qualité de l'eau selon la classification de Wilcox.....	82
Tableau 29 : Variations spatiotemporelle des Paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sidi Merouane	85
Tableau 30 : Variations spatiotemporelle des indices de la qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sidi Merouane destiné a l'irrigation	104

Liste des Figures

Figure 1 : Organigramme de la gestion des périmètres irriguer	26
Figure 2 : Situation géographique de la wilaya de Mila	27
Figure 3 : Schéma représentatif des Communes limitrophes de la commune Sidi Merouane	28
Figure 4 : Etages bioclimatiques de la wilaya de Mila	29
Figure 5 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude.....	30
Figure 6 : variation de température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude.....	31
Figure 7 : variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020)	32
Figure 8 : variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020)	33
Figure 9 : Localisation de la station de Sidi Merouane dans la wilaya de Mila	36
Figure 10 : Poste de relevage (STEP, Sidi Merouane)	39
Figure 11 : dégrilleur manuelle (STEP, Sidi Merouane).....	40
Figure 12 : dégrilleur mécanique (STEP, Sidi Marouane).....	41
Figure 13 : dégrilleur fin (STEP, Sidi Merouane).....	42
Figure 14 : dessableur/déshuileur de la (STEP, Sidi Merouane).....	44
Figure 15 : Bassin biologique (STEP, Sidi Merouane).	45
Figure 16 : zone anoxie amont du bassin biologique (STEP, Sidi Merouane).....	45
Figure 17 : zone anaérobie du bassin biologique (STEP, Sidi Merouane).....	46
Figure 18 : Zone aérée dans le chenal (STEP, Sidi Merouane).....	47
Figure 19 : dégazeur (STEP, Sidi Merouane).....	48
Figure 20 : Clarificateur (STEP, Sidi Merouane).....	49
Figure 21 : la boue recirculée (STEP, Sidi Merouane).	50
Figure 22 : Table d'égouttage	51
Figure 23 : Filtre à bandes-boues déshydratées (photos personnelle).....	52
Figure 24 : lits de séchag.....	52
Figure 25 : Aire de stockage des boues séchées	53
Figure 26 : Etapes d'une filière de traitement des eaux	55
Figure 27 : sale de supervision (STEP, Sidi Merouane)	56
Figure 28 : le ventilateur de la désodorisation biologique (STEP, Sidi Merouane).	57
Figure 29 : Laboratoire (STEP, Sidi Merouane).....	58

Figure 30 : L'échantillonnage des eaux usées épurées	59
Figure 31 : Mesure de pH	62
Figure 32 : Mesure de CE.....	63
Figure 33 : Mesure de DCO l'eau épurée.	64
Figure 34 : Mesure de DBO5.....	67
Figure 35 : Mesure de Phosphore	69
Figure 36 : Mesure de l'azote ammoniacal N-NH₃-.....	72
Figure 37 : Mesure le Nitrate d'eau épurée	73
Figure 38 : Mesure de nitrites l'eau épurée	74
Figure 39 : Mesure de l'azote ammoniacal N-NH₃- l'eau épurée.....	75
Figure 40 : Diagramme de Piper.....	81
Figure 41 : Diagramme de Richards Riverside	81
Figure 42 : Diagramme de Wilcox	82
Figure 43 : Variations spatio-temporelles de la température des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	86
Figure 44 : Variations spatio-temporelles du pH des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	87
Figure 45 : Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane.....	88
Figure 46 : Variations spatio-temporelles de TDS des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	89
Figure 47 : Variations spatio-temporelles de DCO des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane pendant la période de 5 mois	90
Figure 48 : Variations spatio-temporelles de DBO5 des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane pendant la période de 5 mois	91
Figure 49: Variations spatio-temporelles de NT des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	92
Figure 50 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	93
Figure 51 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrites des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	94
Figure 52 : Variations spatio-temporelle des teneurs en Azote Ammoniacal des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	95

Figure 53: Variations spatio-temporelle de Phosphore des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	96
Figure 54: Variations spatio-temporelle des teneurs en sulfates des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	97
Figure 55: Variations spatio-temporelle des teneurs en chlorures des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	98
Figure 56 : Variations spatio-temporelle des teneurs en bicarbonates des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane.....	99
Figure 57 : Variations spatio-temporelle des teneurs en calcium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	100
Figure 58 : Variations spatio-temporelle des teneurs en magnésium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane.....	101
Figure 59 : Variations spatio-temporelle des teneurs en sodium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	102
Figure 60 : Variations spatio-temporelle des teneurs en potassium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane	103
Figure 61 : Diagramme de piper des eaux d'irrigation de la STEP de sidi Merouane..	108
Figure 62: Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation de la STEP de sidi Merouane.	109
Figure 63: Diagramme de Richards Riverside des eaux d'irrigation de la STEP de sidi Merouane.	110
Figure 64: Analyses des composantes principales.....	111

Liste des abréviations

μS/cm : Micro siemens par centimètre.

Avr : Avril.

Ca : Calcium.

CE : Conductivité électrique.

Cl : Chlore.

Déc : Décembre.

FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Fév : Février.

HCO₃⁻ : Bicarbonate.

Jan : Janvier.

K : Potassium.

Mar : Mars.

Mg : Magnésium.

Na : Sodium.

NO₂ : Nitrate.

NO₃ : Nitrates.

Nov : Novembr.

Oct : Octobre.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office National d'Assainissement

ONM : office national de la météorologie.

pH : Potentiel Hydrométrique.

SAR : Sodium Adsorption Ratio.

Sep : September .

SO₄⁻² : Sulfate.

STEP : Station d'épuration

T° : Température

TDS : Solides Dissous Totaux

Introduction

Introduction

L'eau est un partenaire quotidien de l'homme, utilisée pour satisfaire ses besoins, la production d'électricité et l'usage récréatif. Du fait de la croissance démographique, de l'accroissement des besoins pour l'agriculture et l'industrie, de changement des habitudes de consommation, de l'expansion des réseaux d'approvisionnement en eau et des changements climatiques, la demande en eau, dans son ensemble, a augmenté d'une façon exponentielle **(Falizi et al., 2018)**.

La pollution des milieux aquatiques est un problème majeur tant pour la population humaine, utilisatrice des ressources en eau, que pour les populations végétales et animales pour lesquelles l'eau représente le milieu de vie. La pollution de l'eau quel que soit sa nature (organique, chimique ou microbiologique ...) **(Melghit, 2010)**, peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels **(Mekhalif, 2009)**.

Plusieurs options ont été adoptées afin de satisfaire la demande croissante des populations à savoir le dessalement de l'eau de mer, l'utilisation de l'eau de drainage, les eaux de qualité marginale à salinité élevée ; les eaux usées peuvent être aussi valorisées pour l'irrigation afin de préserver les ressources en eau de bonne qualité pour la potabilisation **(FAO, 2003)**.

Selon des statistiques récentes, la part d'eau utilisée pour l'agriculture est de loin la plus importante devant l'industrie et les besoins domestiques **(UN Water, 2017)**. Cependant, L'agriculture en Algérie représente le secteur le plus important en termes de consommation d'eau, mobilisant plus de 50 % des ressources en eau disponibles **(Dekhil, 1991)**. Actuellement, la superficie irriguée dans ce pays s'élève à environ 712 000 hectares, dont 200 000 hectares situés dans les régions sahariennes, sur une superficie agricole utile totale de 8 265 259 hectares, soit près de 8,6 % de la surface agricole utile (SAU) **(Messahel et al., 2005)**.

L'épuration des eaux usées par les différents procédés consiste à produire une eau usée épurée qui peut être réutilisée en secteur agricole ou rejetée dans la nature sans effet nocif sur les sols, les plants et l'être humain donc sur l'environnement. L'intérêt de l'épuration des eaux usées n'est pas seulement de lutter contre la pollution mais aussi d'assurer une nouvelle ressource en eau qui va soulager la crise de pénurie d'eau surtout dans le domaine de l'irrigation agricole et l'utilisation domestique et industrielle.

La wilaya de Mila dispose de plusieurs stations d'épuration comme celle de Sidi Marouane qui est conçu pour alléger la pollution du barrage de Béni Haroun et qui reçoit les eaux usées de la ville de Mila et d'autres communes, les traitées, puis déversées les eaux épuré dans le barrage.

Dans ce contexte ce travail s'articule autour de la problématique de la réutilisation des eaux épurées de la station d'épuration de Sidi Marouane dans l'irrigation. Ce travail vise à évaluer les paramètre physiques et chimiques des eaux traitées au niveau de cette station, afin de déterminer leur conformité aux normes nationales et internationales en matière d'irrigation.

Cette étude comporte trois grandes parties :

- Le premier chapitre montre une recherche bibliographique traitant des généralités sur les eaux usées.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de la zone d'étude et s'intéresse aux différents procédés d'épuration des eaux usées et aussi la description du matériel et des méthodes utilisées pour analysées les échantillons prélevés.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation des résultats expérimentaux obtenus ainsi que leurs interprétations et calculs des différents indices d'aptitudes des eaux à l'irrigation.

Enfin on terminera par une conclusion.

***Synthèse
bibliographique***

2.Synthèse bibliographique

L'utilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole est une pratique ancienne, particulièrement répandue dans les régions arides, industrialisées et les pays en développement.

Cela s'explique par plusieurs facteurs, notamment : la diminution des ressources en eau douce disponibles pour l'irrigation due à l'augmentation de la demande en eau potable dans les zones urbaines, le coût élevé des engrais chimiques, et la prise de conscience que les éléments nutritifs présents dans les eaux usées peuvent contribuer à améliorer la productivité agricole **(Habbari et al., 2000)**.

Cependant, l'irrigation avec ces eaux soulève des risques sanitaires, tels que les infections virales et bactériennes pouvant affecter à la fois les agriculteurs et les cultures, ainsi que des problèmes agronomiques liés à la présence de substances toxiques.

Par conséquent, l'analyse de la composition des eaux usées est une étape essentielle pour prévenir les risques liés à leurs diverses utilisations **(Pereira et al., 2002)**.

2.1. Les eaux usées

L'homme a sélectionné l'eau comme principal vecteur pour l'élimination de ses déchets.

Ainsi, les eaux résiduaires urbaines (ERU), ou eaux usées sont formées à partir des multiples utilisations domestiques ou industrielles de l'eau par l'homme. Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, minéraux ou organiques, solubles ou non, dispersés ou dissouts, provenant essentiellement de l'activité humaine, à savoir processus industriels et artisanaux **(Rejsek, 2002)**.

Les eaux usées peuvent être regroupées en trois catégories, selon leur origine ; domestiques, industrielles et agricoles (pluviales). Certaines de ces eaux résiduaires peuvent avoir un caractère toxique. A cette charge s'associent presque toujours des matières grasses et des matières colloïdales **(Koller, 2005)**.

2.2. Origine des eaux usées

2.2.1. Eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères et les eaux de vanne et sont essentiellement porteuses de pollution organique (glucides, lipides, protides) mais aussi des matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates) (**Mettahri, 2012**).

Les eaux ménagères ont pour origine les salles de bains et les cuisines et sont chargées de matières organiques biodégradables (glucides, lipides, protides), détergents contenant du soufre ou du phosphore, des graisses, des solvants. Les eaux de vannes proviennent des sanitaires (Urines et matières fécales) et sont chargées de diverses matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et des germes fécaux (**Baumont et al., 2004**).

2.2.2. Les eaux usées d'établissement industriels, communaux ou artisanaux

Elles sont issues d'activité domestique (cantines, W-C, douches...) ou plus spécifiquement des eaux liées à l'activité industrielle, telles que les eaux de refroidissement, ou les effluents résultant du processus utilisé (**Bakiri, 2007**).

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la et la faune aquatique, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les liquides résiduaux de certaines industries.

Les eaux résiduaux sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières ou des produits d'une usine, ou qui ont servi à retenir des poussières de fumées ; elles peuvent contenir des substances chimiques utilisées au cours des fabrications. Les liquides résiduaux sont des liquides résultant des fabrications ; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous-produits, c'est le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux (**Kettab, 2017**).

2.2.3. Les eaux usées d'agriculture

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage (lisiers et purins) (**Bakiri, 2007**).

2.2.4. Les eaux usées pluviales

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes :

- Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées : Les déchets solides ou liquides déposés par temps sec sur ces surfaces sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent ;
- La remise en suspension des dépôts des collecteurs par temps sec : l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt de matières décantables.
- Lors d'une précipitation, le flux d'eau plus important permet la remise en suspension de ces dépôts.
- Elles sont de même nature que les eaux usées domestiques, avec en plus, des métaux lourds et des toxiques (plomb, zinc, hydrocarbures) provenant essentiellement de la circulation automobile (**Mettahri, 2012**).

2.3. Composition des eaux usées des stations d'épurations

Les eaux usées sont générées par diverses activités humaines, telles que les usages domestiques, industriels et commerciaux. Leur quantité et leur composition dépendent de plusieurs facteurs, notamment le mode de vie et le niveau de vie des habitants, la proportion des effluents domestiques et industriels, ainsi que la conception des réseaux d'égouts et des systèmes de traitement.

Les eaux usées urbaines traitées se composent principalement de matières organiques, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de substances inorganiques telles que (N), (P), (K), (Na), (Ca), (Mg) (Cl). Elles contiennent également des micro-organismes, y compris des agents pathogènes et des bactéries résistantes aux antibiotiques.

En outre, elles peuvent contenir des substances chimiques toxiques, difficiles à dégrader ou bioaccumulables, comme les métaux lourds (**Bouaroudj, 2021**).

2.3.1. Composition physique

2.3.1.1. Température (T)

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important

dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale pour des températures variant de 28 à 32°C par contre, elle est fortement diminuée pour des températures de 12 à 15°C et elle s'arrête pour des températures inférieures à 5°C (**Mettahri, 2012**).

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. Elle agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivants dans l'eau (**Benfiala et Haouli , 2017**).

2.3.1.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques (Platine) de 1cm² de surface et séparée l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique. L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m) : La conductivité donne une idée de la minéralisation d'une eau et est à ce titre un bon marqueur de l'origine d'une eau (**Kimura, 2004**).

2.3.1.3. Turbidité

La turbidité de l'eau est liée à sa transparence et donne une indication de la quantité de matière en suspension. Les eaux troubles contiennent généralement des substances finement divisées telles que des grains de silice, de la matière organique, des limons, etc. Pour garantir une bonne qualité de l'eau. (**Loup, 1974**).

2.3.1.4. Les Matières en suspension

Les matières en suspension présentes dans les eaux varient en nature et en taille, comprenant du quartz, des argiles, des sels minéraux insolubles, ainsi que des particules organiques provenant de microorganismes et de la décomposition d'organismes animaux ou végétaux. La quantification des matières en suspension dans l'eau se fait par filtration ou centrifugation (**Dore, 1989**).

2.3.2. Composition chimique

2.3.2.1. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺). L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acides) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C°.

Le pH d'une eau naturelle peut varier entre 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eau acide) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.

On admet généralement qu'un pH naturel situé entre 6.5 et 8.5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale (**Kettab, 2017**).

2.3.2.2. Total des solides dissous (TDS)

La détermination des solides dissoutes ou total des solides dissous (TDS) dans l'eau n'a pas de base fondée sur la santé. Leur présence dans l'eau favorise la corrosion et l'incrustation. À teneur élevée, ils sont répréhensibles pour les consommateurs car ils entraînent un goût désagréable à l'eau. Se référant à ce paramètre, une eau est réputée bonne quand sa teneur en TDS est inférieure à 600 mg/l (**WHO, 2011**).

2.3.2.3. L'Azote(N)

L'azote présent dans l'eau peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote organique est principalement constitué par des composés tels que des protéines, des polypeptides, des acides aminés, de l'urée. Le plus souvent ces produits ne se trouvent qu'à de très faibles concentrations. Quant à l'azote minéral (ammoniaque, nitrate, nitrite), il constitue la majeure partie de l'azote total (**Bengouga, 2010**).

2.3.2.4. Le phosphore (PO₄)

Le phosphore représente le dosage des ortho-phosphates, poly-phosphates et organo-phosphates. Cette forme de pollution est entre autres responsable de l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau, elle permet le suivi et la gestion des unités de traitement.

Le phosphore est un élément indispensable au développement de tous les organismes vivants (**Touafek, 2015**).

2.3.2.5. Le Calcium (Ca⁺²)

C'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme des carbonates, composant majeur de la dureté de l'eau et qui est l'élément dominant des eaux. Sa teneur est liée directement à la nature géologique des terrains traversés,

soit la dissolution de formations gypseuses CaSO_4 et la dissolution des formations carbonatées CaCO_3 .

Le calcium (Ca) fait flocculer le sol et neutralise donc les effets négatifs de Na en agriculture, une eau riche en calcium aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques, d'autre part le calcium est un élément principale qui cause des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement obstrués les goutteurs par des dépôts calcaires **(Bouaroudj, 2021)**.

2.3.2.6. Magnésium (Mg^{+2})

C'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau. Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomites) **(Debieche, 2002)**.

Les carences en magnésium ont de graves conséquences sur la croissance de la plante. Plusieurs fonctions essentielles de la plante ont besoin d'un apport suffisant en magnésium ; son rôle est particulièrement visible dans la photosynthèse et dans la formation des racines et de la chlorophylle.

Si la quantité de magnésium est excessive, cela entraîne des effets nocifs sur les sols, ce qui se traduit par un faible rendement des cultures **(Taak et Singh, 2014)**.

2.3.2.7. Le Sodium (Na^+)

C'est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà. Indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir :

- De l'altération des minéraux silicatés, échanges de cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques.
- Des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais qui augmentent aussi les concentrations en sodium.
- Des nombreux usages industriels **(Rodier et al., 2005)**.

L'irrigation avec des eaux riches en sodium entraîne sa fixation sur le milieu adsorbant du sol, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol : tendance à la dispersion

des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes (Lee, 2012).

2.3.2.8. Potassium(K^+)

Le potassium est un macronutriment présent à forte concentration dans les sols (3% de la lithosphère), mais il n'est pas bio-disponible, car il est lié à d'autres composés. Il doit donc être ajouté dans les sols par le biais des engrais. Les eaux usées contiennent de faibles concentrations de potassium, insuffisantes pour couvrir la demande théorique en cet élément. L'utilisation d'eaux usées en agriculture n'entraîne normalement pas d'impact négatif sur l'environnement lié à l'apport de potassium (OMS, 2012).

2.3.2.9. Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont fréquents dans les réserves d'eaux douces à un taux de 10 à 100mg/l. Une forte teneur en chlorures peut indiquer une pollution par des eaux usées (Nalco, 1983). Les chlorures (Cl^-) doivent être particulièrement suivis les teneurs en chlorures des eaux de surface sont extrêmement variées. Elles sont principalement liées à la nature des terrains traversés (Rodier, 1984).

2.3.2.10. Sulfate (SO_4^{2-})

Les sulfates sont des composés naturels des eaux. Ils sont liés aux cations majeurs tels que le calcium, le potassium et le sodium. Ils proviennent de certains minéraux en particulier du gypse ou apparaissent à partir de l'oxydation des minéraux sulfureux. Les teneurs en sulfates.

Des eaux naturelles sont variables de 5 à 200 mg/l. Les eaux usées de nombreuses industries peuvent également contenir des sulfates (Rodier, 1984).

2.3.2.11. Les bicarbonates (HCO_3^-)

L'alcalinité des eaux naturelles est due aux sels de carbonate, de bicarbonates, de borates, de silicates et de phosphates ainsi qu'aux ions hydroxyles à l'état libre. La principale source d'ions carbonate et bicarbonate dans les eaux est le dioxyde de carbone dissous ; l'eau chargée de dioxyde de carbone dissout les minéraux carbonatés, lorsqu'elle traverse le sol et les roches, pour donner des bicarbonates.

Selon **(Murtaza et al., 2010)**, les eaux usées contiennent une forte concentration de carbonate et bicarbonate et l'utilisation continue de ces eaux usées pendant un long temps augmente la concentration en CO_3^{2-} et HCO_3^- et détériore ainsi la santé du sol.

Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de bicarbonates, on constate une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium ce qui fait augmenter l'effet négative du Sodium sur le sol et augmente le pH.

On considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieure à 2,5 meq/l **(Morin, 2009)**.

2.3.2.12. Les éléments traces métalliques

Les éléments métalliques que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux (de l'ordre de quelques $\mu\text{g/l}$). Les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces **(Amorce, 2012)**. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de distribution d'eau et d'assainissement, des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels » **(Cauchi et al., 1996)**.

2.3.3. Composition microbiologique

2.3.3.1. Microorganismes

La présence de micro-organismes dans les eaux peut avoir plusieurs origines. Alors que certaines souches existent à l'état naturel, d'autres s'infiltrant dans le sol à partir de matières organiques provenant de fosses septiques, de décharges, d'épandages agricoles ou de réseaux d'égouts. Cependant, leur développement est limité par les conditions anaérobies généralement rencontrées dans les environnements. Il convient de noter que les aquifères de type karstique sont plus vulnérables à la contamination microbienne car leur capacité d'épuration est souvent faible ou inexistante. Actuellement, l'eau de source répond à toutes les exigences réglementaires et de qualité sanitaire et peut être bue sans restriction **(Laziri, 2009)**.

L'ensemble des microorganismes et des parasites qu'on peut trouver dans les eaux usées, peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes **(Boumalek, 2020)**.

2.4. Les domaines de réutilisation des eaux usées

2.4.1. Réutilisation agricole

Les eaux usées épurées peuvent être utilisées pour irriguer les cultures agricoles ou sylvicultures dans les zones à problèmes quantitatifs ou qualitatifs d'eau (**Trad Rais et Xanthoulis, 2006**). L'irrigation peut être utilisée à la fois pour les cultures destinées à la consommation humaine et pour celles destinées à la transformation ou à d'autres fins (**USEPA, 2012**). Cependant, cette utilisation présente des aspects à la fois positifs et négatifs. Cependant, elle peut présenter des risques potentiels pour la santé si elles ne sont pas correctement traitées et peut contenir des produits chimiques nocifs à des concentrations toxiques pour les plantes. Par ailleurs, l'offre est continue tout au long de l'année, mais la demande est saisonnière et d'importants investissements en terrains et en équipements sont nécessaires (**Rowe et Abdel-Magid, 1995**).

2.4.2. Recharge de nappe

Ce sont des valorisations indirectes, qui se concentrent sur la recharge des aquifères pour l'irrigation ultérieurement, et servir à maintenir les niveaux d'eau des rivières et des zones humides (**paquet et rotbardt, 2011**). La régénération des eaux souterraines est principalement motivée par la dégradation de leur état environnemental et/ou par l'épuisement de leurs réserves d'eau. Cette approche de réutilisation est couramment mise en œuvre dans les régions arides confrontées à des problèmes d'assèchement des aquifères, ou dans les zones côtières pour établir des barrières contre l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers, de fournir un traitement supplémentaire pour une réutilisation future, et afin d'augmenter les réserves d'eau souterraine potable et non potable et d'éviter l'affaissement des sols (**Idder, 1998**).

2.4.3. Réutilisation industrielle

Il s'agit de réutilisation, par l'industrie, d'eaux usées domestiques provenant de milieux urbains, et non l'utilisation d'eaux usées industrielles. Les entreprises possèdent souvent leur propre installation de traitement dans le but de traiter des effluents spécifiques issus de procédés industriels. Il peut arriver qu'elles réintroduisent les effluents traités dans leurs processus respectifs (**Baumont et al., 2004**). Cette pratique présente une perspective prometteuse dans le secteur de l'énergie, en particulier dans les circuits de refroidissement ouverts et fermés. En outre, les applications potentielles de réutilisation s'étendent à divers secteurs tels que les blanchisseries industrielles, les lave-autos, l'industrie du papier, la production d'acier, le textile,

l'électronique et les industries des semi-conducteurs, entre autres (**Asano, 1998**). Un nombre considérable d'industries ont déjà intégré un système en circuit fermé pour réutiliser leurs propres eaux usées dans le but de préserver les ressources et de réduire la quantité de rejets (**Exall, 2004**).

2.4.4. Usages urbains

L'eau épurée a de nombreuses utilisations dans les zones urbaines, comme l'irrigation de parcs, de terrains de sport et de terrains de golf, ainsi que des étangs de loisirs et à des fins de nettoyage. Cette eau peut également être utilisée à des fins sanitaires dans les bâtiments et pour les réservoirs anti-incendie. Les projets de réutilisation des eaux usées épurées (REUE) en zone urbaine exigent des normes de qualité similaires à celles des autres réutilisations, mais avec quelques différences.

L'esthétique est essentielle et il est nécessaire d'éviter les mousses, les algues et les insectes. Les polluants concentrés provenant de la faune peuvent avoir un impact négatif sur la pêche. Les pays développés et fortement urbanisés tels que les États-Unis, le Japon, la Corée du Sud et l'Allemagne sont les leaders en matière de REUE urbaine (**Baumont et al., 2004**).

2.5. Risques associés à l'utilisation des eaux polluées en irrigation

Cette ressource qui constitue une valeur hydrique et un potentiel de matières fertilisantes important peut également être une source de pollution. Son contenu en éléments traces et en microorganismes pathogènes et sa teneur élevée en azote peuvent être nocifs pour la santé et l'environnement (**Us Nrc, 2012**).

2.5.1. Risques sanitaires

Sur le plan sanitaire, la plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses (bactériennes, parasitaires ou virales) (**Sou, 2009**).

Dans le cas d'un usage agricole, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (**Sheikh et al., 1999**). Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol, ces derniers survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes, Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte (**Asano, 1998**).

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque. Ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation, par exemple des aérosols contaminants ...etc.

Les nouvelles recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures (OMS, 2006).

2.5.2. Effets sur le sol

Dans les régions arides et semi-arides, les impacts physicochimiques et microbiologiques des eaux usées sur le sol sont accentués et accélérés par la forte demande évaporative qui concentre rapidement les constituants minéraux et autres polluants apportés au sol par l'eau d'irrigation. Les impacts majeurs observés sont la salinisation, l'alcalinisation et les changements structuraux du sol, l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques, l'accumulation de nutriments (FAO, 2003). Les conséquences en sont une baisse générale de la fertilité liée à une accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, ainsi qu'une réduction notable de la conductivité hydraulique et de la capacité d'infiltration des sols (Sou, 2009).

2.5.3. Effes sur les cultures

Du fait de leur teneur en éléments nutritifs et de leur richesse en oligoéléments, les eaux usées lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation, entraînent une amélioration des rendements des plantes cultivées. Dans ce cadre, ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par une eau usée soit brute soit traitée. De même, l'irrigation par les EUT entraîne un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments (Yadav, 2002). Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent provoqués, à long terme, des risques pour le développement des plantes.

En effet, certains éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène) sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités. L'irrigation à partir d'eaux usées va apporter ces éléments, mais aussi d'autres oligo-éléments non indispensables à la plante, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, et le sélénium. La biodisponibilité de ces éléments dans le

sol peut engendrer leur accumulation dans les tissus des plantes et dans certains cas, les teneurs en ces éléments peuvent atteindre des seuils de phytotoxicité (**Faby et Brissaud, 1997**).

Les teneurs en métaux lourds au niveau des plantes irriguées par des eaux usées depuis 30 ans sont au-dessous de seuil de toxicité pour les plantes (**Yadav et al., 2002**).

2.6. La nécessité de l'épuration des eaux usées

Les caractéristiques d'une station d'épuration et le degré de traitement doivent être tels que l'effluent n'altère pas l'état du milieu récepteur dans une mesure incompatible avec les exigences de l'hygiène et de la salubrité publique et, d'une façon générale, avec les exigences des diverses utilisations ou activités (alimentation en eau des hommes et des animaux, utilisation agricole ou industrielles, production piscicole ou production de coquillages, navigation, baignades et autres activités sportives) (**Djeddi., 2006**).

2.7. Avantages et inconvénient de la réutilisation des eaux usées épurées

Les eaux usées traitées sont utilisables en tout temps, et donc, toujours disponibles pour irriguer les cultures, même en cas de sécheresses. De plus, ce type de réutilisation donne des rendements plus élevés que l'irrigation conventionnelle avec de l'eau douce, même en utilisant des engrais artificiels. Ainsi, la hausse des rendements des cultures destinées à la consommation humaine entraîne une plus grande disponibilité des biens alimentaires (**OMS, 2012**). De plus, la réutilisation d'une partie des eaux usées permet d'augmenter la quantité d'eau disponible pour les usages non domestiques. De ce fait, elle permet de préserver les ressources en eau de qualité supérieure pour les usages plus restrictifs. Elle permet donc une disponibilité accrue de l'eau potable pour les populations, contribuant à leur santé et à leur bien-être. Cette pratique permet de diminuer la quantité de rejets directs d'eaux usées dans les milieux récepteurs, elle s'accompagne généralement aussi d'une meilleure maîtrise de l'assainissement, et donc, de rejets moins polluant.

Finalement, la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation permet de bénéficier de leur apport en nutriments organique et inorganique pour répondre aux besoins des cultures. Les effluents des stations d'épuration contiennent une grande quantité de nutriments utilisables par les plantes, réduisant ainsi l'utilisation d'engrais chimiques et leur production. Malgré que dans la plupart des cas les eaux usées sont produites près des agglomérations, et donc près à la demande, elles ne sont pas toujours disponibles à proximité immédiate des zones où l'utilisation est possible. De plus, la demande varie en fonction des saisons estivales, les besoins sont

généralement plus grands en été à cause de la demande élevée pour les usages agricoles, urbains et réactifs. Les eaux usées sont soumises à diverses sources de contaminants, limitant ainsi leur potentiel de réutilisation. Elles peuvent contenir un grand éventail de constituants biologiques, organiques et inorganiques, dont certains peuvent être nocifs pour la santé et la sécurité des êtres humains en fonction de leur concentration et de la durée d'exposition. Cependant, le niveau de préoccupation va surtout varier en fonction de l'usage qui est fait des eaux usées traitées, et donc des risques de contact entre ceux-ci et la population **(Kaouache et al.,2022)**.

2.8. L'utilisation des eaux des stations d'épurations dans l'irrigation

2.8.1. Bilan mondial

Environ 70% des ressources en eau de la planète, y compris la totalité de l'eau souterraine et redirigée des rivières, sont utilisés pour l'irrigation agricole. La réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole et paysagère réduit à la fois la quantité d'eau à extraire des ressources naturelles, les sources d'eau et le rejet incontrôlé des eaux usées dans l'environnement **(Pedrero et al., 2010)**. Ainsi, les eaux usées traitées constituent une source d'eau précieuse pour le recyclage et la réutilisation, en particulier dans les pays méditerranéens et d'autres régions arides et semi-arides, où les pénuries d'eau sont de plus en plus importantes **(Farahat et Linderholm, 2015)**.

**Tableau 1 : Eaux usées générées et réutilisées chaque année dans certains pays
(Kunhikrishnan et al., 2012).**

PAYS	Eaux Usées générées (Miliard L)	Eaux Usées réutilisées (Miliard L)	% de réutilisation
Argentine	200,3	90,7	45,28
Australie	1634	262,9	16,09
Bahreïn	45	8	17,77
Bolivie	135,8	-	-
Chili	295,6	-	-
Grèce	-	0,7	-

Egypte	100,01	200	1,99
Inde	13,87	1460	10,53
Jordan	82	64,9	79,15
Koweït	119	52	43,69
Libye	546	40	7,33
Mexique	13,34	280	2,1
Nouvelle-Zélande	67	16	23,88
Oman	78	8,6	11,03
Pérou	34,7	18,6	53,6
Arabie Saoudite	730	122,6	16,79
Espagne	24,09	1100	4,57
Syrie	825	550	66,67
Tunisie	240	33,8	14,08
Ets-Unis	-	2271	-
Émirats arabes unis	881	185,3	21,03
Algérie	0,6	0,2	33,3

2.8.2. Les différentes réglementations et normes des eaux d'irrigation

2.8.2.1. Les recommandations microbiologiques de l'OMS

Les recommandations de l'OMS (2000), sont les seules à l'échelle internationale. Elles ne concernent que l'usage agricole et sont ciblées sur des paramètres exclusivement microbiologiques. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde (**Lazarova et Brissaud, 2005**). Cette approche a fixé la norme « œufs d'helminthes » à 0.1 œuf/l. Les normes d'usage agricole concernent uniquement les quantités de microorganismes.

Les protozoaires ne sont pas inclus directement car il est considéré qu'ils sont éliminés en même proportion que les helminthes. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc adaptées aux pays en voie de développement (Bouaroudj, 2021).

Tableau 2 : Recommandations microbiologiques de l'OMS (1989) pour le traitement des eaux usées destinées à l'irrigation (Blumenthal et al.,2000).

Catégorie	Conditions de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux (Nombre d'œufs par litre - moyenne arithmétique)	Coliformes intestinaux (Nombre par 100 ml - moyenne géométrique)	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics	Ouvriers agricoles, Consommateurs, public	≤ 1	≤ 1000	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères des	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination

	pâturages et des plantations d'arbres				des helminthes et des coliformes intestinaux
C	irrigation localisée des cultures de la catégorie B, si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire

2.8.2.2. Les recommandations microbiologiques de l'USEPA

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency) a publié en 1992 ses propres recommandations sur la réutilisation des eaux usées traitées intitulées. Contrairement à l'OMS, ces recommandations ne sont pas basées sur des études épidémiologiques ni sur une estimation du risque, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Ces normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes (**Belaid et al., 2010**). Dans les normes de l'USEPA, plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la DBO, la turbidité ou les MES et microbiologiquement seul le coliforme fécal permet de juger la qualité de l'eau (**Tamrabet et al., 2009**).

**Tableau 3 : Recommandations de l'USEPA concernant la réutilisation des eaux usées
(Tamrabet et al., 2009).**

Type d'utilisation	Qualité de l'eau exigé	Traitement
Utilisations urbaines, cultures crues, bassins récréatifs	pH=6–9 ; DBO≤10 mg/L NTU≤2 ; 0 coliforme/100 mL Cl ₂ résiduel 1 mg/L	➤ Secondaire ➤ Filtration ➤ Désinfection
Irrigation de zones d'accès restreint, cultures vivrières transformées, cultures non alimentaires, bassins esthétiques, utilisations de construction, refroidissement industriel, réutilisation environnementale	pH= 6–9 ≤30 mg/L DBO ≤30 mg/L TDS ≤200 coliforme/100 Ml 1 mg/L Cl ₂ résiduel	➤ Secondaire ➤ Désinfection
Recharge des eaux souterraines des aquifères non potables par épandage	Spécifique au site et dépendant de l'utilisation	➤ Spécifique au site et dépendant de l'utilisation ➤ Primaire (minimum)
Recharge des eaux souterraines des aquifères non potables par injection	Spécifique au site et dépendant de l'utilisation	➤ Spécifique au site et dépendant de l'utilisation ➤ Secondaire (minimum)
Recharge des eaux souterraines des aquifères potables par épandage	➤ Spécifique au site ➤ Répondre aux normes d'eau potable après percolation	➤ Secondaire ➤ Désinfection ➤ peut nécessiter la filtration

2.8.2.3. Les recommandations physicochimiques de la FAO

La FAO établit en 1976 des directives concernant la qualité physicochimique et d'éléments traces métalliques de l'eau d'irrigation dans lesquelles l'accent était mis sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau, sur la production agricole, sur les conditions du sol et les techniques culturales (Ayers et Westcot, 1994)

Tableau 4 : Concentrations maximales recommandées (CMR) dans l'eau d'irrigation de quelques métaux et métalloïdes sélectionnés (Pescod, 1992).

Élément	CMR mg/l	Remarques
Aluminium	5.00	Peut bloquer la productivité dans les sols acides (pH 5,5), mais des sols plus alcalins au pH 7,0 précipiteront les ions et élimineront toute toxicité.
Arsenic	0.10	La toxicité pour les plantes varie énormément, allant de 12 mg par litre pour le fourrage au Soudan à moins de 0,05 mg par litre pour le riz.
Béryllium	0.10	La toxicité pour les plantes varie énormément, allant de 5 mg par litre pour le chou vert à 0,5 mg par litre pour les haricots nains.
Cadmium	0.01	Toxique à des concentrations aussi faibles que 0,1 mg par litre dans la solution nutritive pour les haricots, les betteraves et les navets. On recommande des limites prudentes.
Chrome	0.10	Généralement pas reconnu comme élément essentiel de la croissance végétale.
Cobalt	0.05	Toxique pour les plants de tomates à 0,1 mg par litre dans la solution nutritive. Il a tendance à être inactivé par les sols neutres et alcalins.
Cuivre	0.20	Toxique pour un certain nombre de plantes de 0,1 à 1,0 mg par litre dans la solution nutritive.

Fer	5	Non toxique pour les plantes dans des sols aérés, mais peut contribuer à l'acidification des sols et à la perte de disponibilité du phosphore et du molybdène.
Lithium	2.5	Toléré par la plupart des cultures jusqu'à 5mg par litre. Mobile dans le sol. Toxique pour les agrumes à de faibles concentrations avec une limite recommandée de 0,075 mg par litre
Manganèse	0.2	Toxique pour un certain nombre de cultures, de quelques dixièmes à quelques mg par litre dans les sols acides.
Molybdène	0 .01	Non toxique pour les plantes à des concentrations normales dans le sol et l'eau.
Nickel	0.2	Toxique pour certain nombre de plantes, de 0,5 à 1,0 mg par litre ; toxicité réduite à un pH neutre ou alcalin.
Plomb	5	Peut inhiber la croissance des cellules végétales à des concentrations très élevées.
Sélénium	0.02	Toxique pour les plantes à de faibles concentrations et toxique pour le bétail. Si le fourrage est cultivé sur des sols présentant des niveaux relativement élevés de sélénium.
Zinc	2	Toxique pour de nombreuses plantes à des niveaux très variés de concentrations, cette toxicité est réduite à pH 6,0 et dans des sols à texture fine ou organiques.

La concentration maximale repose sur un taux d'épandage de l'eau qui respecte les bonnes pratiques d'irrigation (10000 m³/ha/an). Si le taux d'épandage de l'eau dépasse de beaucoup ce chiffre, les concentrations maximales devraient être ajustées en conséquence. Il n'y a pas lieu de faire un ajustement pour des taux d'application inférieurs à 10000 m³/ha/an. Les valeurs données concernent l'eau utilisée à long terme dans un site.

2.9. Aspect législatif

Le décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 publié dans le Journal Officiel (JO) de la République Algérienne n° 35, 23 mai 2007, fixe les modalités d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation sous forme de concession ainsi que le cahier des charges- type yafférent (**JO, 2007**). Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées. Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce (**Hannachi et al., 2013**).

2.10. L'irrigation en Algérie

Globalement, la superficie irriguée actuellement dans notre pays est de l'ordre de 712.000 ha dont 200.000 ha dans les régions sahariennes, sur une superficie agricole utile de 8.265.259 ha soit près de 8,6 % de la surface agricole utile (SAU). Les 520.000 ha irrigués dans le Nord du pays (soit 6,3 % de la SAU) se répartissent en deux ensembles nettement différenciés à la fois par la taille des aménagements et par le mode de gestion : Les grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par les offices régionaux ou de wilaya (OPI) et les irrigations de petite et moyenne hydraulique (PMH) gérées directement par les agriculteurs (**Messahel et al., 2005**).

2.10.1. La petite et moyenne hydraulique (PMH)

L'irrigation en Algérie s'est aujourd'hui essentiellement développée dans le cadre la petite et moyenne hydraulique (PMH) qui constitue des zones irriguées sans infrastructures centralisées, elle concerne des superficies inférieures à 500 ha naturellement verdoyantes qui ont été développées grâce à des puits, pompages au fil de l'eau et captage de source.

Les superficies petites et moyenne irriguées est d'environ 380000 h, dont 85000 ha sont situés dans le sud et 295000 ha sont situés dans la partie définie au Nord, les PMH projets hydroélectriques occupent des terres éparces, la superficie est majoritairement inférieure à 500 ha, et l'équipement est généralement insuffisant.

Tout ou partie de l'investissement est investi par les agriculteurs et 80% de la superficie provient de puits de ressources souterrains, forages, sources et inondations, la grande majorité de la production agricole irriguée provient de la petites et moyenne irrigation, car malgré la pénurie de ressources en eau, la superficie moyenne irriguée à dépasser les 380000 ha.

Indépendamment, les statistiques agricoles montrent que la petite et moyenne hydraulique dominée par près de 78% des 320000 ha d'irrigation intensive (soit une superficie de plus de 250000 ha).

En 2002, bien que le développement du grand hydraulique ait été prioritaire, le périmètre irrigué était principalement de la petite et moyenne irrigation, qui représentait près de 63% des 605130 ha. Puis en 2008, un inventaire de la PMH comptabilisait 776975 ha irrigués à la fois par :

- 993 périmètres collectifs (119623 ha) dont 182 périmètres oasiens (51715 ha)
- Une majorité d'exploitations individuelles (576554 ha) ;
- En fin, (80798ha) étaient également installés sur des terres de gpi non mises en valeurs par l'eau des barrages ;
- La superficie équipée en pmh s'élevait à 1 millions ha contre 350000 ha en 2000. **(ipemed, 2013)**

Et en 2012, sur 69% de la superficie équipée pour l'irrigation la source d'eau était l'eau souterraine provenant des forages (41%) des puits (26%) et des sources (2%) par ailleurs, 1200 ha sont irrigués par 1 millions m3 d'utilisation directe d'eaux usées traitées .

Dans le cadre du Fonds National de Développement Agricole géré par le ministère de l'Agriculture la petite et moyenne hydraulique a été développée avec une forte assistance nationale dans le cadre d'un programme d'économie d'eau à grande échelle visant à réduire la demande en eau d'irrigation et à limiter les pertes, des subventions importantes ont été accordées pour l'installation d'équipements d'irrigation localisés, un objectif d'irrigation localisée de plus de 100000ha.

La plupart des investissements de petite et moyenne hydraulique encouragés et subventionnés par l'Etat ont été gérés localement par des associations, des syndicats et des

coopératives d'irrigation, les initiatives privées sont dominantes et les irrigants sont directement liés.

La gestion de la PMH est la responsabilité des domines privés, l'Etat n'a pas de moyens de gérer directement le département, environ 80% des besoins des exploitations de PMH proviennent des ressources souterraines, ils ne sont donc pas affectés par les ressources souterraines imprévisibles. Les difficultés environnementales, climatiques ou de gestion de l'ONID expliquent en partie leur succès de production et de développement global (**Hadim et Ibouainene, 2020**)

2.10.2. Les grands périmètres d'irrigation (GPI)

Les grands périmètres d'irrigation dépassant en général 500 ha d'un seul tenant qui sont alimentés en eau à partir de barrage ou de batteries, de forages profonds avec d'importants investissements collectifs totalement réalisées par l'Etat. Ces périmètres comprennent, en plus des 08 périmètres anciens pré-indépendance, 22 périmètres récents additionnels d'environ 109402 ha pour une superficie équipée totale de 229907 ha.

Les GPI ayant 15 périmètres d'irrigation avec une superficie de 36303,00 ha, en 2005, environ 57000 ha nécessitaient en effet une réhabilitation alors qu'environ 24270 ha étaient considérés comme perdus (ne suffisant pas) en 2008, le volume d'eau alloué aux GPI était de 663 millions m³ provenant des eaux superficielles stockées dans les grands barrages, en 2013. Un nombre de 5 nouveaux périmètres étaient en cours de construction pour atteindre une superficie totale de GPI de 260600 ha en 2014, cependant, seuls 97310 ha ont été réellement irrigués en 2012, soit 42% de la superficie équipée. Cette différence provient pour une part du déficit en eau et de l'autre part de la dégradation des réseaux et des sols.

Le nombre des périmètres est augmenté aux 36 périmètres d'irrigation totalisant d'une superficie totale de 91436,54 ha équipée de 246639 ha, dont 199032 ha irrigables en 2020. Pour mieux apprécier ces superficies (équipée et irrigables), nous avons dressé le tableau qui suit relatif à l'évolution des superficies équipée et irrigable des GPI en Algérie duquel ressort un décalage remarquable entre ces superficies classées équipée et irrigables.

**Tableau 5 : Les superficies irrigable et équipées des GPI en Algérie en 2020(en Ha)
(ONID, 2020)**

Régions	Equipée (ha)	Irrigable (ha)	Total
Oranie	37628	21036	58664
Chellif	86033	74244	160277
Algérois	55623	44824	100447
Constantinois	59695	51989	111684
Sahara	7660	6939	14599
Total	246639	199032	445671

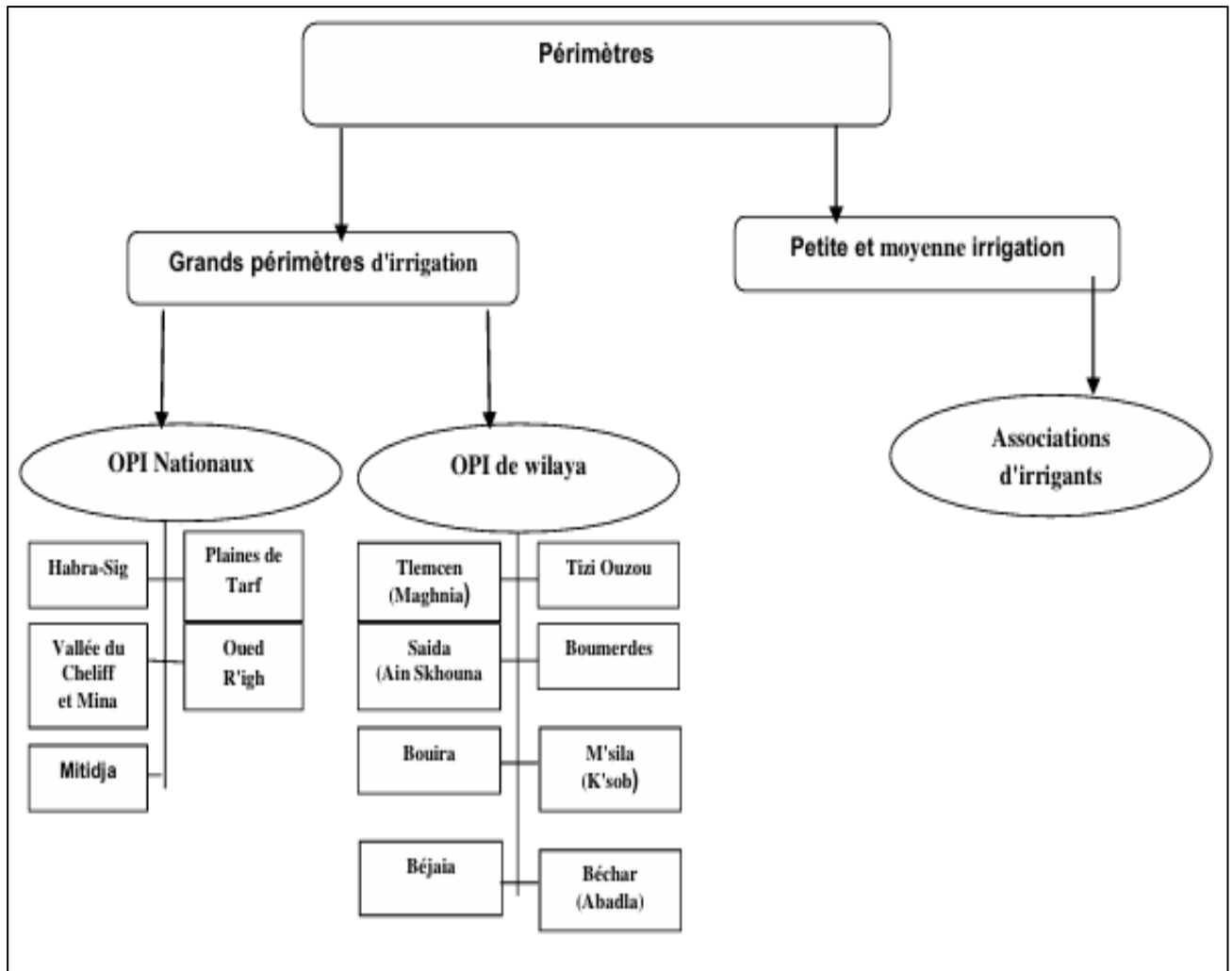


Figure 1 : Organigramme de la gestion des périmètres irrigués (Ipemed, 2013)

2.10.3. Contraintes au développement de l'irrigation en Algérie

En Algérie, le développement de l'irrigation a été freiné par de nombreuses contraintes, si l'on considère que seul 45% du potentiel irrigable est actuellement irrigué. La principale raison de la stagnation constatée reste cependant l'orientation donnée par l'état jusqu'au début des années 80 à des secteurs considérés plus prioritaires que l'agriculture, tels l'industrie, l'énergie. En 1980, les infrastructures d'irrigation existantes n'étaient plus en mesure de fournir de l'eau d'irrigation avec une garantie acceptable pour les raisons suivantes :

- La construction des barrages se faisait à un rythme très lent.
- Les ressources en eau disponibles étaient attribuées, en priorités, aux eaux potables et industrielles.
- Le manque d'entretien et des déficiences de l'exploitation des infrastructures diminuaient l'efficacité des réseaux, qui ont parfois dû être abandonnés.

- L'absence de système d'assainissement et de drainage, jointe au manque de lessivage des sols, ont conduit à des graves problèmes de salinisation (**Locif, 2003**)

Matériel et Méthodes

3.Présentation de la zone d'étude

3.1. Présentation de la wilaya de Mila

La wilaya de Mila s'étend sur une superficie de 3478,4 km² et elle compte 779 300 habitants. Son territoire est constitué par plusieurs entités géographiques (**Soukehal et Cherrad, 2011**). La wilaya de Mila (l'antique Milev), se situe au Nord Est de l'Algérie. Le chef-lieu de la wilaya est distant de 50 km de Constantine, et 33 km de la mer méditerranéenne; de 100 km de Jijel et de 450 km de capital Alger.

La wilaya de Mila est limitée au nord par la wilaya de Jijel, au nord-est par la wilaya de Skikda, à l'ouest par la wilaya de Sétif, à l'est par la wilaya de Constantine, au sud-est par la wilaya d'Oum El Bouaghi et au sud par la wilaya de Batna. La wilaya de Mila a été créé lors du dernier découpage administratif algérien de 1984, avec la ville de MILA comme chef-lieu de la wilaya 43. Elle compte 13 Daïras divisées en 32 communes (**Abdelloua et Boulemzaoud, 2017**).

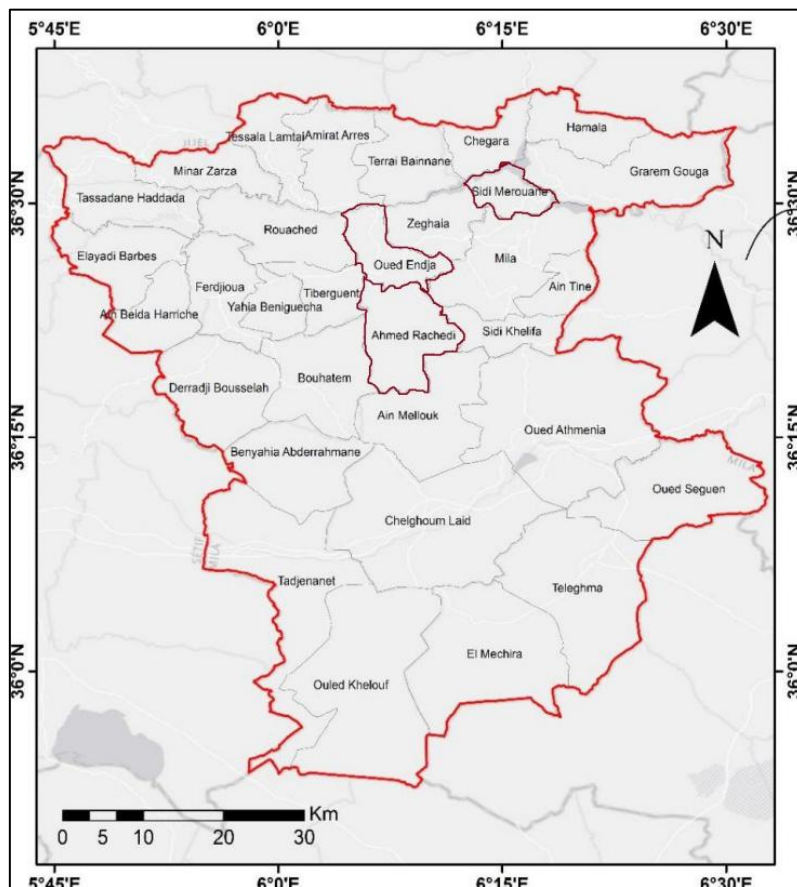


Figure 2 : Situation géographique de la wilaya de Mila (Kadjoudj, 2022)

3.2. Présentation de la ville de Sidi Merouane

La commune de Sidi Merouane couvre une superficie de 33.27 (Km²) abrite une population et de l'ordre 34089 habitants Située au Nord-Ouest du chef-lieu de la Wilaya de Mila, est limitée par :

- Au Nord par La commune de CHIGARA.
- Au Sud par La commune de Mila.
- A l'Ouest par La commune de ZEGHAIA.
- A l'est par La commune de GRAREM GOUGA.

La commune de Sidi Merouane, chef-lieu de daïra issue du dernier découpage administratif est située à 15 Km du chef-lieu de Wilaya Mila.



Figure 3 : Image satellitaire représente les Communes limitrophes de la commune Sidi Merouane, (Labiod et Berrehal, 2016).

3.3. Contexte climatique

La wilaya de Mila est régie par trois microclimats, calqués sur l'agencement des trois grands ensembles morphologiques :

- Humide, pour les reliefs montagneux du Nord et de la partie médiane, qui s'étend de Bou Hatem à Ain Tine ;
- Semi-aride à subhumide, pour la partie médiane de la wilaya.
- Semi-aride, pour les « hautes plaines » (ANDI, 2013).

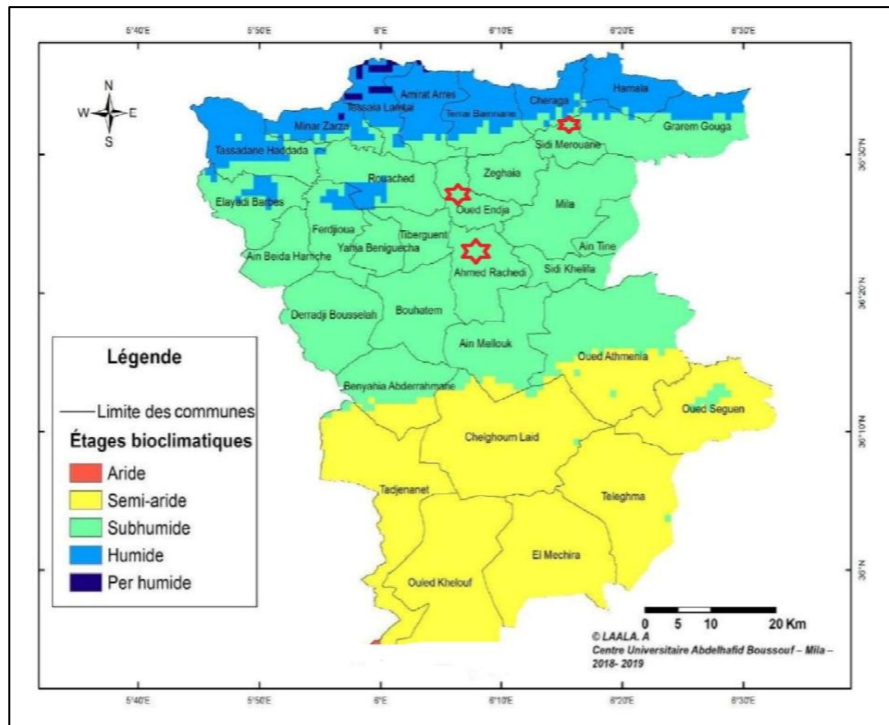


Figure 4 : Etages bioclimatiques de la wilaya de Mila (Laala, 2018).

3.3.1. Précipitation

Les précipitations constituent un facteur climatique très important qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement sur le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes aquifères (ONM, 2017).

Tableau 6 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) (ONM, 2021)

Paramètre	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	sep	Oct	Nov	Dèc
Précipitation (mm)	83	99	96	55	51	25	7	24	32	58	70	73

L'analyse des données recueillies auprès de la station météorologique de Mila, indique que la région d'étude reçoit environ 673 mm de pluie annuellement, Cependant la distribution de cette tranche est irrégulière comme l'indique dans le Tableau (06). Le maximum des pluies est enregistré entre le mois de février et mars. Les mois de juillet et août ne reçoivent que de faibles quantités de pluie (les mois les plus sèches).

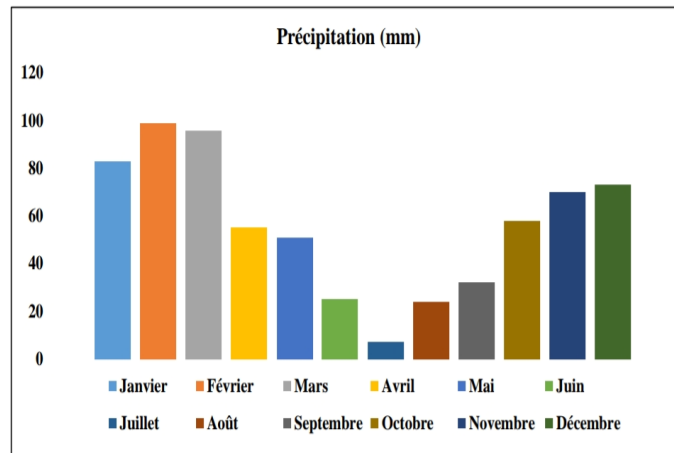


Figure 5 : précipitation (mm) moyenne durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

3.2.2. Température

La température est le degré de la chaleur ou le froid qui règne dans un lieu ou dans l'atmosphère. On mesure la température (en degré Celsius) à l'aide d'un thermomètre enregistreur placé à 1,5 m du sol à l'ombre et à l'abri du vent. La température de l'air varie selon les moments de la journée, l'altitude et les saisons. Elle est l'un des facteurs ayant une grande influence sur le climat et sur le bilan hydrique car elle conditionne l'évaporation et l'évapotranspiration (**Druex, 1980**).

Tableau 7 : paramètre de température durant la période (2010-2020) de la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	sep	Oct	Nov	Dèc
Mini (°C)	5	4,7	6,5	8,8	11,7	16,3	20,6	20,2	15,8	13,6	9,4	5,8
Max (°C)	13,5	13,8	16,2	20,3	14,1	30,7	34,8	34,5	29,3	23,9	17,4	13,6
Moy (°C)	8,9	9	11,3	14,5	17,7	23,4	28,6	26,3	22,3	18,7	13,2	9,7

Comme la montre dans le Tableau (07), les températures mensuelles de la zone d'étude atteignent leur minimal au mois de février avec une valeur d'ordre de 4,7 °C par contre la valeur maximale marquée au mois de juillet 34.8 C° durant la période (2010-2020).

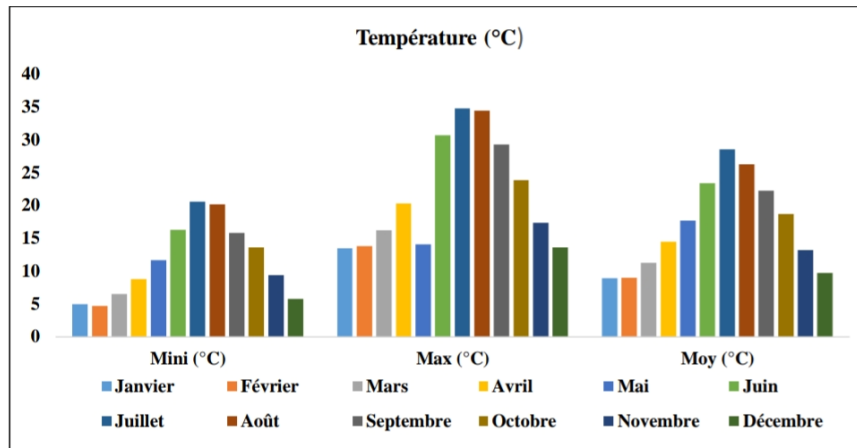


Figure 6 : variation de température durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

3.3.3. Vent :

Le vent est un facteur climatique très important, car il joue un rôle fondamental dans le transport, la propagation et la dissémination des polluants de différentes tailles vu ses caractéristiques de direction et de force (Melghit ,2009).

Tableau 8 : variation de force moyenne de vent durant la période (2010-2020) de la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	sep	Oct	Nov	Dèc
vent (m/s)	21	22	18	18	17	16	17	21	22	20	23	20

Les données du vent enregistrées dans la station d'Ain Tine pour la période de 2010 à 2020 Tableau (08), montrent que la vitesse du vent atteint son maximum en novembre avec 23 m/s et son minimum en juin avec une force de 16 m/s. Toutefois, on a remarqué que les vitesses du vent sont approximativement homogènes pendant les autres mois.

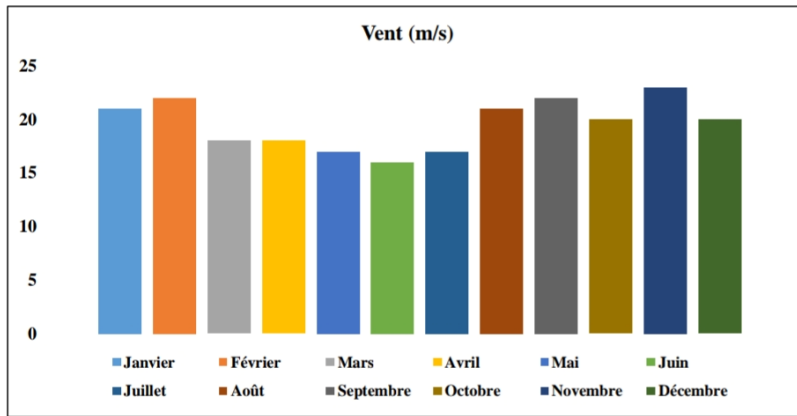


Figure 7 : variation de la force moyenne de vent durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

3.3.4. Humidité

C'est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau dans un volume d'air donné et la quantité de vapeur d'eau qui pourrait exister dans le même volume à la même température. Cela dépend de plusieurs facteurs climatiques tels que les précipitations, la température et le vent (Beldi, 2022).

Tableau 9 : taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) dans la région d'étude (ONM, 2021).

Paramètre	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	sep	Oct	Nov	Dèc
Humidité (%)	74	76	72	70	63	54	43	49	64	66	73	76

On a observé dans la figure que le taux d'humidité dans la région d'étude peut aller jusqu'à 76 % dans le mois de décembre et février, par contre la valeur minimale est observée au mois de juillet 43 %.

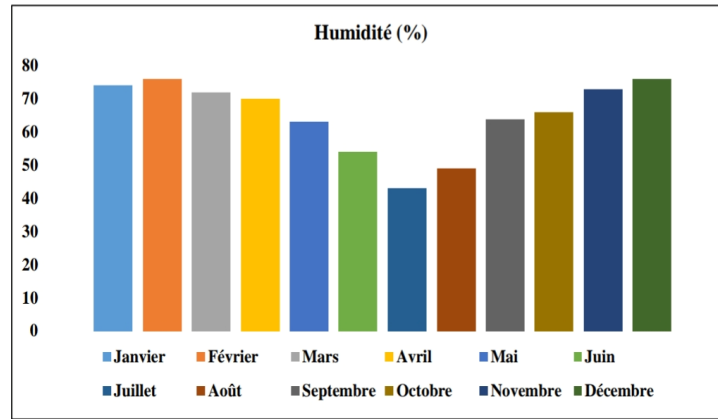


Figure 8 : variation de taux moyenne d'humidité durant la période (2010-2020) (ONM, 2021).

3.3.5. Les sources de Contamination dans la zone d'étude

La région de Sidi Marouane, située dans la wilaya de Mila, fait partie du bassin du barrage de Beni Haroun, l'un des plus grands barrages d'Algérie. Cette zone est confrontée à plusieurs sources de pollution qui affectent l'environnement local, notamment :

3.3.5.1. Eaux usées

Les eaux usées des stations d'épuration des agglomérations voisines (telles qu'Anuche Ali, Essibari et Sidi Marouane) sont dirigées vers la station de Sidi Marouane, puis vers la station principale de Mila avant de se déverser dans l'oued. En cas de dysfonctionnement ou de fuite, ces eaux non traitées peuvent s'infiltrer dans l'environnement, polluant ainsi le sol et les ressources en eau.

3.3.5.2. Déchets solides et débris de construction

De grandes quantités d'ordures ménagères et de gravats sont accumulées sur les berges du barrage et dans les zones environnantes. Ces déchets, qui incluent des sacs plastiques, des bouteilles et des résidus de construction, sont souvent jetés de manière anarchique par certains habitants ou visiteurs, causant ainsi une pollution visuelle et environnementale.

3.3.5.3. Activités agricoles non réglementées

Certains habitants pratiquent des activités agricoles près des berges du barrage, utilisant souvent des engrais et des pesticides de manière excessive. Ces produits chimiques peuvent s'infiltrer dans l'eau du barrage, dégradant ainsi sa qualité et menaçant la faune aquatique.

3.4. Géologie

Le bassin de Mila appartient au domaine externe de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale qui est rattachée à la branche sud des maghrébines entre le détroit de Gibraltar à l'ouest et la Sicile et la Calabre à l'est.

La partie nord orientale de cette branche est généralement subdivisée en deux grands domaines qui sont : un domaine interne regroupant le socle kabyle, les formations des flysch et un domaine externe correspondant aux formations telliennes et de l'avant pays (**Atmania, 2010**).

3.5. Hydrologie

La wilaya abrite un important réseau hydrographique composé de rivières et de barrages : le plus grand barrage d'eau au niveau national barrage de Béni-Haroun.

Ce barrage, dont la mise en eau date de 2003, est doté d'une capacité initiale de 960 Hm³, sa capacité actuelle est de 795 Hm³ et destiné compte tenu de sa vocation régionale, l'alimentation en eau potable et à l'irrigation de plusieurs wilayas comme Constantine, Khenchela, Oum El Bouaghi, Batna, Jijel et Mila (Commune de Sidi Marouane). Barrage d'oued el Athmania, et barrage d'Oued Seguène. Les oueds Rhumel et oued Nadja (oued El-Kebir) sont les principales sources d'alimentation du barrage de Béni Haroun (**Abid, 2014**).

4. Matériel et méthodes

4.1. Définition d'une station d'épuration

Une station d'épuration est une installation de plusieurs dispositifs et de procédés bien spécifique, chaque procédé a pour rôle d'éliminer ou de diminuer le taux d'un polluant présent dans l'eau usée. Elle est généralement placée à l'extrémité d'un réseau de collecte à l'amont d'un milieu naturel bleu, tel un lac. Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées qu'elles soient d'origines industrielles ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme afin d'éviter la pollution de l'environnement et la transmission des maladies hydriques (**kardache, 2016**)

4.2. Installation d'une station d'épuration

Une station d'épuration est installée généralement à l'extrémité d'un réseau de collecte, sur l'émissaire principal, juste en amont de la sortie des eaux vers le milieu naturel. Elle rassemble une succession de dispositifs.

La station d'épuration reste un outil fondamental pour la protection des milieux naturels. La valorisation de l'image de la station passe par un ensemble de dispositions qui sont à prendre en considération dès l'élaboration du projet en commençant par le choix de l'emplacement du site (**Lahzaoula S et al., 2019**).

A cet égard, quelques règles doivent être rappelées :

- Éviter les zones inondables entraînant parfois des dysfonctionnements pendant de longues périodes ; sinon veiller à mettre les équipements électriques hors d'eau,
- Éviter de construire à proximité d'habitations, de zones d'activités diverses (sportives, touristiques, industrielles, ...). Dans la pratique, et pour éviter tout contentieux avec le voisinage, on réserve une distance minimale de 200 m en tenant compte de la dominance des vents (si possible) ;
- S'éloigner le plus possible des zones de captage même si le périmètre de protection est respecté ;
- Réaliser des études géotechniques (vérification de l'imperméabilité par exemple pour un lagunage). La portance du sol (tenue des ouvrages et des canalisations de liaison) et les qualités de sol conditionnent beaucoup le coût du génie civil.
- Prendre des précautions particulières lorsqu'un aquifère se situe à faible profondeur (clapets en fond de bassins, ...) ;
- Ne pas implanter les ouvrages dans les zones plantées d'arbres à feuilles caduques (lit bactérien, lagunage, bassin d'aération, ...)

Penser aux extensions ou aux aménagements futurs (disponibilité et réservations de terrains) (**Pronost J et al., 2002**).

4.3. Présentation de la STEP de Sidi Merouane

La station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane est située à 12 km au Nord-est de la wilaya de Mila, dans la commune de Sidi Merouane, côté Sud de Barrage de Beni Haroun. Elle s'étend sur une superficie de 13 ha. Celle-ci reçoit les eaux usées de Mila, Grarem, Ferdjioua, Sidi-Merouane, Ras-El-Bir, Annouche Ali, Sibari 1 et Sibari 2. Les eaux

traitées sont déversées dans la cuvette du barrage, puis acheminées vers la station de traitement des eaux potables. Enfin distribués vers les agglomérations populaires (**Bouchair et Bouafia, 2017**).

Cette station d'épuration réalisée pour atténuer la pollution du lac du barrage de Beni Haroun, et particulièrement au niveau du lac du barrage qui reçoit les eaux de l'oued Rhumel et oued Endja, la station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane, première d'une série de trois programmées dans ce bassin versant, a été réceptionnée l'an 2009 par l'ONA, maître de l'ouvrage. Réalisée par GCB (une filiale de Sonatrach spécialisée en génie civil et bâtiment) sous la houlette d'un directeur de projet qui était à cheval pour la bonne exécution des travaux, et OTV (une entreprise française chargée de l'équipement), Cette station dont la capacité d'épuration est de 20657 m³/j ou 137000 équivalents habitant.

La filière de traitement se fera par un procédé de boues activées à faible charge (aération prolongée) avec un traitement de l'azote et du phosphore. La qualité rejetée sera conforme aux standards internationaux, à savoir inférieure à 30 mg/l pour la DBO, inférieure à 30 mg/l pour les MES, inférieur à 90 mg/l pour la DCO, inférieure ou égale à 10 mg/l pour l'azote et 50 à 80% (selon les saisons) pour le phosphore total (**Lehchilli, 2016**).



Figure 9 : Localisation de la station de Sidi Merouane dans la wilaya de Mila (O.N.A, 2014).

Tableau 10 : Données techniques de la STEP de Sidi Merouane (Amira, 2014)

Nom de la station	STEP de Sidi Merouane
Wilaya	Mila
Milieu récepteur	Barrage de béni Haroun
Date de mise en service	20 Juillet 2009
Date de transfert de la station à l'ONA	20 Juillet 2011
Localité concernée par le traitement	Mila ; Grarem Gouga et Sidi Merouane
Nature des eaux brutes	Urbaines
Capacité de la station	20650 m ³ /J
Superficie de STEP	13 hectares
Groupement de réalisation - Génie civil – Equipements	GCB – OTV
Le dispositif d'assainissement de la ville	Unitaire
Système d'épuration	Boue activée ; Faible charge
Alimentation en eau usée	Par pompage Gravitaire (Ras el bir)
Equivalent. Habitant	137 000 EQH
Volume journalier	20 650 m ³ /j

4.4. Objectif de la station d'épuration

La réalisation de la station d'épuration de la commune de Sidi Merouane destinée à épurer les eaux usées rejetées juste en amont du barrage Béni Haroun en vue de pallier aux problèmes de pollution du milieu récepteur.

L'objectif essentiel de cette station est de protéger le barrage de Béni Haroun contre le phénomène de pollution.

5. Les différents traitements réalisés dans la station étudiée

5.1. Les grandes étapes de traitement des eaux usées

Dans une station d'épuration, les eaux usées subissent plusieurs traitements pour éviter des problèmes d'environnement et de santé publique. Il existe plusieurs filières avec différents types de traitement, mais le choix des procédés de traitement doit être adéquat du point de vue climatique, des applications attendues et du coût d'investissement. On distingue les procédés intensifs dont les boues activées, les disques biologiques, les lits bactériens, et les procédés extensifs dont le lagunage (**Raven, 2009**).

5.1.1. Les prétraitements :

La première étape du traitement consiste à débarrasser les effluents de tout élément susceptible (de taille comprise entre 0,1 et 50 mm) de gêner le fonctionnement des ouvrages (**Grosclaude, 1999**). Ils font appel :

- À des procédés mécaniques, comme des grilles ou des tamis, pour éliminer des grosses particules transportées par les eaux.
- À des procédés physiques, comme des phénomènes de décantation pour éliminer les sables, ou de flottation pour éliminer les graisses (matières grasses) (**Rejsek, 2002**).

5.1.1.1. Poste de relevage :

Le débit de pointe à relever sur ce poste est de 1892 m³/h en première phase, soit 92% du débit total de temps de pluie. Les pompes du poste de relèvement, dont un est installé en secours, sont toutes équipées de variateurs de fréquence. Ceci assure un fonctionnement régulier et sans coups de bélier hydraulique. Ce poste de relèvement est dimensionné pour recevoir une pompe supplémentaire en deuxième phase pour absorber le débit prévu pour l'horizon 2030. Le poste de relèvement est équipé d'un déversoir de trop plein permettant de passer directement les eaux vers le rejet des eaux brutes non relevées.



Figure 10 : Poste de relevage (STEP, Sidi Merouane)

Tableau 11 : Description des équipements poste de relevage (Lehchilli et al., 2016).

Nombre de pompe	3 (2+1 secours installé)
Type de pompe Centrifuge	Centrifuge, immergée
Débit unitaire nominal	946 m ³ /h
HMT	20 Mce
Puissance unitaire installée	75 KW, 3 pompes équipées d'un variateur de fréquence.

A. Le dégrillage :

C'est le premier poste de traitement, situé à l'arrivée des eaux usées. Il a pour but de retenir les déchets solides et volumineux (papier, feuilles, objet divers), charriés par l'eau brute, insensibles au traitement biologique et nuisibles pour les installations situées en aval (pompes, conduites). L'effluent passe pour cela entre les barreaux métalliques d'une grille dont le nettoyage se fait soit automatiquement soit manuellement (Devillers, 2005).

✓ Dégrilleur grossier :

Les dégrilleurs grossiers, l'un à fonctionnement automatique et l'autre manuel, sont placés à l'entrée du poste de relèvement des eaux brutes (figure 11) Ils permettent de débarrasser les effluents des déchets de taille supérieure à 40 cm (Bouchair et Bouafia, 2017).

La STEP est dotée de deux dégrilleurs grossiers, un automatique et un manuel à l'entrée du poste de relèvement des eaux brutes, le dégrilleur automatique est asservi au fonctionnement des pompes, couplé à une détection de niveau.

Tableau 12 : Description des équipements Dégrillage grossier

Volume bêche	54 m ³
Nombre de dégrilleurs	1+1 secours manuel installé
Espace entre les barreaux (entrefer)	40 mm
Largeur de canaux	1.2 m
Débit unitaire maximale admissible	2836 m ³
Vitesse de circulation	0.7 m/s
Dispositif de stockage des refus	2 bennes 1 m ³

✓ **Les grilles manuelles :**

Elles sont composées de barreaux droits de section circulaire ou rectangulaire. Ces grilles sont généralement réservées aux très petites installations d'épurations. Le nettoyage s'effectue manuellement à l'aide d'un râteau (Melloul, 2013).



Figure 11 : dégrilleur manuelle (STEP, Sidi Merouane).

✓ **Les grilles mécaniques :**

Elles sont indispensables à partir d'une certaine taille de station d'épuration (**Attab, 2011**).



Figure 12 : dégrilleur mécanique (STEP, Sidi Marouane).

✓ **Le dégrillage fin :**

Les dégrilleurs fins protègent les installations de la station des déchets supérieure à 6 mm. Il y a deux dégrilleurs fins automatiques placés en parallèle et une troisième file est équipée d'une grille.

Manuelle pour assurer le secours en cas de panne de l'un des deux grilleurs. Chaque canal peut être isolé en amont et aval par batardeaux. Les refus de dégrillage sont repris automatiquement par transporteuses pour alimenter un compacteur à déchets de types haute pression. Après le relevage de l'eau par quatre pompes ($1000 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chacune), il passe par deux grilles à câble composées de barreaux placés verticalement ou inclinés à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux est de 20 mm, la vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s (**Satin, 1999**).



Figure 13 : dégrilleur fin (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 13 : Description des équipements Dégrillage fin.

Nombre de dégrilleurs	2 dégrilleur automatique+1 secours
Espace entre les barreaux (entrefer)	15 mm
Largeur de canaux	0,8 m
Débit maximale	2055 m ³
Vitesse de circulation	0,7 m/s
Ange d'inclinaison	75°
Contenais	2×15 m

✓ **Comptage des effluents**

Un comptage des effluents admis dans la station est réalisé en aval du dégrillage dans un canal venture. Le niveau est mesuré par ultrason. Un préleveur automatique d'échantillon de réfrigéré permet de contrôler la qualité des eaux à l'entrée et à la sortie de la station. Un by-pass de la station est possible en amont du dégrilleur ou sortie du dessablage /désuilage (OCDE, 1982).

Tableau 14 : Caractéristiques de comptage des effluents (Mezili et Achour, 2017)

Type de canal de comptage	Venturi en canal ouvert pour mesure par sonde ultrasonique
Construction	Polyester
Débit nominal	3100 m ³ /h

5.1.1.2. Dessablage/déshuilage

A. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autre particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, l'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessabler » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, sa dégradation provoquant des odeurs et une instabilité mécanique des matériaux (Khemici, 2014).

B. Déshuilage

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface. Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations (Lacroix, 2008).



Figure 14 : dessableur/déshuileur de la (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 15 : Description des équipements Dessablage-déshuilage.

Nombre de ligne	2 en service +1 en secours
Type racleur	Pont automoteur
Largeur de canaux 4 m	4 m
Temps de séjour	18 min
Vitesse de circulation	0,7 m/s
Débit moyenne par ouvrage	528 m ³ /h
Vitesse de décantation moyenne	129, m/h

5.1.2. Traitement biologique des matières organiques :

Le traitement requis est un traitement par boue activée faible charge, travaillant en nitrification -dénitrification, associée à une déphosphatation biologique. Enfin pour une fiabilité maximale et une grande souplesse d'exploitation, le traitement biologique (boue activée +clarification) est constitué par deux files parallèles et isolable l'une de l'autre.

Chaque bassin biologique est constitué de trois zones : (Zone anoxie amont ; Zone anaérobie et Chenal où se succèdent des zones anoxies et aérées) (**Belahmadi, 2011**).



Figure 15 : Bassin biologique (STEP, Sidi Merouane).

5.1.2.1 Zone anoxie amont

La cuve spécifique placée en tête de traitement permet la mise en contact de la boue de recirculation avec une forte charge polluante, ce qui permet de jouer localement sur la composition en substrat du milieu et assurer une sélection bactérienne limitant le développement des filamenteuses. Cette zone non aérée permet d'éliminer les nitrates et de garantir une zone anaérobie stricte dans la deuxième zone (**Bouchouareb, 2015**).



Figure 16 : zone anoxie amont du bassin biologique (STEP, Sidi Merouane).

5.1.2.2. Zone anaérobie

Si les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, en milieu réducteur. Le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de CO_2 , méthane et biomasse. Ce type de traitement appelé « digestion anaérobie » n'est utilisé que pour des effluents très concentré en pollution carbonées, de type industriel (basserie, sucrerie, conserverie ...). Dans cette zone ou s'accroît, les réacteurs biologiques permettent un temps de contact suffisant entre les effluents et les bactéries, il est possible d'atteindre un second degré de traitement : la nitrification. Il s'agit de l'oxydation de l'ammoniaque en nitrite, puis en nitrate par des bactéries nitrifiantes. L'ammoniaque est un poison pour la faune piscicole. Les bactéries nitrifiantes sont autotrophes (elles fixent elles-mêmes le carbone nécessaire à la croissance dont le CO_2 de l'air) (Gaid, 1993).



Figure 17 : zone anaérobie du bassin biologique (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 16 : Caractéristiques de la zone anaérobie.

Forme	Rectangulaire
Volume	1550+2550 m ³
Nombre d'agitateur	4
Concentration O₂	2-4 mg/l

5.1.2.3. Chenal avec zone anoxie et aérée

A. Zone anoxie dans le chenal

La dénitrification est faite par circulation de liqueur mixte à l'intérieur du chenal, à l'aide des agitateurs lents du type « Pale banane ». Cette configuration combinée aux alternances de phase aérée et non aérée développe des conditions anoxiques propices à la dénitrification, dite simultanée à l'aération (**Belhmadi, 2011**).

B. Zone aérée dans le chenal

En présence d'oxygène, il y a oxydation de la pollution carbonée, nitrification et accumulation de phosphore dans les cellules bactériennes. L'aération est assurée par des diffuseurs « fines bulles » goutables, placés en fond de bassin, associé à une agitation. Ce processus est effectué dans chaque chenal. La hauteur d'eau permet de bénéficier d'un bon rendement de dissolution de l'oxygène, a fortiori avec une circulation générale de la liqueur mixte, grâce aux agitateurs lents. La production d'air est assurée par cinq (05) compresseurs (dont 1 de secours) pour l'ensemble des deux chenaux (**Ben Chehem, 2014**).



Figure 18 : Zone aérée dans le chenal (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 17 : Description des équipements dans la zone aérée (Mezili et Achour, 2017)

Nombre	2 (1 par file)
Volume total	21900 m ³
Nombre agitateur	4 (2 par fille)
Surpresseur d'air	5 (4+1 de secoure installer)

5.1.2.4. Le dégazage

La station est munie d'un dégazeur en béton armé de forme circulaire et d'une capacité de 45 m³. Ce dernier recueille les flottants à la sortie des bassins d'aération pour qu'ils soient raclés et envoyés vers la bache en graisse du prétraitement. A chaque épuration, il y'a une formation de quelques types de gaz dont le rôle est d'éliminer le maximum des résidus même les gaz purs. Ainsi le dégazeur assure le dégazage et recueille les flottants de la liqueur mixte issue et parmi ces gazes il y'à le méthane et l'azote. Une goulotte placée sous la surface de dégazage permet la récupération des flottants lors du passage du racleur circulaire placés en surface de l'ouvrage (**Bouchair et Bouafia, 2017**).



Figure 19 : dégazeur (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 18 : Description des équipements Dégrillage grossier.

Nombre	1
Forme	Circulaire
Volume	450 m ³
Diamètre	9 m
Profondeur	8 m

5.1.2.5. La clarification et la recirculation des boues

A. Clarification :

La clarification des eaux s'effectue dans deux ouvrages indépendants. La liqueur mixte issue du traitement biologique est envoyée gravitaire vers les clarificateurs après dégazage (Figure) (Rejsek, 2002).



Figure 20 : Clarificateur (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 19 : Caractéristique de clarificateur.

Nombre de clarificateurs	2
Type (La forme)	Circulaire
Volume	5323 m ³
Diamètre	44 m
Temps de séjour	4,8 h
Hauteur d'eau	35, m

B. Recirculation des boues :

Les boues soutirées sont envoyées via le fuit central de chaque ouvrage vers le puits à boues et sont recerclées par des pompes vers le bassin biologique afin de réensemencer en permanence en boues. D'autre part les boues en excès sont envoyées vers le poste d'épaississement des boues (Figure 17) (Rejsek, 2002).



Figure 21 : la boue recirculée (STEP, Sidi Merouane).

Tableau 20 : Description de l'équipement de recirculation et extraction des boues.

Types	Pompes centrifuges immergée
Nombre	6 (4+2 secoure installer)
HMT	5 Mce
Débit unitaire	551 m ³ /h
Puissance unitaire	12,5 KW

5.1.2.6. Déshydratation des boues

A. Table d'égouttage :

Les boues sont extraites depuis les bâches de recirculation par quatre pompes dont deux en secours alimentant tables d'égouttage.



Figure 22 : Table d'égouttage (photo personnelle)

B. Filtres à bandes :

Ces filtres consistent en 2 bandes tendues par des rouleaux qui leur permettent d'envelopper la boue en une couche homogène pour la déshydrater sous l'action de la pression d'écrasement.



Figure 23 : Filtre à bandes-boues déshydratées (photos personnelle) (Belahmadi, 2011)

Tableau 21 : Description des équipements des filtres à bandes

Nombre d'unité	2
Largeur de bandes	2 m
Caractéristique de fonctionnement	7 j/semaine -8 h/j
Siccité en sortie	18 %

5.1.2.7. Séchages des boues

A. Lits de séchage :

Est une opération unitaire du traitement des boues consistant à évaporer l'eau dans les boues traitées (Amorce, 2012). Les boues déshydratées sont dirigées vers une benne de reprise remorquée par un tracteur par tapis transporteurs pour être épandues sur des lits de séchage (Figure 20).



Figure 24 : lits de séchage (photos personnelle).

Tableau 22 : Caractéristiques des lits de séchage des boues (Mezili et Achour, 2017).

Surface totale	4000 m ²
Surface d'un lit	500 m ²
Temps de séchage hivernal	Temps de séchage hivernal 3 semaines
Temps de séchage estival 2 semaines	Temps de séchage estival 2 semaines
Réseau de drainage Evacuation périphérique	Réseau de drainage Evacuation périphérique

B. Aire de stockage :

Les boues séchées régulièrement et stockées jusqu'à 06 mois dans une aire couverte placée à proximité des lits et de la voirie. Le curage est facilité par le choix d'un revêtement en dur (Figure 23) (Belahmadi, 2011).



Figure 25 : Aire de stockage des boues séchées (photo personnelle).

Tableau 23 : Caractéristiques d'aire de stockage (Mezili et Achour, 2017).

Surface totale	1300 m ²
Volume de stockage	2931 m ³
Revanche de mur	3 m
Hauteur moyenne des boues	2,25 m

5.1.3. Poste toutes eaux

Ce poste reçoit des retours internes d'origines diverses :

- Eau du classificateur à sable
- Égouttures ou eaux de lavage issues des dérailleurs et du compacteur
- Eaux de nettoyage (sols, tuyauteries...)
- Filtrats des tables d'égouttages.

Les égouttures sont collectées par un réseau de regard et de canalisation gravitaire. La poste toutes eaux est équipée de trois pompes de relèvement dont un en secours installé et de capture de niveau pour leur asservissement. Les retours issus du poste toutes eaux doivent être envoyés à l'amont des dessableurs (**Andreozzi, 2003**).

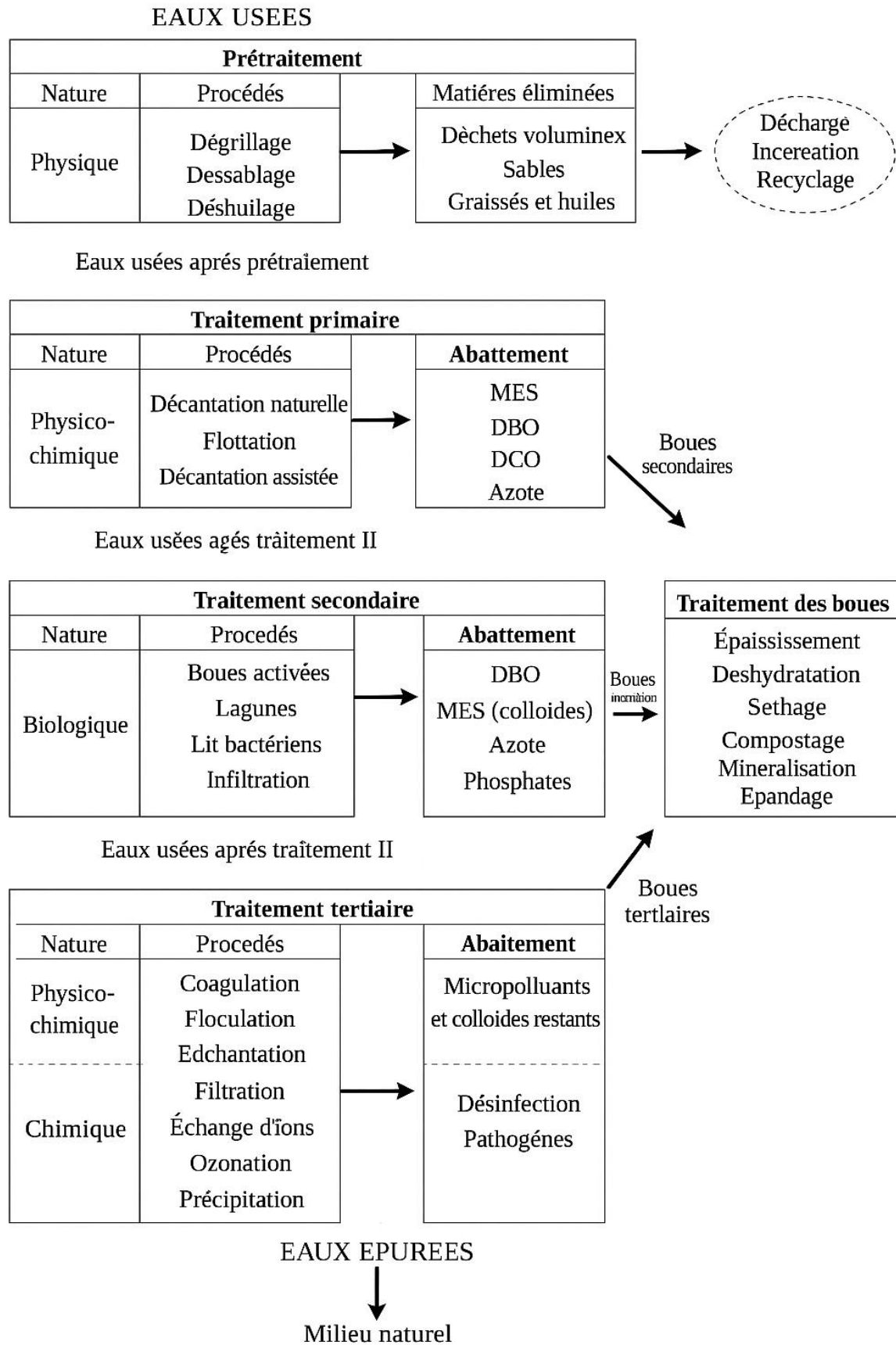


Figure 26 : Etapes d'une filière de traitement des eaux (Hadj-Sadok, 1999)

5.2. Salle de supervision

D'après (Amorce, 2012), l'état de fonctionnement de chaque équipement sera signalé par trois voyants (vert, rouge et jaune) :

- La couleur verte continue signale l'état de marche.
- La couleur jaune clignotante rapide signale l'état de défaut.
- La couleur jaune clignotante lent signale l'état de défaut après acquittement alarme sonore
- La couleur rouge continue signale l'acquittement du défaut ou machine à l'arrêt.
- Les alarmes spécifiques de certaines sécurités, telles que d'urgence ou autres seront visuellement signalées par voyant monocolore.
- L'état clignotant avec alarme sonore.
- L'état fixe après acquittement alarme sonore
- L'état après acquittement de l'alarme visuelle et la suppression de l'origine de l'alarme.

Une armoire d'automate maître sera installée dans la salle de commande composée, essentiellement d'un onduleur de puissance 1200 VA, une alimentation de 24 V DC, une sirène et un automate programmable.

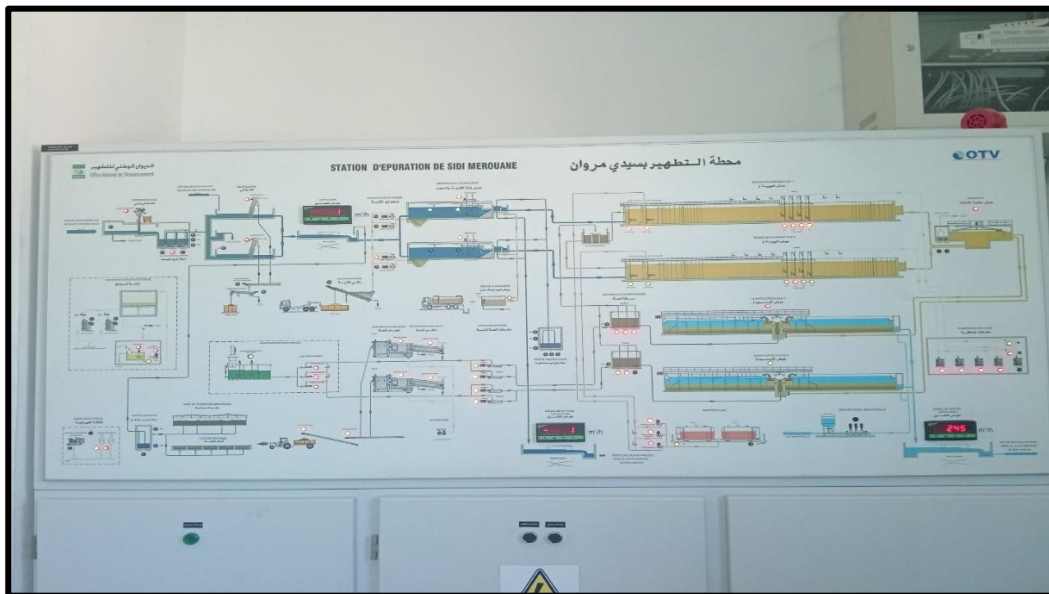


Figure 27 : sale de supervision (STEP, Sidi Merouane)

5.3. La désodorisation biologique

Pour éviter les nuisances à l'extérieur de la station l'air vicié et collecté est orienté vers une unité de désodorisation avant rejeté.

Pour garantir un bon rendement d'élimination de polluant (Principe ment H_2S , NH_3^- ...), la station de Sidi Merouane applique le procédé ALIZAR de bio-désodorisation autotrophe. D'une façon générale, on peut distinguer deux étapes dans le fonctionnement d'un lit autotrophes ALIZAR, qui est un bioréacteur à circulation d'air garni d'un matériau minéral biogène. Le flux de l'air à traiter est ascendant. Un plancher perforé soutient le matériau permettant à l'air de s'infiltrer uniformément et à l'eau d'arrosage de s'écouler (**Bedouh, 2014**).



Figure 28 : le ventilateur de la désodorisation biologique (STEP, Sidi Merouane).

5.4. Analyses réalisées au niveau du laboratoire

Le laboratoire de STEP, est constitué par un matériel spécialisé d'analyse et de dosage d'un ensemble de paramètres physico-chimiques, à savoir : la Température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité, la décantabilité des boues, les MVS, les MES, la DCO, la DBO₅, le nitrate, le nitrite, l'azote de kjeldahl (**Baumont, 2005**) ; nécessaires pour la caractérisation et l'évaluation du degré de pollution des eaux usées brutes et celles épurées, ainsi que, le traitement des boues.



Figure 29 : Laboratoire (STEP, Sidi Merouane)

6. L'Echantillonnage

6.1 L'échantillonnage de l'eau

L'étape de prélèvement constitue l'une des plus importantes étapes dans l'étude des eaux car, elle influence directement la qualité des résultats analytiques. Des précautions nécessaires doivent être prises afin de collecter un échantillon représentatif, aussi pour minimiser les risques associés à la contamination de l'échantillon (**Rodier, 2005**).

Pour évaluer la qualité physique et chimique de l'eau d'irrigation, Nous avons choisi la station d'épuration de Sidi Marouane pour effectuer des prélèvements d'eau usée épurée une fois par mois pendant cinq (5) mois durant la période s'étendant du Janvier 2025 au Mai 2025.

6.2. Choix des points de prélèvement :

Ont été choisis, pour faire des analyses physico-chimiques d'eau usée épurée Un point sorti de la STEP (sortie de clarificateur). Pour les prélèvements destinés à l'analyse physico-chimique, ils sont réalisés dans des flacons en plastiques en polyéthylène, En utilisant un préleveur manuel de 2 à 3 m. Nous signalons que les analyses des paramètres physico chimiques sont ramenées de la STEP de Sidi Merouane ont été effectuées au laboratoire local de la STEP.



Figure 30 : L'échantillonnage des eaux usées épurées

6.3. Laboratoire :

Le laboratoire de la STEP de Sidi Merouane est équipé de divers instruments pour réaliser.

Les mesures physico-chimiques nécessaires pour connaître la qualité de l'eau et l'efficacité d'épuration.

- Les analyses sont assurées par le matériel détaillé ci-après :
- Spectrophotomètre 400-800 nm (matériel commun à l'analyse de l'azote et du Phosphore et DCO)
- Réacteur DCO
- Thermo réacteur
- Agitateur magnétique
- Oxymétrie
- Centrifugeuse
- Dessiccateur
- Balance de précision
- PH mètre portable
- PH mètre poste fixe
- Conductimètre portable
- Four à moufle
- Thermomètres
- L'étuve
- Imhoff

- Incubateur DBO
- Pipette graduées 1ml, 2ml, 10ml (de chaque)
- Pipette graduées 25ml, 50ml, 100ml (de chaque)
- Pipette jaugée à un trait (2ml, 5ml, 10ml, 25ml, 50ml, 100ml, 200ml) (de chaque)
- Pisteurs manuels
- Bêchers 400ml, 600ml, 1000ml (de chaque)
- Minuteur de table 60min
- Eprouvette verre et plastique
- Flacon plastique

6.4. Détermination de la qualité physico-chimique de l'eau :

Les paramètres physico-chimiques analysées sont présentes dans le tableau (24) :

Tableau 24 : Méthodes d'analyse des différents paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Unité	Méthode
PH	/	Par PH mètre
Température	°C	Par Electrode de température
Conductivité	µS/cm	Par Conductimètre
DBO ₅	Mg /l	Par OXITOP
DCO	Mg/l	Par Dichromate/H ₂ SO ₄
N-NH ₃	Mg/l	Par Digestion au persulfate
N-NO ₂ ⁻	Mg/l	Par Acide Sulfanilique/Naphthylamine
N-NO ₃ ⁻	Mg/l	Par Acide chromotropique
PO ₄ ³⁻	Mg/l	Par Digestion Acide/Acide Ascorbique

7. Protocoles D'analyses

7.1. Mesure de la température (T°) :

Température c'est un paramètre physique important pour la détermination des processus chimiques et biologique au sien d'un cours d'eau. Elle joue un rôle dans la solubilité des gaz, la dissociation des sels dissouts, et la détermination du pH cela pour connaitre l'origine de l'eau (**Ghazali, 2013**). La palatabilité, la viscosité, la solubilité, les odeurs et les réactions chimiques sont influencées par la température Ainsi, les processus de sédimentation et de chloration et la demande biologique en oxygène (DBO) dépendent de la température. Elle affecte également le processus de bio sorption des métaux lourds dissous dans l'eau. La plupart des gens trouvent que l'eau à des températures de 10-15°C est la plus agréable à boire (**Omar, 2019**).

A. Principe :

Il est important de connaître la température de l'eau avec précision, en effet celle-ci Joue un rôle important dans la solubilité des sels dans l'eau, et surtout des gaz dans la Dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique de l'eau en réglant le bouton sur la température.

B. Mode opératoire :

La mesure de la température est effectuée sur le terrain, on utilise souvent dans ce but un thermomètre ou un multi paramètres. La lecture est faite après une immersion de 10 Minutes.

7.2. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH de l'eau est une mesure du degré d'acidité ou de basicité de l'eau. L'eau acide contient des ions hydrogène (H^{+}) supplémentaires et l'eau basique contient des ions hydroxyles (OH^{-}) supplémentaires (**Alley, 2007**). Le pH varie de 0 à 14, et 7 est considéré comme neutre. Un pH inférieur à 7 indique une acidité, tandis qu'un pH supérieur à 7 indique une solution basique (**Omar, 2019**).

- Le pH d'une eau naturelle est compris généralement entre 6 et 8.

- Le pH d'une eau neutre correspond à une concentration d'ions H^+ de 10^{-7} .

A. Principe :

La mesure du PH s'effectue au moyen d'un couple électrode de verre, électrode de Référence plongeant dans le liquide à mesurer, la pile ainsi formée est caractérisée par une Différence de potentielle fonction du pH de la solution.

B. Mode opératoire :

- Procède d'abord à l'étalonnage du dispositif de mesure en plaçant l'électrode de Verre et l'électrode de référence dans la solution étalon.
- Faire la mesure du pH à l'abri de l'air pour les eaux non tamponnées ou susceptibles
- De se modifier au contact de l'air pour les eaux suffisamment tamponnées.

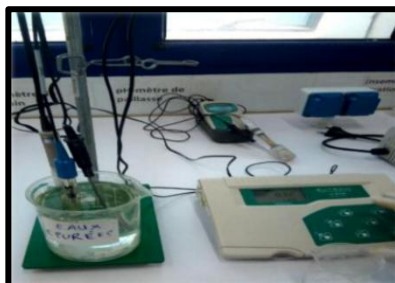


Figure 31 : Mesure de pH

C. Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en unités de pH, à la température de référence de 20°C.

7.3. La conductivité électrique (CE) :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations (**Rejsek, 2002**).

A. Principe :

L'eau est légèrement conductrice, la mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous.

B. Mode opératoire :

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductivimètre de terrain Équipé d'un dispositif de régulation ou de compensation de température qui permet une Lecture directe à la température de référence de **20°C**. Les résultats sont exprimés en **$\mu\text{s}/\text{cm}$** À **20°C**.

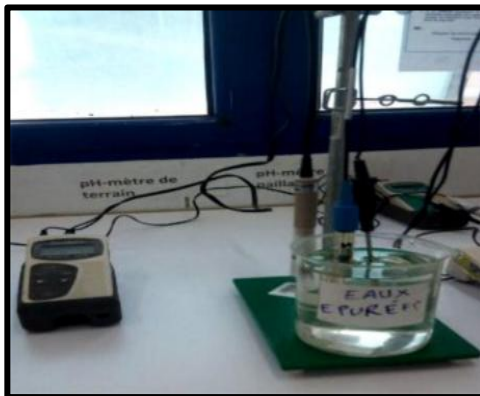


Figure 32 : Mesure de CE

7.4. Demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon. Ce paramètre donne une estimation de la quantité de polluants présents dans un effluent industriel ou une eau usée (CEAEQ, 2016). On a utilisé la méthode par microdosage (Test en tube)

A. Matériel utilisé :

- Thermo réacteur.
- Spectrophotomètre.
- Pince à tube.
- Portoir des tubes.
- Paire pour pipette
- Pipettes

B. Réactifs utilisés :

- (02) tubes : 0 – 150 mg / l pour le dosage du DCO de l'eau épurée.

C. Mode d'opérateur :

➤ Eau épurée : Code 130.

- [DCO LR par des tubes à essai varié : 0 – 150 mg / L]

- Retirer le bouchon d'un tube de réaction et ajouter 2 ml de l'eau déminéralisée. (C'est le tube de blanc).
- Retirer le bouchon d'un autre tube de réaction et ajouter 2ml de l'eau épurée (c'est le tube de l'essai).
- Fermer les tubes avec le bouchon et homogénéiser les soigneusement et plusieurs fois pour mélanger le contenu. (Attention : les tubes prennent beaucoup de temps pour bien homogénéiser).
- Chauffer les tubes pendant 120 minutes dans un thermo réacteur à une température de 150°C. (Attention : les tubes sont chauds).
- Homogénéiser les tubes plusieurs fois pendant l'opération d'échauffement.
- Retirer les tubes du thermo réacteur.
- Laisser les refroidir à la température ambiante avant de prendre les mesures.
- Taper le code 130
- Empaler le Tube dans la chambre et presse sur le bouton « Zéro ».
- Retirer le tube de blanc et remplacer le tube de test.
- Pour le résultat appuyer sur le bouton test, Les résultats sont exprimés en mg / l



Figure 33 : Mesure de DCO l'eau épurée.

7.5. Demande biologique en oxygène (DBO₅) :

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les microorganismes du milieu. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20° C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablement ensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées. La moyenne pondérée de la DCO et la DBO mesurée après décantation pendant 2h suivant la formule : $(DCO + 2 DBO_5) / 3$ correspond aux matières existantes. Le rapport entre la DCO et la DBO₅ constitue une mesure indicative de la dégradabilité biochimique des composés présents dans l'eau (**Rodier, 2009**) :

- Si $DCO/DBO_5 > 3$ La majorité de la MO existante est non biodégradable.
- Si $DCO/DBO_5 < 3$ La majorité de la MO existante est biodégradable.

Le rapport détermine le choix de la filière de traitement à adopter. Si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico chimique (**Mettahri, 2012**).

Selon (**Ouali, 2001**), les eaux résiduaires urbaines sont correctement biodégradables si elles ne contiennent pas de composés toxiques tels que surfactants ou produits pétroliers. La valeur du rapport DCO/DBO₅ d'une eau usée mixte nous permet d'avoir une idée sur sa biodégradabilité

- $DCO/DBO_5 \sim 1 \rightarrow$ bonne biodégradabilité
- $DCO/DBO_5 \sim 1.5 \text{ à } 2.0 \rightarrow$ biodégradabilité moyenne
- $DCO/DBO_5 \sim 3.0 \text{ à } 4.0 \rightarrow$ biodégradabilité faible.

A. Mode opératoire de la DBO₅ :

Instruments et accessoires requis :

- Système de mesure Oxyton
- Système d'agitation inductif
- Armoire thermostatique d'incubateur (température $20^\circ \text{C} \pm 1^\circ \text{C}$)
- Bouteilles d'échantillon marron (volume nominal 510 ml)
- Tiges d'agitation
- Dissipateur de tige
- Béchers de mesure de débordement

B. Réactifs utilisés :

- Comprimés d'hydroxyde de sodium.
- Inhibiteur de nitrification.

C. Choix du volume d'échantillon :

Estimer la valeur DBO_5 à attendre pour l'échantillon d'eaux usées épurées :

Valeur attendue de la « DBO_5 » 80 % de la valeur DCO.

Nous Recherchons la plage de mesure correspondante dans le Tableau suivant est rassemblez les valeurs correctes pour le volume et le facteur d'échantillonnage.

Tableau 25 : Représenté le volume et le facteur d'échantillonnage

Volume d'échantillon(ml)	Plage de mesure (mg / l)	Facteur de dilution
432	0 – 40	1
365	0 – 80	2
250	0 – 200	5
164	0 – 400	10
97	0 – 800	20
43.5	0 – 2000	50
22.7	0 – 4000	100

D. Les mesures : Pour mesurer le volume de l'échantillon, on utilise généralement des béchers ou des cylindres de mesure à débordement. Choisissez le volume en fonction de la valeur mesurée attendue. Trop grande, Les plages de mesure conduisent à des résultats inexacts. Estimer la valeur mesurée :

- Rincer la bouteille de mesure avec l'échantillon. Vide à fond.
 - Mesurer exactement la quantité d'oxygène saturée (bien homogénéisée)
 - Placer le barreau magnétique dans la bouteille.
 - Mettre une quantité de l'inhibiteur de nitrification dans la bouteille.
 - Insérer un carquois en caoutchouc dans le goulot de la bouteille
- Mettre 1 comprimé d'hydroxyde de sodium dans le carquois en caoutchouc avec une pince à épiler.
- Visser l'OXITOP directement sur le flacon d'échantillon (bien fermé).
 - Conserver la bouteille de mesure avec l'OXITOP enfilé pendant 5 jours à 20 ° C (Dans un incubateur).
 - Après les mesures : la température a été atteinte (après 1 heure au plus tôt, après 3 heures au dernier).
 - L'OXITOP démarre automatiquement la mesure de consommation de l'oxygène.
 - Pendant les 5 jours, l'échantillon est continuellement agité. L'OXITOP stocke automatiquement une valeur toutes les 24 heures pendant 5 jours. Pour afficher la valeur actuelle, on appuie sur la touche M

Ficher la valeur mesurée actuelle : on appuie sur M jusqu'à ce que la valeur mesurée s'affiche (1 seconde) (Figure 30).

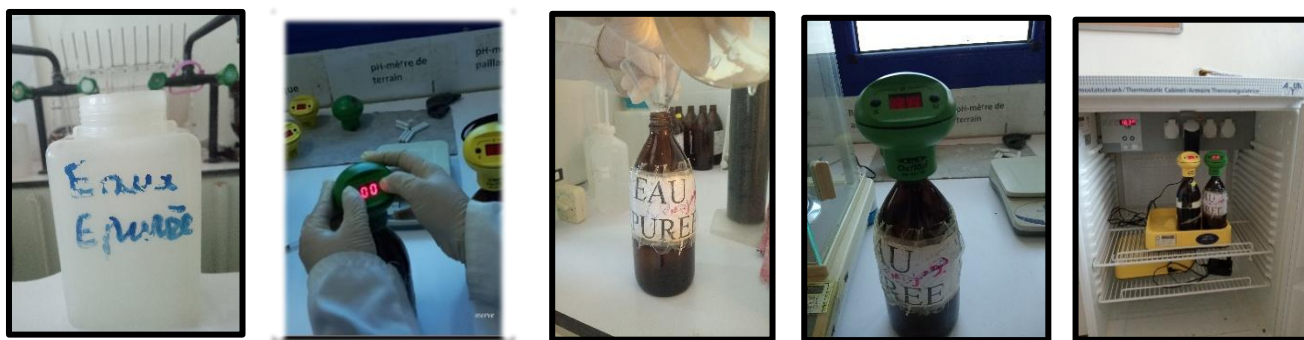


Figure 34 : Mesure de DBO5

7.6. Phosphore (PO₄) :

Le phosphore est un constituant de la matière vivante, qui se trouve également dans des produits de synthèse, engrais ou détergents. Dans les sols, le phosphore est retenu dans les complexes argilo-humiques (Bourrier, 2017).

A. Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre.
- Thermo réacteur.
- Pipettes.
- Portoir des tubes.
- Pince à tube.
- Poire pour les pipettes.

B. Réactifs utilisés :

- 01 tubes de digestion P-PO₄.
- 01 sachets en poudre de persulfate de potassium F10.
- 02 ml de solution d'hydroxyde de sodium 1.54 N.
- 01 sachets de réactif en poudre de phosphate F10.

C. Mode d'opérateur :

Gamme de mesure : 0.06 - 3.50 mg/L PO₄ (0.02 - 1.10 mg/L P).

- Ouvrir un tube de digestion P-PO₄ (Réactif C) et ajouter dans le tube 5 ml de l'eau Épurée.
- Ajouter un sachet poudre de persulfate de potassium F10 dans le tube de digestion.
- Fermer le tube avec le bouchon et agiter le pour mixer le contenu au moins 30 secondes.
- Chauffer les pendant 30 minutes dans le thermo réacteur à la température 150°C. (Attention : le tube est chaud).
- Retirer le tube au thermo réacteur.
- Agiter le tube et laisser le refroidir à la température ambiante.
- Ouvrir le tube de digestion et ajouter 2 ml de solution d'hydroxyde de sodium 1.54 N
- Fermer le tube avec de bouchon et agiter le soigneusement pour mélanger le contenu pendant 15 secondes.
- Retirer le tube de digestion.
- Ouvrir le tube de digestion et ajouter un sachet poudre de réactif de phosphate.

- Fermer le tube de digestion et homogénéiser le soigneusement pour dissoudre le contenu (au moins 10 secondes).

Pour l'expression de résultat est affiché automatiquement en mg/l Pt (Figure 31).



Figure 35 : Mesure de Phosphore

7.7. L'azote (Nt) :

A. Principe :

Se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O_2) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH_3), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH_4^+) (Martin, 1979)

B. Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre.
- Pipettes.
- Thermo réacteur.
- Portoir des tubes.
- Pince à tube.
- Poire pour pipette.

C. Réactifs utilisés :

- 02 Tubes d'hydroxyde.
- 02 Sachets en poudre de persulfate.

- 02 Sachets en poudre réactif A.
- 02 Sachets en poudre réactif B
- 02 Tubes de réactif C.
- Eau déminéralisée.

D. Mode Opératoire :

Eau épurée : Par tube d'essai : 0,5-25 mg /L N Code 280.

- Ouvrir deux tubes de digestion d'hydroxyde HR et ajouter dans chaque tube un sachet de réactif de persulfate.
- Ajouter 0.5 ml de l'eau déminéralisée dans le tube de témoin.
- Ajouter 0.5 ml de l'eau brute dans le 2^{ème} tube de digestion (tube test).
- Fermer les deux (02) tubes avec des bouchons et agiter les pour mixer le contenu au moins 30 secondes.
- Chauffer les pendant 30 minutes dans le thermo réacteur à la température 100°C.
- Ouvrir les tubes et ajouter dans chaque tube un sachet de réactif A.
- Fermer les tubes avec des bouchons et agiter pour mélanger le contenu pendant 15 secondes.
- Après la fin de la période de réaction (3 minutes), Ouvrir les et ajouter un sachet de réactif B dans chaque tube.
- Fermer les tubes et homogénéiser les soigneusement pour dissoudre le contenu (au moins 15 secondes).
- Laisser la réaction pendant 2 minutes.
- Ouvrir un tube d'acide (Réactif C) et ajouter 2 ml de la préparation de digestion (tube de témoin).
- Ouvrir un autre tube d'acide (Réactif C) et ajouter 2 ml de la préparation de digestion d'eau brute dans le 2^{-ème} tube de réactif C (tube test).
- Fermer les tubes d'acide avec des bouchons et homogénéiser les soigneusement quelques secondes.
- Placer le tube de témoin dans la chambre de mesure et appuyer sur le bouton « Zéro ».
- Retirer le tube témoin et placer le tube test.
- Pour l'expression résultat appuyez sur le bouton « Test », Le résultat est affiché automatiquement en mg/l N sauf le volume prélevé c'est 02 ml.

7.8 Dosage de l'azote ammoniacal N-NH_3^- :

A. Principe :

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également d'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole (**Derwich, 2010**).

B. Matériel utilisé pour Mesurer de l'ammonium (Méthode par microdosage (Test en tube))

- Spectrophotomètre.
- Pince à tube.
- Portoir des tubes.
- Poire pour pipette
- Pipettes.

C. Réactifs utilisés :

- (02) tubes : 0 – 2,5 mg / l pour le dosage du NH_3 de l'eau épurée.
- 2.1 ml d'eau distillée.
- (02) sachets en poudre de salicylate d'ammonium F5.
- (02) sachets en poudre de cyanurates d'ammonium F

D. Mode opératoire :

Eau épurée : 0.02-2.5 mg/l N. Code 65.

- Retirer le bouchon d'un tube de réaction et ajouter 2 ml de l'eau distillée (C'est le tube de blanc).
- Retirer le bouchon d'un autre tube de réaction et ajouter 2 ml de l'eau épurée (c'est le tube de l'essai).
- Ajouter dans chaque tube un sachet de salicylate d'ammonium F5.
- Ajouter dans chaque tube un sachet de cyanurates d'ammonium F5.
- Fermer les tubes avec les bouchons et homogénéiser les soigneusement et plusieurs fois pour mélanger le contenu.
- Attendre la réaction pendant 20 min.

- Taper le Code 65 et remplacer le tube de blanc dans la chambre de mesure,
- Appuyer sur le bouton Zéro,
- Retirer le tube de blanc et remplacer le par le tube Test,
- Les résultats sont exprimés en mg/l NH_3 .

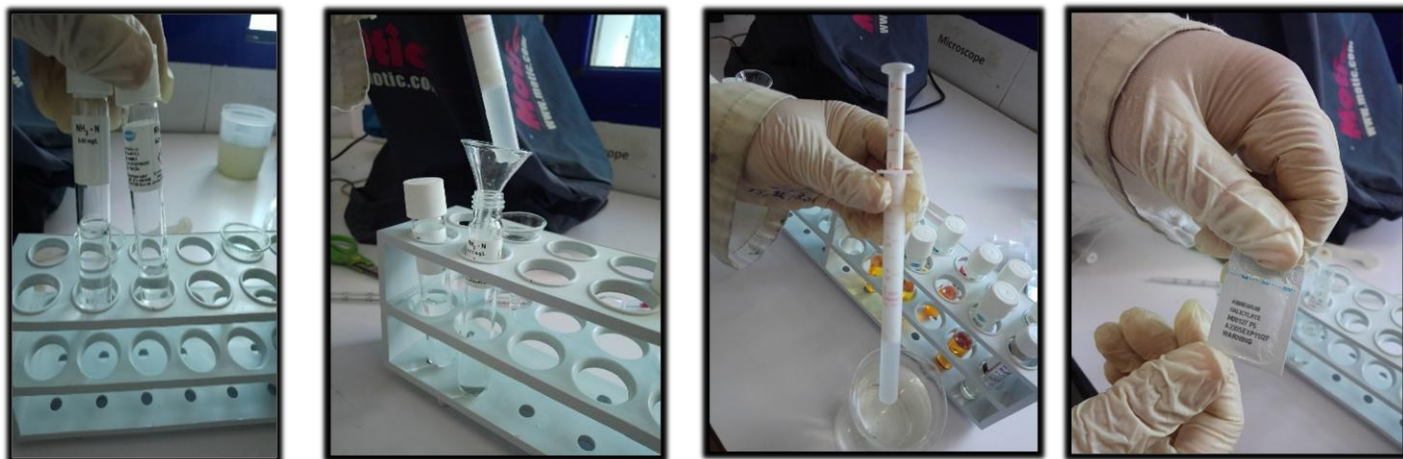


Figure 36 : Mesure de l'azote ammoniacal N-NH_3 -

7.9. Dosage des nitrates (N-NO_3^-) : 1-30 mg/l NO_3^- . Code 265.

A. Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrososylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un sondage colorimétrique.

B. Matériel utilisé :

- Spectrophotomètre.
- Pince à tube.
- Portoir des tubes.
- Pipettes.
- Poire pour pipette.

C. Réactifs utilisés :

- (02) Tubes: 1 – 30 mg/l N-NO_3 .
- Nitrate Chromo Tropic (nitrate B).
- Eau déminéralisée.

D. Mode opératoire :

- Dans 02 tubes ronds :

- ✓ On met **01 ml** d'échantillon eau déminéralise dans le premier tube (Tube Blanc).
- ✓ On met **01 ml** eau épurée dans la troisième tube (Tube Test 02).
- Dans chaque tube, on ajoute un sachet du réactif nitrate chromo Tropic
- On agit les trois tubes pendant une minute, laissé les reposer pendant **05 minutes**.
- Ensuite, on introduit le blanc dans le compartiment d'échantillon et on touche Zéro puis, on retire le blanc pour mettre une Tube d'échantillon à analyser on touche Test et résultat est donnée sur l'écran en s'agit en **mg /l**.

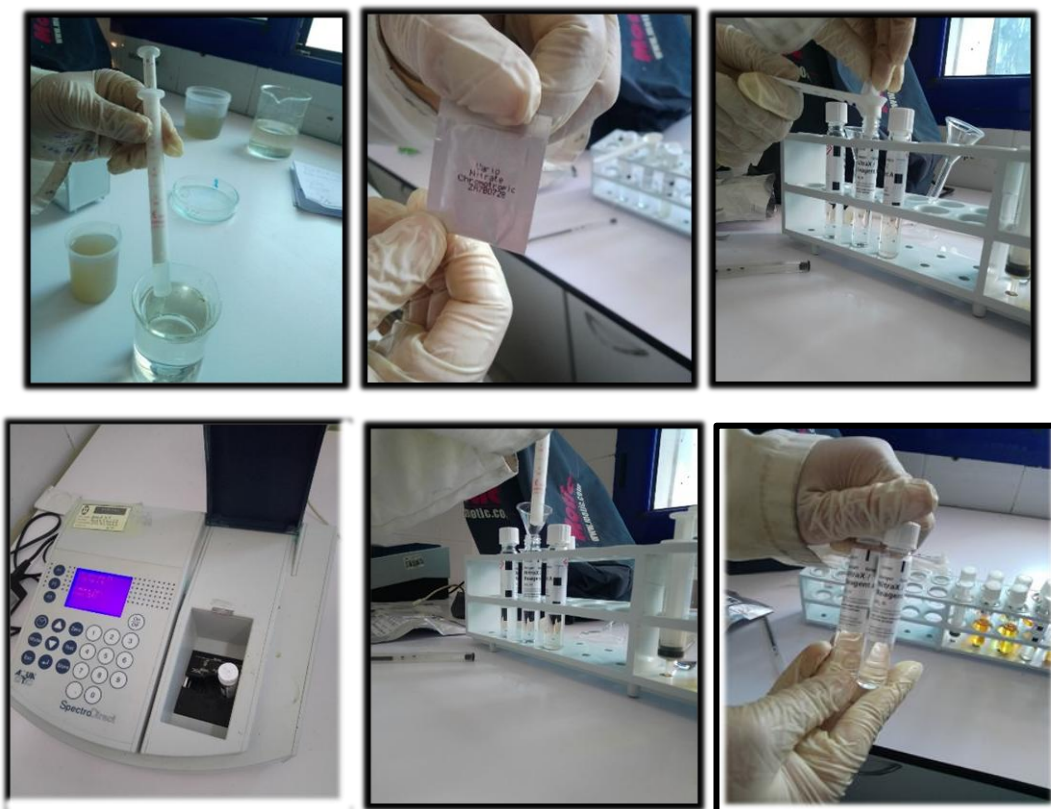


Figure 37 : Mesure le Nitrate d'eau épurée

7.10. Dosage des nitrites (N-NO₂⁻) : Code 275.

Les nitrites sont considérés comme polluant très nuisible à la santé de l'être humain et au animaux (le taux de NO₂⁻ devient nocif quand il dépasse 0.5 mg/l) taux doit être contrôler régulièrement, un taux important survient en générale lorsque l'eau est sur chargée en matières aussi parfois lorsque vous rajoutez de nouvelles pierres vivantes. En milieu chlorhydrique, et en présence d'ion ammonium il se forme un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites (**Medjeldi et Hamici, 2017**).

La détermination de nitrites se fait selon la méthode par microdosage (Test en tube).

A. Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre.
- Pince à tube.
- Portoir des tubes.
- Poire pour pipette.
- Pipettes

B. Réactifs utilisés :

- (02) Tubes: 0,003 – 0,5 mg / l N-NO₂.
- (10) ml d'eau distillée.

C. Mode opératoire :

- Dans **02** tubes ronds :
 - ✓ On met **05 ml** d'échantillon eau déminéralise dans le premier tube (Tube Blanc).
 - ✓ On met **05 ml** eau épurée dans la troisième tube (Tube Test 02).
- On agit les trois tubes pendant une minute, laissé les reposer pendant **20 minutes**.
- Ensuite, on introduit le blanc dans le compartiment d'échantillon et on touche Zéro puis, on retire le blanc pour mettre une Tube d'échantillon à analyser on touche Test et résultat est donnée sur l'écran en s'agit en **mg /l**.



Figure 38 : Mesure de nitrites l'eau épurée

7.11. Sulfate (SO_4^-) :

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre

A. Réactifs et solutions utilisées :

- Solution d'acide chlorhydrique au 1/10.
- Solution de Tween 20 à 25 %.
- Solution de chlorure de baryum.

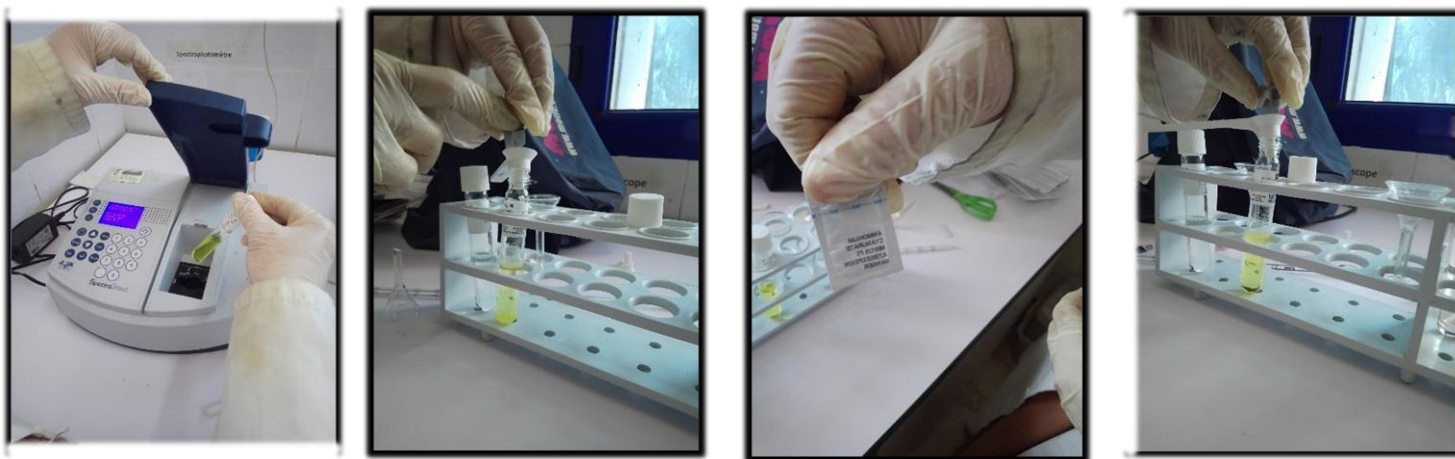


Figure 39 : Mesure de l'azote ammoniacal N-NH_3 - l'eau épurée

B. Mode opératoire :

- Mettre 50 ml d'eau à analyser, ajouter 1 ml d'acide chlorhydrique au 1/10 et 5 ml de solution de chlorure de baryum + Tween 20.
- Préparer dans les mêmes conditions un témoin en remplaçant l'eau à analyser par l'eau distillée.
- Agiter et laisser reposer 15 min. Agiter à nouveau et faire les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 650 nm.

7.12. Chlorure (Cl^-) :

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

A. Solution et produits utilisés :

- L'acide nitrique
- Carbonate de calcium (poudre)

- Solution de chromate de potassium 10% : dissoudre 2,5 g de chromate de potassium dans 25 ml d'eau distillé
- Solution de nitrate d'argent 0,1 N : dissoudre 4,21 g de nitrate d'argent dans 250 ml d'eau distillé

B. Mode opératoire

- Introduire 100 ml de l'échantillon dans un Becher.
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique.
- Ajouter d'indicateur de chromate de potassium et 3 gouttes de chromate de potassium.
- Titrer la solution goutte à goutte de solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rouge et noter les volumes.

C. Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml :

- $V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de Cl^- par litre d'eau.
- $V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.

7.13. Carbonate (CO_3^-) et Bicarbonate (HCO_3^-)

A. Principe :

Le dosage des carbonates totaux peut être réalisé très simplement par la détermination de l'alcalinité et plus précisément des titres TA et TAC.

B. Expression des résultats

Le tableau suivant présente les cas les plus fréquents de valeurs comparatives de ces titres (pour les eaux naturelles) et les concentrations (en ° français) qui peuvent en être déduites pour les ions hydrogénocarbonates et les ions carbonates.

Tableau 26 : Détermination du carbonate et bicarbonate.

Espèces Carbonatées	Valeurs respectives des titres TA et TAC		
	Si TA = 0	Si TA < TAC/2	Si TA = TAC/2
CO_3^{2-}	0	2 TA	TAC

HCO ₃	TAC	TAC – 2TA	0
------------------	-----	-----------	---

7.14. Détermination des Solides Dissous Totaux (TDS)

A. Principe

La conductivité électrique d'une solution aqueuse est proportionnelle à la concentration des ions dissous. En mesurant cette conductivité, il est possible d'estimer les TDS en appliquant un facteur de conversion.

B. Matériel utilisé

- Conductimètre de type [Marque/Modèle] muni d'une sonde TDS
- Solutions étalons (1413 µS/cm)
- Bêchers en plastique propres
- Eau distillée
- Thermomètre (pour le contrôle de la température)

C. Mode opératoire :

- L'appareil a été étalonné à l'aide d'une solution standard de KCl à 1413 µS/cm à 25°C.
- Un échantillon d'eaux usées traitées a été prélevé dans un bécher propre.
- La sonde a été plongée dans l'échantillon après rinçage à l'eau distillée.
- Après stabilisation de la lecture, la conductivité a été relevée (µS/cm).
- Le TDS a été calculé selon la relation suivante

$$\text{TDS (mg/L)} = k \times \text{Conductivité (}\mu\text{S/cm)}$$

7.15. Dosage de la somme du Calcium et Magnesium

A. Principe

Titration par complexométrie des ions calcium et magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tétraacétique (EDTA) à un pH de 10. L'indicateur

utilisé est le noir ériochrome T, qui donne une couleur rose en présence des ions calcium et magnésium. Lors du titrage avec l'EDTA la solution vire au bleu.

B. Matériels utilisés

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA
- Fioles
- Pipettes
- Béchers
- pH-mètre
-

C. Réactifs utilisés

- Carbonate de calcium (CaCO_3)
- Acide chlorhydrique (HCl) à 4 mol/L .
- EDTA disodique dihydraté ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) .
- Chlorure d'ammonium (NH_4Cl) .
- Solution ammoniacale à 25% (NH_3) .
- Sel disodique de l'EDTA avec du magnésium ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\text{Mg}$) .
- Eau distillée
- Indicateur noir mordant 11 (acide [hydroxy-1-naphtylazo]-2 naphto-2 sulfonique, $\text{C}_{10}\text{H}_6\text{N}_2\text{O}_7\text{SNa}$) . Triéthanolamine (HOCH_2CH_2)₃N .
- Éthanol.
- Chlorure de sodium (NaCl)

D. Mode opératoire

a) Calcium, solution étalon de référence à 0,01 mol/l

Sécher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2 heures à 150 °C et laisser refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur. En introduire 1,001 g dans une fiole conique de 500 ml, et l'humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4 mol/l jusqu'à ce que tout le carbonate soit dissous.

7.16. Dosage de la somme du Sodium et Potassium

A. Principe

Atomisation de l'élément recherché (éventuellement après dilution de l'échantillon) dans la flamme d'un spectromètre d'émission de flamme. Détermination, aux longueurs

d'onde de 589.0 nm pour le sodium et de 766.5 nm pour le potassium de la concentration de l'élément recherché par la méthode directe de dosage à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

B. Matériel utilisé

- Photomètre de flamme ou spectromètre d'absorption atomique
- Micropipettes
- Fioles jaugées
- Béchers
- Eau distillée
- Tubes à essai

C. Réactifs utilisés

- Solution étalon de chlorure de sodium (NaCl)
- Solution étalon de chlorure de potassium (KCl)
- Solution mixte d'ions sodium et potassium pour l'étalonnage
- Eau distillée déminéralisée
- Solution diluée de chlorure de césium (facultative, pour réduire les interférences)

D. Mode opératoire

➤ **Préparation des solutions étalons :**

Préparer une série de solutions étalons de sodium et de potassium à des concentrations connues (par exemple 1,5, 10,20 mg/L) en dissolvant du NaCl et du KCl dans de l'eau distillée.

Utiliser ces solutions pour tracer une courbe d'étalonnage.

➤ **Analyse de l'échantillon :**

Prélever un volume défini de l'échantillon (par exemple 10 ml) à l'aide d'une micropipette et le verser dans un tube ou un bécher.

Introduire l'échantillon dans le photomètre de flamme.

Mesurer l'intensité du rayonnement émis pour le sodium et le potassium.

Utiliser la courbe d'étalonnage pour déterminer la concentration des ions dans l'échantillon

8. Méthodologie

8.1. L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation

La méthodologie qu'on a suivie est basée sur la comparaison de nos résultats avec une série de directives ou valeurs « guides » (tableau 5) FAO (1976) qui a pour objectif de prévenir et de résoudre au niveau du champ du cultivateur les problèmes d'ordre général rencontrés en irrigation en matière de salinité, de perméabilité et de toxicité spécifique par certains ions. Les directives devraient aider à situer les effets de la qualité de l'eau dans la perspective des autres facteurs influant sur la production agricole et permettre à l'homme de terrain de juger si l'eau utilisée convient ou non à l'irrigation **(FAO, 2003)**.

8.2. Les diagrammes

Les composantes hydro chimiques globales de l'eau d'irrigation sont expliquées avec les diagrammes graphiques le report des différents paramètres et indices sur les diagrammes permet une interprétation qui conduira à localiser le type d'eau. Le logiciel (hydro chimiques, Rockwork version 16 et Aquachem 2014.2) était utilisé pour tracer ces diagrammes **(Bouaroudj, 2021)**.

8.2.1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper (Figure 2) est le plus utilisé pour évaluer l'évolution hydro chimiques de l'eau **(Bouderbala, 2015)**, dans ce diagramme les concentrations des anions principaux (Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) et cations (Ca^{2+} , Na^+ K^+ et Mg^{2+}) sont tracés en deux triangles, qui étaient alors prévu plus loin dans un champ diamanté et l'inférence est tirée pour la composition chimique de l'eau **(Piper, 1944)**. Le diagramme triangulaire de Piper permet d'estimer les pourcentages des éléments chimiques et leur classification **(El Hammoumi et al., 2012)**,

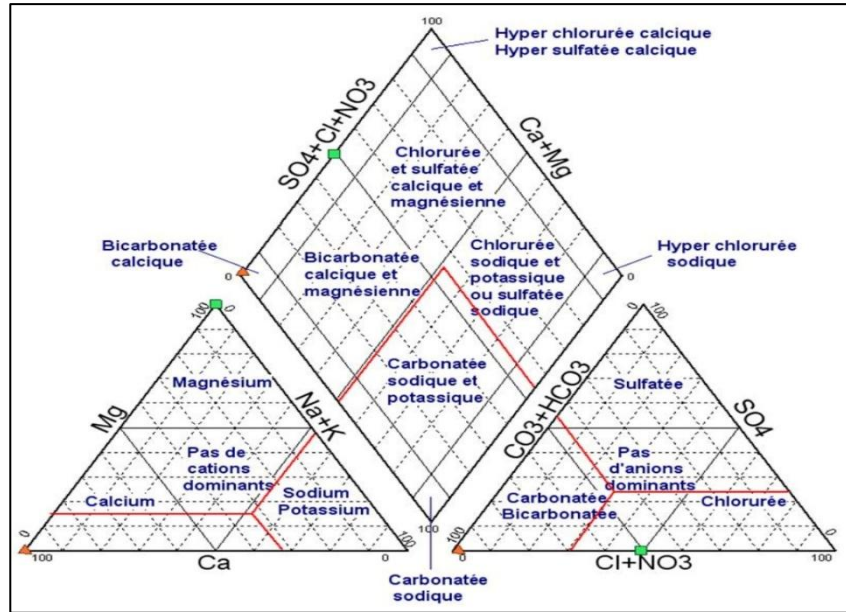


Figure 40 : Diagramme de Piper

8.2.2. Diagramme de Richards Riverside

Dans cette classification de Richards Riverside (Figure 40), deux facteurs sont pris en compte : la $CE_{\mu S/cm}$ et le pourcentage du sodium (SAR) qui sont convertis en quatre sections (tableau 27) que le résultat global est l'émergence des 16 groupes (tableau 28).

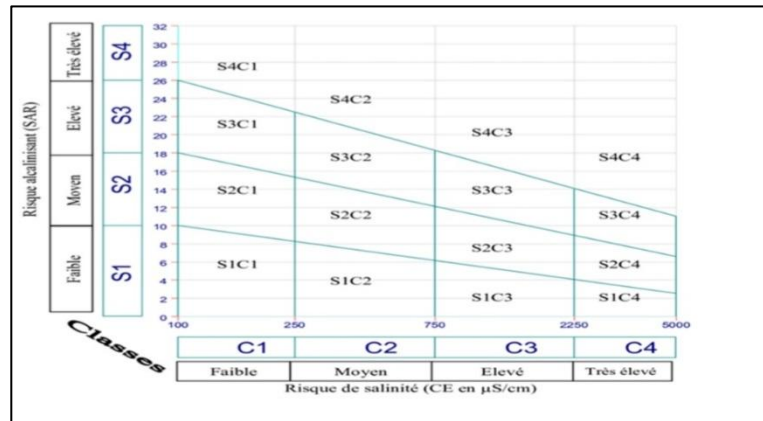


Figure 41 : Diagramme de Richards Riverside

Tableau 27 : Critères de classification de l'eau de culture selon la classification de Wilcox Eau (Salarian et al., 2015)

Qualité de l'eau	CE	Classes	SAR	Catégorie
Excellente	<250	C1	<10	S1

Bonne	250-750	C2	10-18	S2
Moyenne	750-2250	C3	18-26	S3
Inappropriée	<2250	C4	>26	S4

Tableau 28 : Différentes classifications et différents types de qualité de l'eau selon la classification de Wilcox (Salarian et al., 2015)

Catégorie d'eau	Qualité de l'eau	Irrigation
C1S1.	Eau douce	Complètement inoffensif
C1S2, C2S2, C2S1.	Peu salé	Presque approprié
C1S3, C2S3, C3S1, C3S2, C3S3.	Salé	Application des mesures nécessaires
C1S4, C2S4, C3S4, C4S4, C4S3, C4S2, C4S1.	Très salé	Domageable pour l'agriculture

8.2.3 Diagramme de Wilcox

Domageable pour l'agriculture Dans le diagramme de Wilcox (Figure 4) les valeurs du Na% sont reportées par rapport à CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) du diagramme de salinité (Vyas et Jethoo, 2015).

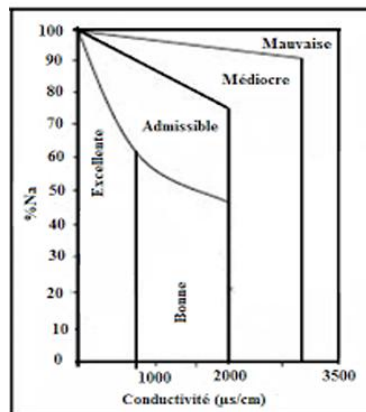


Figure 42 : Diagramme de Wilcox

9. Indices de la qualité de l'eau

Plusieurs méthodes sont disponibles pour garantir la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation dont les indices de qualité de l'eau comme :

- Salinité Hazard

Des concentrations excessives de CE ms/cm dans l'eau d'irrigation vont entraîner un risque salinité.

Si la CE de l'eau d'irrigation est élevée ($> 0,7$ ms/cm), elle affectera la zone racinaire et l'écoulement de l'eau.

Une directive a été établie par le laboratoire de salinité de l'USDA dans **Freeze et Cherry (1979)** pour déterminer la pertinence de l'eau pour l'irrigation en fonction de la CE.

- Le pourcentage du sodium (Na%)

La concentration élevée de sodium a un effet profond sur la croissance des plantes. Il est calculé à partir de la formule (1) comme indiqué ci-dessous (**Brindha et Elango, 2014**) :

$$\text{Na\%} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 100 / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+) \quad (1)$$

- Sodium adsorption ratio (SAR)

Il est calculé à partir de la formule (2) ci-dessous :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / ((\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / 2)^{0.5} \quad (2)$$

Où les concentrations ioniques sont exprimées en milliéquivalents par litre (méq/L) (**Zhang et al., 2012**).

- Magnésium Hazard (MH)

Si le MH est supérieur à 50 méq/L, l'eau n'est pas recommandée pour l'irrigation (**Szabolcs et Darab, 1964**).

MH est calculé par la formule (3) :

$$\text{MH} = [\text{Mg}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})] \times 100 \quad (3)$$

- Indice de perméabilité (PI) :

Si les carbonates et les bicarbonates sont en forte concentration, ils forment des précipités avec le calcium et le magnésium réduisant la perméabilité. Par conséquent, les ions calcium, magnésium, sodium et bicarbonate sont utilisés pour calculer le PI (**Raju et Janardhana, 2007**).

Le PI (**Doneen, 1964**) est calculé par la formule (4) suivante :

$$PI [\%] = (Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}) Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+ \times 100 \quad (4)$$

Toutes les concentrations sont en (méq/L).

Si PI est inférieur à 75 % (classe I), l'eau est appropriée pour l'irrigation ; alors que si elle est supérieure à 75 %, elle ne convient pas à l'irrigation (**Bouderbala, 2015**).

- Ratio de Kelly (KR) :

Il est également un paramètre important pour l'étude de la qualité de l'eau d'irrigation, il est mesuré à la lumière de la concentration en ions sodium et magnésium (**Raju et Janardhana, 2007**).

KR de plus de 1 indique un excès de Na dans l'eau.

L'eau avec $KR < 1$ est considérée comme acceptable pour l'irrigation, tandis que ceux dont le rapport est supérieur à 1 sont inappropriés pour l'irrigation (**Kelly, 1963**).

KR est calculé en utilisant l'équation (5) suivante :

$$KR = Na^+ / (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \text{ Toutes les concentrations sont en (méq/L).} \quad (5)$$

10. Analyses statistiques

Nos paramètres étudiés sont soumis à un test statistique effectuée par l'analyse de la corrélation avec un seuil de confiance de 95 %, et une Analyse multi variée en composantes principales (ACP) à l'aide du logiciel Excel Stat version 2014.

Résultats et discussion

11. Résultats et discussions

11.1. Eaux d'irrigation

11.1.1. Variation spatiotemporelle des paramètres physicochimique des eaux d'irrigation de la STEP de Sidi Merouane

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées traitées utilisées pour l'irrigation à partir de la station d'épuration de Sidi Merouane (wilaya de Mila) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 29 : Variations spatiotemporelle des Paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sidi Merouane

Mois Paramètres	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
T (°C)	13,2±0,44	15,1±0,42	16,2±0,33	18±0,45	25,2±0,48
pH	7,32±0,56	7,51±0,54	7,47±0,43	7,38±0,45	7,43±0,33
CE (μS/cm)	1426±64,93	1390±58,68	1380±79,74	1530±78,6	1454±98,72
TDS (mg/L)	721 ±72,89	732±73,98	720±22,6	765±18,72	756±32,39
Ca⁺² (mg/L)	117,06±31,2	145,23±12,79	122,5±34,23	134,67±22,6	125,36±32,72
Mg⁺² (mg/L)	45,23± 13,4	48,5± 7,37	40,2± 17,22	44,71±18,2	42,32± 11,31
DCO (mg/L)	14,2±2,09	15,9±1,9	18,7±3,17	8,4± 0,78	20,4± 2,38
DBO₅ (mg/L)	4,2±1,66	5±1,75	3,3±0,4	5±0,6	5,9±1,42
PO₄(mg/L)	1,06±0,23	1,12±0,52	1,8±0,43	4,2±1,65	5,02±1,43
NT (mg/L)	15,3±8,94	16,9±5,85	13±4,54	13,4±3,54	14,2±4,02

NO₃⁻ (mg/L)	2,6± 0,67	3,8± 0,51	1±0,34	5,8± 1,13	6,2± 1,23
NH₃⁺ (mg/L)	0,72±0,07	0,96±0,42	0,46±0,09	0,84±0,37	0,69±0,21
NO₂⁻ (mg/L)	0,45±0,03	3,6±1,75	0,1±0,02	0,21±0,01	2,3±0,4
SO₄⁻ (mg/L)	219,23±71	223,37±88,99	204,15±34,23	214,44±31,2	229,14±95,14
CL⁻ (mg/L)	205,36±32,39	197,15±22,6	240,36±18,72	226,9±20,1	235,12±24,66
HCO₃⁻ (mg/L)	0,21±0,05	0,19±0,02	0,34±0,04	0,25±0,01	0,32±0,02
K⁺ mg/L	120,56±23,98	123,12±31,08	110,65±16,32	118,48±27,11	128,69±34,23
Na⁺ (mg/L)	148,23±12,32	169,14±22,6	143,25±31,01	152,89±19,6	167,25±35,64

11.1.1.1. La température

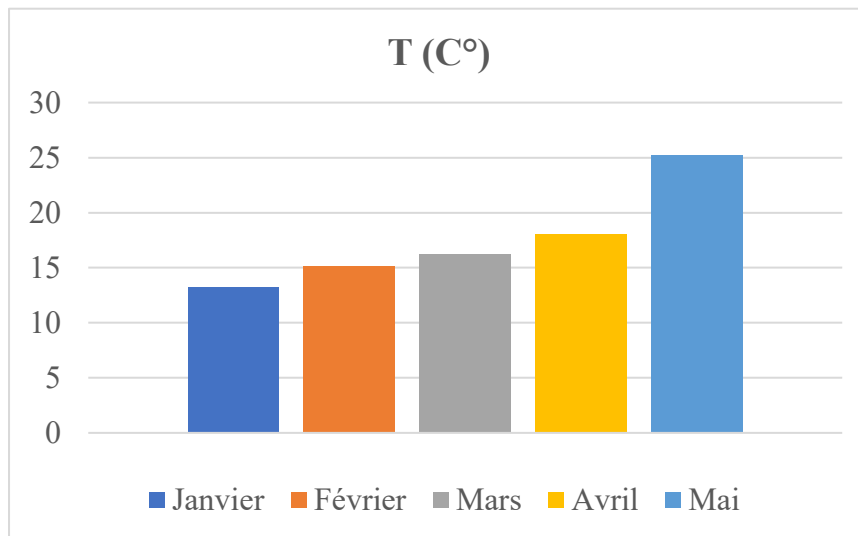


Figure 43 : Variations spatio-temporelles de la température des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

D'après la figure (43), on remarque que la température des eaux usées traitées à la station de Sidi Marouane augmente progressivement de janvier à mai, passant d'environ 13,2 °C en Janvier à près de 25,2 °C en mai. Cette augmentation reflète l'influence saisonnière de la température de l'air sur celle des eaux traitées, ce qui montre que le climat joue un rôle important dans la variation des caractéristiques des eaux.

Selon la FAO, ces valeurs se situent dans la plage acceptable pour les eaux d'irrigation, car la plupart des cultures agricoles tolèrent des températures d'eau comprises entre 10 et 30 degrés Celsius (Ayers et Westcot, 1985). Par conséquent, les eaux traitées à la station de Sidi Marouane durant cette période sont appropriées à l'usage agricole en ce qui concerne la température.

La température a une influence significative sur le processus d'irrigation. Une température élevée augmente les taux d'évaporation et de transpiration (évapotranspiration), ce qui accroît les besoins en eau des plantes. En revanche, une température plus basse réduit ces pertes en eau, diminuant ainsi les besoins en irrigation (Allen et al., 1998).

11.1.1.2. pH

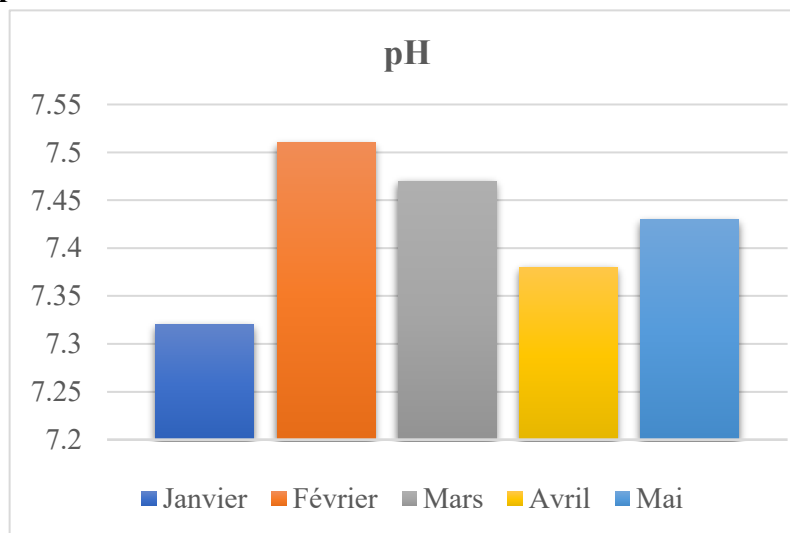


Figure 44 : Variations spatio-temporelles du pH des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

La figure (44) indique les variations du pH des eaux usées traitées par la STEP de Sidi Merouane entre les mois de Janvier et Mai. On observe que la valeur la plus faible du pH est enregistrée en janvier (7,3) et la plus élevée est enregistrée au mois de Février.

La FAO recommande que le pH des eaux d'irrigation soit entre (6,5) et (8,4) la solubilité de la plupart des microéléments soit optimale dans cet intervalle, un pH plus bas que dans la plage habituelle peut entraîner une corrosion accélérée du système d'irrigation (Roy et al., 2015).

Le pH moyen des eaux d'irrigation de la STEP de Sidi Merouane est neutre à légèrement alcalin, il suit les normes de la (FAO, 1976) pour les eaux d'irrigation, ce qui reflète clairement l'influence de la nature géologique du bassin versant sur la composition chimique des eaux.

Un pH élevé de l'eau d'irrigation est associé à des concentrations élevées de carbonate, bicarbonates et sodium qui peuvent modifier la croissance des plantes par micronutriments (Ashraf et al., 2017).

Lorsque le pH de l'eau d'irrigation dépasse (8,2), le problème du sodium augmente également. Il affecte la performance et la persistance de certains herbicides, réduit l'efficacité de certains engrais azotés et l'irrigation à long terme avec de l'eau à pH élevé augmente le pH du sol (Hopkins et al., 2007).

11.1.1.3. La conductivité électrique (CE)

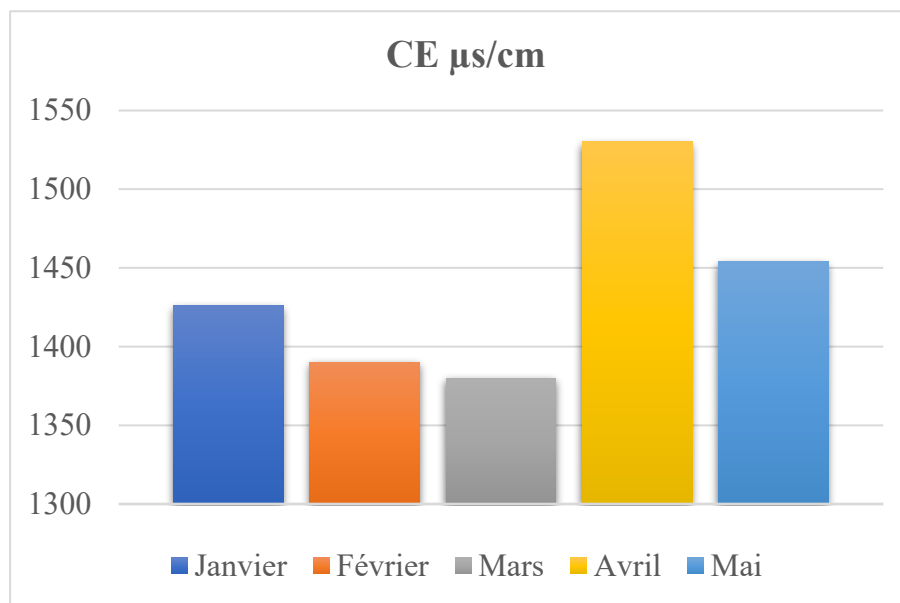


Figure 45 : Variations spatio-temporelles de la conductivité électrique des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

A partir de la figure (45) la CE des eaux usées traitées du la STEP de sidi Merouane, varient entre 1380 à 1530 $\mu\text{S/cm}$ dans la période de Janvier à Mai, la CE enregistre la valeur la plus élevée en Avril, dépassent 1500 $\mu\text{S/cm}$, ce indique une augmentation de la concentration des sels dissous durant ce mois ; La CE diminue légèrement par rapport au mois d'avril mais reste relativement élevée autour de 1454 $\mu\text{S/cm}$. En Janvier la CE atteint environ 1426 $\mu\text{S/cm}$ tandis que les valeurs les plus basse sont enregistrées en Février et mars (environ 1380 et 1390 $\mu\text{S/cm}$).

Selon les recommandations de la (FAO, 1976), la conductivité électrique des eaux traitées à la STEP varie entre 1,38 et 1,53 mS/cm, ce qui les classe dans la catégorie PC ($0,7 < \text{CE} < 3$ mS/cm).

Ainsi, ces eaux présentent une salinité modérée et peuvent être utilisées pour l'irrigation sous certaines conditions. Indique comment une conductivité élevée affecte le sol et les plantes

11.1.1.4. TDS

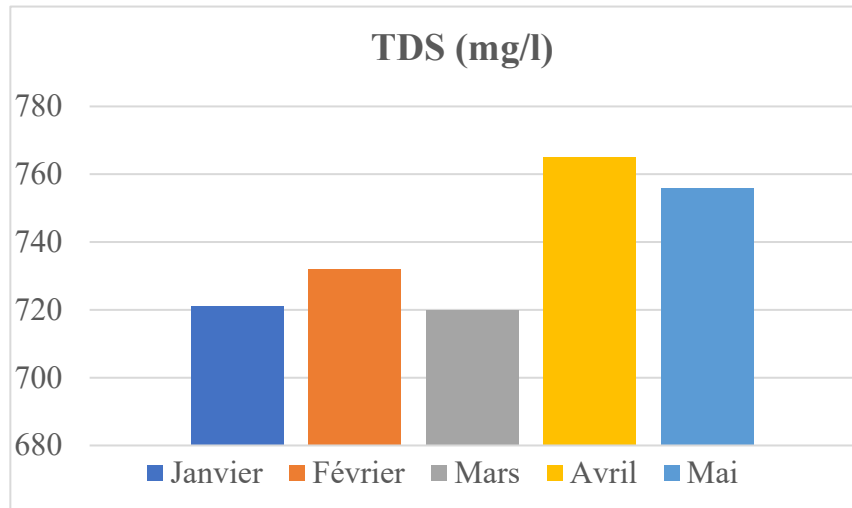


Figure 46 : Variations spatio-temporelles de TDS des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Les résultats obtenus à partir de l'analyse des solides dissous totaux (TDS) pendant la période de Janvier à mai montrent une stabilité générale dans la qualité des eaux usées traitées, avec des valeurs comprises entre 720 et 765 mg/L. Ces fluctuations restent légères et indiquent un fonctionnement stable et efficace du système de traitement.

En janvier, une valeur de 721 mg/L a été enregistrée, ce qui indique une qualité d'eau modérée. En Février, une légère hausse à 732 mg/L a été observée, mais elle reste dans les limites acceptables. En mars, la valeur la plus basse de la période a été enregistrée, soit 720 mg/L, ce qui pourrait refléter une bonne performance du traitement ou un effet de dilution. En avril, la valeur la plus élevée a été notée à 765 mg/L, ce qui reste acceptable, mais elle se rapproche du seuil maximal pour certaines cultures sensibles à la salinité. Enfin, en mai, la valeur a diminué à 756 mg/L, ce qui indique un retour à la stabilité après la légère augmentation d'avril.

Selon les recommandations de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO, 1976), la valeur optimale de l'eau utilisée pour l'irrigation doit être inférieure à 700-750 mg/L, en particulier pour les cultures sensibles à la salinité. Ainsi, le niveau de TDS enregistré pendant cette période est adapté à de nombreuses utilisations agricoles.

Le TDS élevé influence les autres qualités de l'eau telles que le goût, la dureté, les propriétés de corrosion, influence l'osmorégulation de l'organisme d'eau douce, et ils ne sont généralement pas éliminés par la méthode conventionnelle et finalement réduire l'utilité de l'eau pour la consommation et l'irrigation (Seth et al., 2014). Les valeurs du TDS des eaux évoluent dans le même sens que la conductivité (Djegbe et al., 2018).

11.1.1.5. Demande chimique en oxygène(DCO)

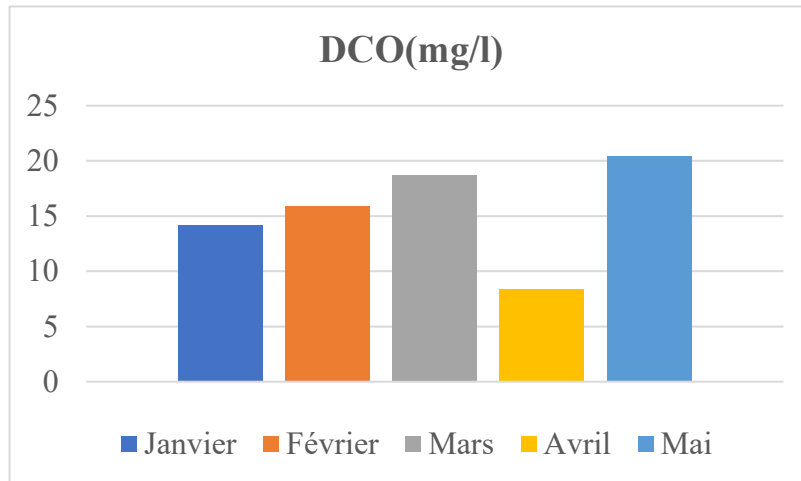


Figure 47 : Variations spatio-temporelles de DCO des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane pendant la période de 5 mois

A partir de la figure (47), on peut observer que pendant la période de Janvier à Mai, les résultats de la demande chimique en oxygène (DCO) ont présenté des valeurs variant entre 8,4 mg/L et 20,4 mg/L, reflétant une variabilité modérée dans la charge organique des eaux usées traitées. Une tendance à la hausse a été observée en Février (15,9 mg/L), mars (18,7 mg/L) et Mai (20,4 mg/L), ce qui pourrait indiquer une augmentation ponctuelle de la matière organique influençant l'efficacité du traitement. En revanche, une nette amélioration est constatée en Avril, avec la valeur la plus basse (8,4 mg/L), traduisant un fonctionnement optimal de la station d'épuration durant ce mois.

Ce comportement fluctuant souligne l'importance d'un suivi régulier, même si les niveaux enregistrés restent nettement inférieurs aux seuils réglementaires (généralement 125> mg/L selon la (FAO, 1976) ce qui confirme que la qualité des eaux traitées est globalement satisfaisante pour des usages agricoles comme l'irrigation.

Une valeur élevée de DCO reflète une forte charge polluante dans l'eau, ce qui peut avoir des impacts environnementaux négatifs, notamment en cas de rejet dans les milieux naturels ou d'utilisation agricole (Rodier, 2009).

11.1.1.6. La Demande biologique en oxygène (DBO₅)

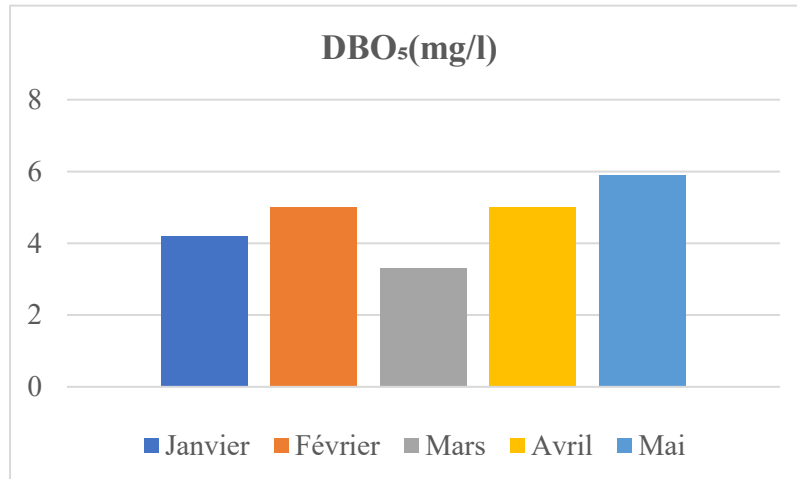


Figure 48 : Variations spatio-temporelles de DBO₅ des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane pendant la période de 5 mois

Au cours de la période de janvier à mai, les résultats de DBO₅ ont montré une légère fluctuation dans l'efficacité du traitement. En janvier, la valeur était de 5,9 mg/L, ce qui indique une charge organique modérée. En février, elle a diminué à 4,2 mg/L, ce qui reflète une amélioration de l'efficacité du traitement. En mars, la valeur est restée stable à 5,0 mg/L, ce qui indique une performance constante du traitement. En avril, la valeur la plus basse a été enregistrée à 3,3 mg/L, ce qui témoigne d'une amélioration significative de l'efficacité du système. En mai, la valeur est retournée à 5,0 mg/L, ce qui reflète une stabilité des performances. Globalement, les valeurs restent dans les limites acceptables, ce qui indique que les eaux traitées sont adaptées aux usages agricoles.

Une DBO₅ élevée signifie que l'eau contient beaucoup de matière organique facilement dégradable, ce qui peut provoquer une désoxygénation des milieux aquatiques si l'eau est rejetée sans traitement (Degremont, 1989).

11.1.1.7. Azote Total (Nt)

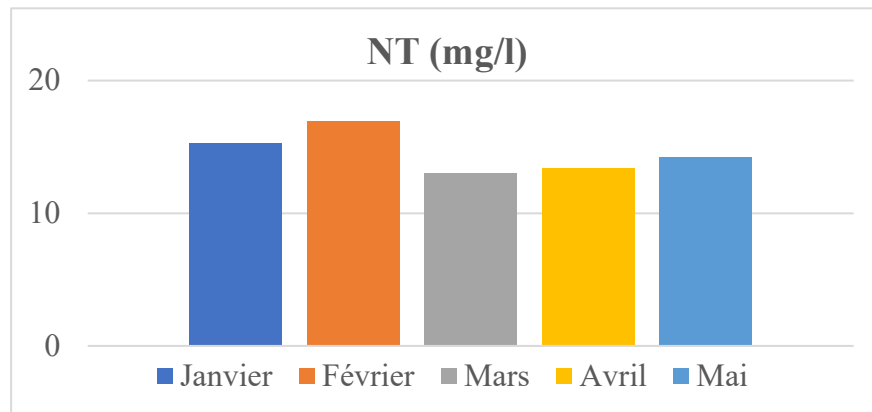


Figure 49: Variations spatio-temporelles de NT des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Au cours de la période de janvier à mai, les résultats de l'azote total (NT) ont montré une légère fluctuation tout en restant dans une plage relativement contrôlable. En janvier, une concentration de 14,2 mg/L a été enregistrée, suivie d'une légère augmentation en Février (15,3 mg/L), atteignant un pic en Mars (16,9 mg/L), ce qui pourrait indiquer l'influence de facteurs saisonniers ou une charge organique plus élevée. En avril, une baisse notable a été observée avec 13,0 mg/L, traduisant une amélioration dans le processus d'élimination de l'azote, puis une légère remontée en mai (13,4 mg/L). Bien que ces valeurs restent relativement acceptables, elles dépassent les limites recommandées pour l'irrigation agricole, selon certaines sources comme la **(FAO,1976)**, qui suggère un seuil inférieur à 10 mg/L afin de préserver la qualité des sols et des cultures.

Un excès d'azote peut favoriser la croissance excessive des plantes ou algues (eutrophisation), mais peut aussi nuire à certaines cultures sensibles. La surveillance du NT est donc essentielle pour évaluer la qualité des eaux destinées à l'agriculture **(Rodier, 2009)**.

11.1.1.8. Nitrates (NO_3^-)

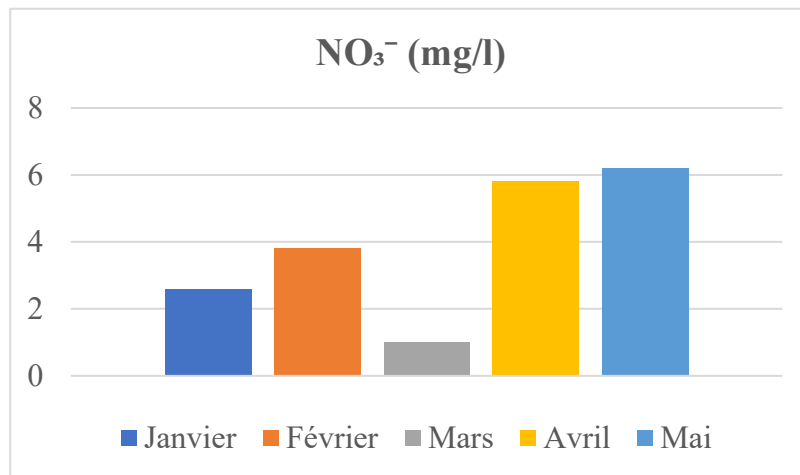


Figure 50 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Les résultats du nitrate (NO_3^-) dans les eaux usées traitées ont montré une variation notable, avec des valeurs comprises entre 1,0 et 6,2 mg/L. En janvier (2,6 mg/L) et Février (3,8 mg/L), les concentrations sont restées dans les limites acceptables, indiquant un traitement relativement efficace. En mars, la concentration la plus basse (1,0 mg/L) a été enregistrée, reflétant une excellente efficacité d'élimination du nitrate ce mois-là. En revanche, les concentrations les plus élevées ont été relevées en avril (5,8 mg/L) et mai (6,2 mg/L), tout en restant dans les normes recommandées pour l'irrigation

Selon la (FAO,1976), qui fixe une limite maximale d'environ 10 mg/L. Bien que ces valeurs soient acceptables, la tendance à la hausse observée en avril et en mai nécessite une surveillance continue.

11.1.1.9. Nitrites (NO_2^-)

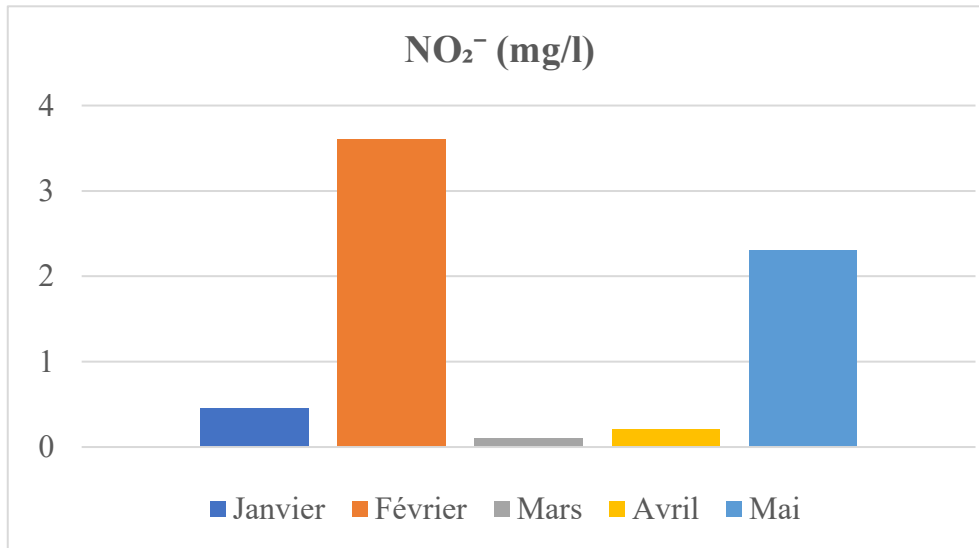


Figure 51 : Variations spatio-temporelle des teneurs en nitrites des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

D'après la figure (51), Les résultats du nitrite (NO_2^-) dans les eaux usées traitées entre janvier et mai montrent une variation marquée, avec des valeurs allant de 0,1 mg/L en mars à 3,6 mg/L en Février. En Janvier (0,45 mg/L), Mars (0,1 mg/L) et Avril (0,21 mg/L), les concentrations restent faibles, indiquant une bonne qualité de l'eau et une efficacité du processus d'oxydation biologique. Cependant, les pics enregistrés en février (3,6 mg/L) et mai (2,3 mg/L) dépassent les seuils recommandés pour l'irrigation

Selon la (FAO,1976), qui suggère une limite maximale de 0,1 à 1,0 mg/L pour les eaux destinées à l'agriculture.

Ces valeurs élevées peuvent indiquer un dysfonctionnement du processus d'oxydation ou une aération insuffisante dans le système de traitement pendant ces mois. Et cela a un impact sur le sol et les plantes comme la diminution de la fertilité du sol , l'inhibition de la croissance des plantes , et la toxicité pour certains cultures sensibles aux concentrations élevées de nitrites.

11.1.1.10. Azote Ammoniacal (N-NH_3^+)

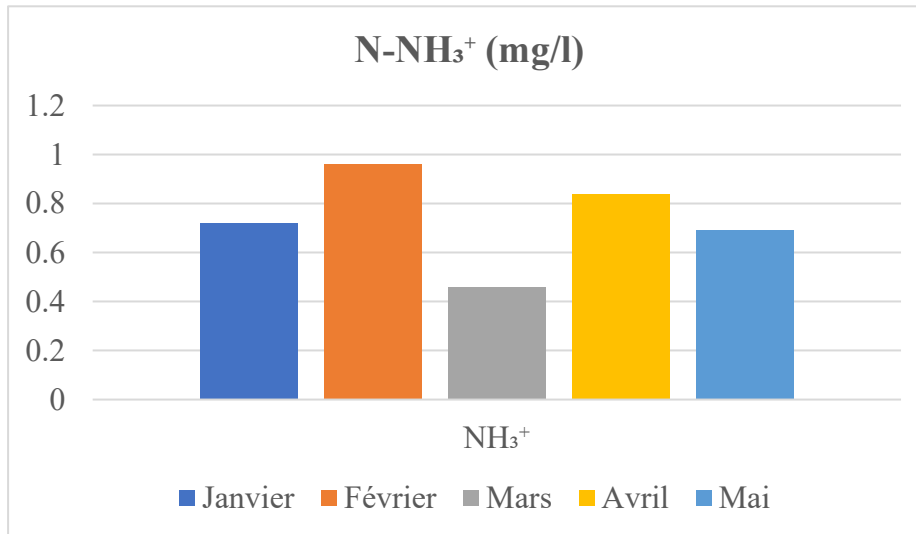


Figure 52 : Variations spatio-temporelle des teneurs en Azote Ammoniacal des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Selon la figure (52) Les résultats du N-NH_3^+ (ammonium) dans les eaux usées traitées entre janvier et mai montrent une légère fluctuation, avec des concentrations variantes entre 0,46 mg/L en mars et 0,96 mg/L en février.

En Janvier (0,72 mg/L), Avril (0,84 mg/L) et Mai (0,69 mg/L), les valeurs restent dans une plage modérée, indiquant une nitrification relativement efficace mais nécessitant un suivi constant.

Le pic enregistré en Février (0,96 mg/L) pourrait indiquer un ralentissement du processus de nitrification ou une charge organique plus élevée. En revanche, la concentration la plus basse observée en mars (0,46 mg/L) témoigne d'une bonne efficacité dans l'élimination de l'ammonium.

Généralement, ces concentrations restent dans les limites acceptables pour l'irrigation agricole, conformément aux recommandations de la (FAO,1976), qui préconise un seuil optimal inférieur à 1,0 mg/L pour éviter l'accumulation excessive d'azote dans le sol et les effets phytotoxiques sur les racines.

Une concentration élevée en N-NH_3 peut être toxique pour les plantes, les micro-organismes du sol et les organismes aquatiques. Dans le cadre de l'irrigation, la présence

excessive d'ammoniaque peut altérer la qualité de l'eau et perturber l'équilibre biologique du sol (Rodier, 2009).

11.1.1.11. Phosphore (PO₄)

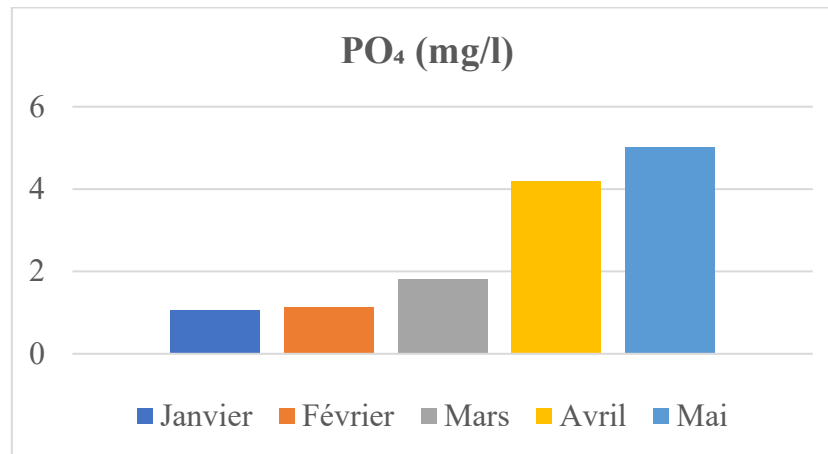


Figure 53: Variations spatio-temporelle de Phosphore des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Au cours de la période de janvier à mai, les concentrations des phosphates (PO₄) dans les eaux usées traitées montrent une augmentation progressive, passant de 1,06 mg/L en Janvier à 5,02 mg/L en mai.

Cette tendance ascendante pourrait refléter une efficacité réduite du traitement biologique ou chimique du phosphore, ou encore une augmentation de la charge organique en phosphates.

En Janvier (1,06 mg/L) et Février (1,12 mg/L), les concentrations restent faibles et adaptées à l'irrigation. Cependant, à partir de Mars (1,8 mg/L), on observe une hausse notable, atteignant des pics en Avril (4,2 mg/L) et Mai (5,02 mg/L). Ces valeurs dépassent les recommandations de la (FAO,1976), qui suggère une limite de 2 mg/L pour l'irrigation afin d'éviter l'accumulation dans le sol et l'eutrophisation.

Une concentration modérée en phosphates peut être bénéfique comme source de phosphore pour les plantes. Cependant, une teneur excessive peut provoquer une eutrophisation des sols et des milieux aquatiques, favorisant la prolifération d'algues et perturbant l'équilibre écologique. Dans le cadre de l'irrigation, la surveillance du taux de phosphates est donc essentielle pour éviter les effets négatifs à long terme (Rodier, 2009).

11.1.1.12. Sulfates

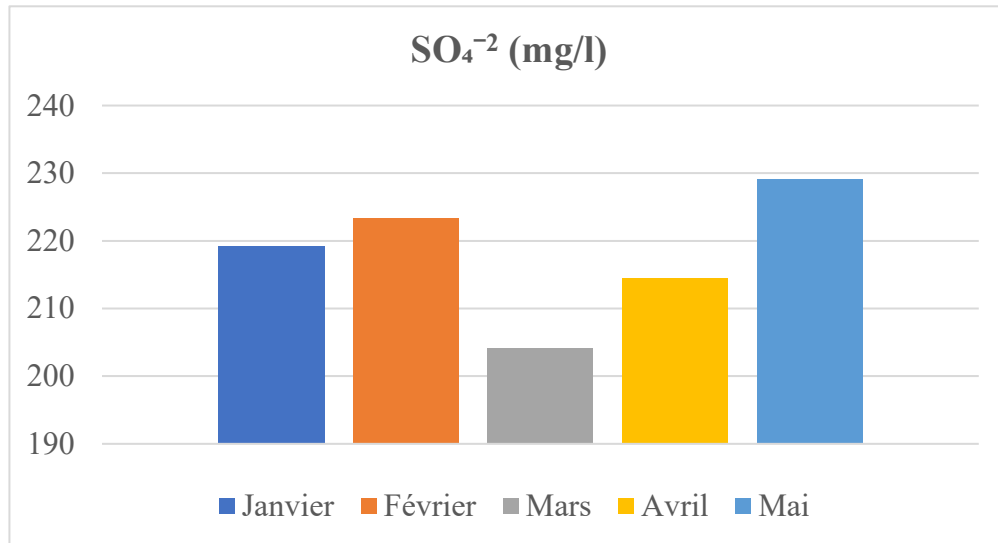


Figure 54: Variations spatio-temporelle des teneurs en sulfates des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

A partir de la figure (55), pendant la période de Janvier à Mai, les concentrations de sulfates (SO_4^{2-}) dans les eaux usées traitées ont montré une stabilité relative avec de légères fluctuations, variant entre 204,15 mg/L et 229,14 mg/L. En Janvier, la valeur était de 219,23 mg/L, suivie d'une légère augmentation en février à 223,37 mg/L. Le mois de mars a enregistré la valeur la plus basse (204,15 mg/L), ce qui peut refléter une meilleure efficacité de traitement ou une dilution. En avril, la concentration a de nouveau augmenté à 214,44 mg/L, atteignant un maximum en mai avec 229,14 mg/L.

Malgré ces variations, toutes les valeurs restent dans les limites recommandées par la (FAO,1976), qui fixe un seuil acceptable entre 250 et 500 mg/L pour l'irrigation afin d'éviter les effets néfastes sur les cultures et les sols. Ainsi, l'eau analysée est considérée comme adaptée à l'irrigation en ce qui concerne la teneur en sulfates.

Même s'il n'y a aucune recommandation des sulfates pour l'eau d'irrigation, certains auteurs tels que Doucet (2006) soulève quelques problématiques associées à la présence ou l'absence des sulfates dans les eaux d'irrigation.

11.1.1.13. Chlorures

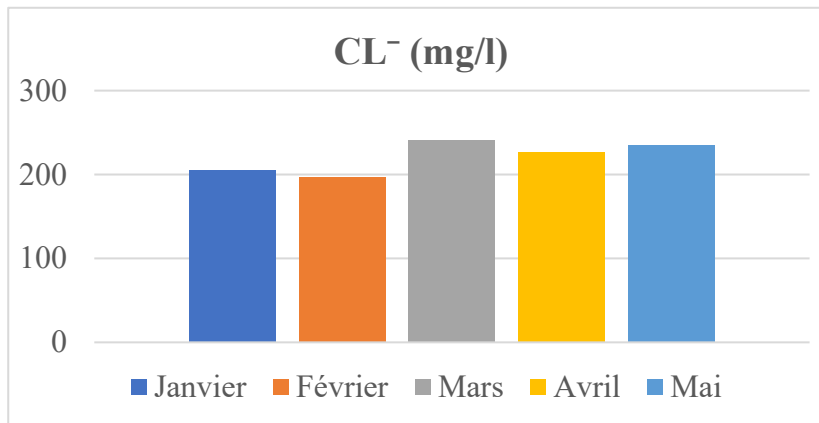


Figure 55: Variations spatio-temporelle des teneurs en chlorures des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

D'après cette figure (55) pendant la période de Janvier à Mai, les concentrations en chlorures (Cl^-) dans les eaux usées traitées ont affiché une variation modérée, oscillant entre 197,15 mg/L en Février et 240,36 mg/L en mars. En Janvier (205,36 mg/L) et Février, les concentrations restent relativement basses et stables, ce qui reflète une qualité d'eau généralement satisfaisante. Cependant, une augmentation notable est observée en mars, atteignant 240,36 mg/L, valeur proche de la limite recommandée. Cette élévation pourrait résulter soit d'une baisse temporaire de l'efficacité du système de traitement, soit d'un apport externe en sels, notamment d'origine domestique ou industrielle.

En avril (226,9 mg/L) et mai (235,12 mg/L), les valeurs demeurent élevées mais restent en dessous du seuil maximal de 250 mg/L établi par la (FAO,1976) pour l'irrigation. Dépasser ce seuil pourrait entraîner des risques de salinisation des sols ou de toxicité ionique pour certaines cultures sensibles.

Les chlorures peuvent causer des dommages lorsque des niveaux excessifs de chlorure sont présents dans l'eau d'irrigation, en particulier par pulvérisation (Couture, 2006).

11.1.1.14. Bicarbonates

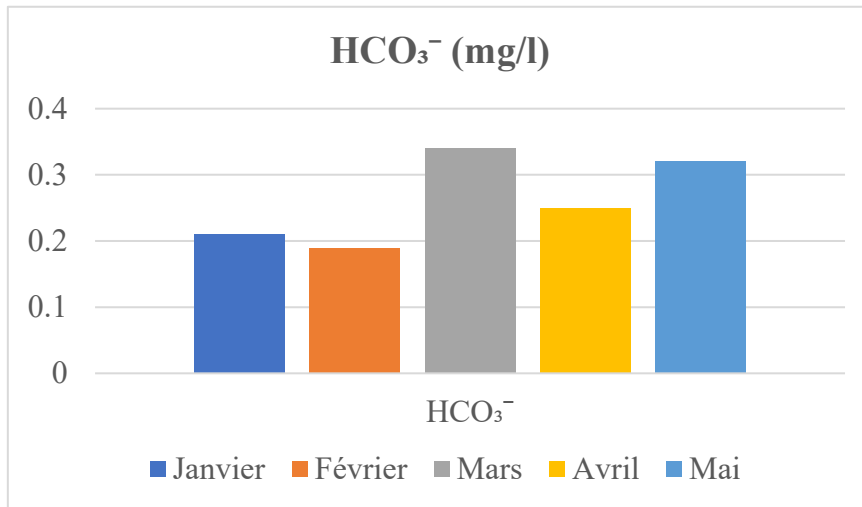


Figure 56 : Variations spatio-temporelle des teneurs en bicarbonates des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Au cours de la période de janvier à mai, les concentrations en bicarbonates (HCO_3^-) dans les eaux usées traitées sont restées relativement faibles, variant entre 0,19 et 0,34 mg/L. En Janvier (0,21) et février (0,19), les valeurs étaient basses et stables, indiquant une alcalinité modérée due aux bicarbonates. En Mars, la valeur la plus élevée a été enregistrée (0,34 mg/L), suivie par Avril (0,25) et Mai (0,32), ce qui montre une légère fluctuation sans incidence notable sur la qualité de l'eau.

Selon les recommandations de la (FAO, 1976), les concentrations en bicarbonates dans les eaux d'irrigation ne doivent pas dépasser 1,5 mg/L, afin d'éviter la précipitation du calcium et du magnésium dans les sols, ce qui pourrait nuire à leur perméabilité. Étant donné que toutes les valeurs mesurées sont largement inférieures à ce seuil, l'eau peut être considérée comme totalement sûre du point de vue de la teneur en bicarbonates, même en cas d'usage prolongé pour l'irrigation.

Les bicarbonates peuvent nuire à la fertilité du sol si l'on utilise de l'eau d'irrigation à forte teneur pendant plusieurs décennies (Eaton, 1950).

11.1.1.15. Calcium

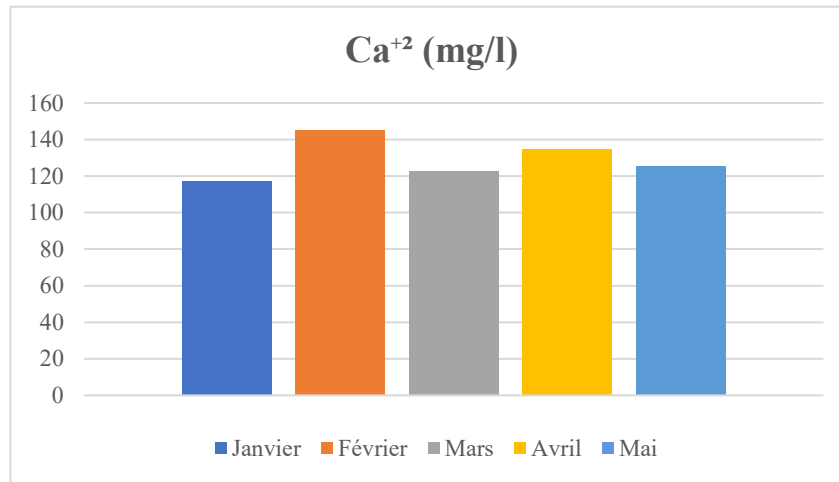


Figure 57 : Variations spatio-temporelle des teneurs en calcium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

D'après les résultats obtenus, les concentrations en calcium (Ca^{2+}) dans les eaux usées traitées ont montré une variation modérée, oscillant entre 117,06 mg/L et 145,23 mg/L. En Janvier (117,06 mg/L), la valeur la plus basse a été enregistrée, tandis qu'en février (145,23 mg/L), la concentration la plus élevée a été notée, ce qui pourrait indiquer une contribution externe, comme des rejets industriels ou un changement dans la composition des eaux usées brutes.

En mars (122,5 mg/L), avril (134,67 mg/L) et mai (125,36 mg/L), les valeurs sont restées modérées et relativement stables, traduisant un équilibre dans la concentration en calcium au cours de cette période.

Selon les recommandations de **la FAO** la concentration de (Ca^{2+}) entre (0 et 400 mg/l) est généralement acceptable pour l'irrigation.

Ces teneurs contribuent positivement à la stabilité structurale des sols en limitant la dispersion des particules argileuses, notamment dans les sols sodiques (**Ayers et Westcot, 1985**)

11.1.1.16. Magnésium

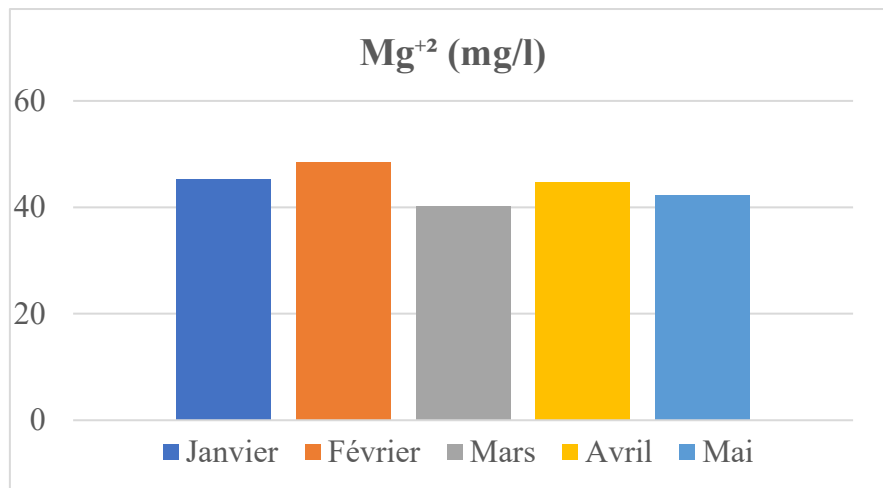


Figure 58 : Variations spatio-temporelle des teneurs en magnésium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

Selon la figure (59) les concentrations en magnésium (Mg^{2+}) dans les eaux usées traitées varient entre 40,2 mg/L et 48,5 mg/L, montrant une légère fluctuation tout en restant dans une plage acceptable.

Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en Janvier (45,23 mg/L) et en Février (48,5 mg/L), ce qui pourrait être lié à la nature des eaux usées ou à l'influence des sols environnants.

La valeur la plus basse a été notée en Mars (40,2 mg/L), indiquant une amélioration relative de la qualité de l'eau à ce niveau.

En Avril (44,71 mg/L) et Mai (42,32 mg/L), les concentrations sont restées relativement stables, traduisant une performance acceptable du système de traitement.

Selon les recommandations de la (FAO,1976), la concentration maximale tolérable de magnésium dans les eaux d'irrigation se situe entre 50 et 60 mg/L, afin d'éviter les effets négatifs sur la structure du sol et l'absorption des éléments nutritifs par les plantes. Étant donné que toutes les valeurs enregistrées restent inférieures à cette limite, l'eau est considérée comme adéquate en termes de teneur en magnésium, sans risque majeur pour les cultures ou les sols, à condition que les autres paramètres de qualité soient également maîtrisés.

11.1.1.17. Sodium

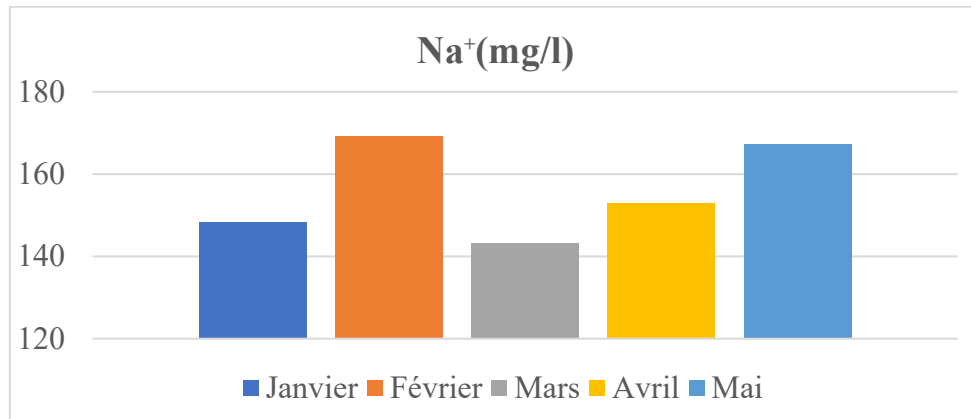


Figure 59 : Variations spatio-temporelle des teneurs en sodium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

D'après les résultats, la concentration en sodium (Na^+) dans les eaux usées traitées varie entre 143,25 mg/L et 169,14 mg/L, indiquant une fluctuation modérée au cours de la période. La valeur la plus élevée a été enregistrée en Février (169,14 mg/L), suivie de près par Mai (167,25 mg/L), ce qui pourrait être dû à une augmentation des rejets domestiques ou industriels riches en sodium.

En revanche, la concentration la plus basse a été notée en Mars (143,25 mg/L), ce qui peut refléter un meilleur rendement du traitement ou une dilution des eaux usées. En Janvier (148,23 mg/L) et Avril (152,89 mg/L), les concentrations se situent à un niveau intermédiaire, traduisant une certaine stabilité.

Selon les recommandations de la (FAO,1976), la concentration de sodium dans les eaux d'irrigation ne devrait pas dépasser 200 mg/L, afin d'éviter les effets négatifs sur la structure des sols et la croissance des cultures sensibles.

Comme toutes les valeurs observées restent en dessous de ce seuil, l'eau est considérée comme adaptée du point de vue du sodium, avec un risque faible pour l'agriculture, à condition de maintenir une surveillance régulière en cas d'utilisation prolongée.

11.1.1.18. Potassium

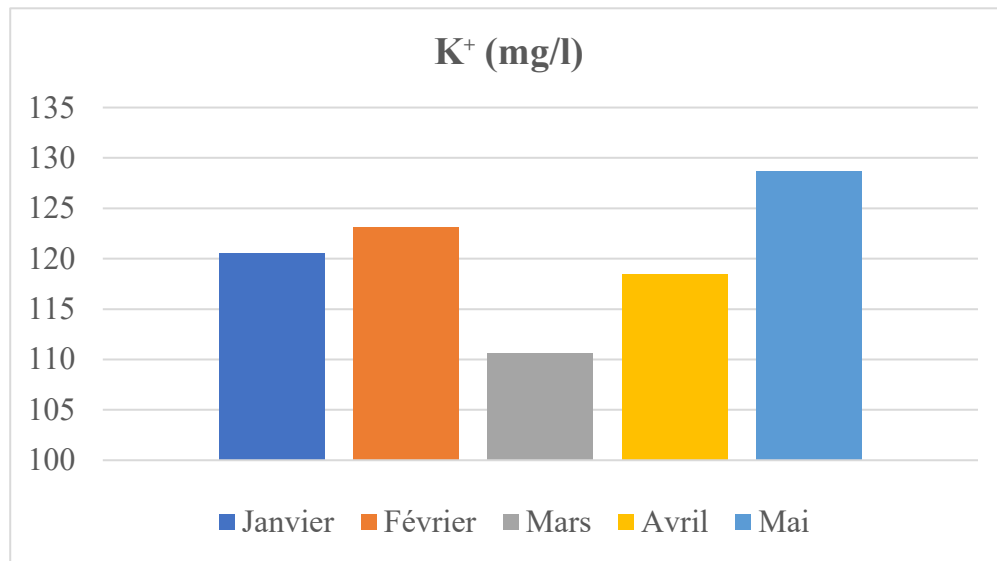


Figure 60 : Variations spatio-temporelle des teneurs en potassium des eaux usées traitées de la STEP sidi Merouane

D'après les résultats obtenus, les concentrations de potassium (K^+) dans les eaux usées traitées varient entre 110,65 mg/L et 128,69 mg/L, ce qui reflète une stabilité relative avec de légères fluctuations au cours des cinq mois.

La concentration la plus basse a été enregistrée en mars (110,65 mg/L), tandis que la plus élevée a été observée en Mai (128,69 mg/L), ce qui pourrait indiquer des variations dans la composition des eaux usées ou dans l'efficacité du traitement.

En Janvier (120,56 mg/L), Février (123,12 mg/L) et Avril (118,48 mg/L), les valeurs sont restées proches, traduisant une constance globale du taux de potassium.

Bien que la **FAO** ne fixe pas de seuil strict pour la concentration de potassium dans les eaux d'irrigation, des niveaux élevés peuvent perturber l'équilibre des nutriments dans le sol, notamment en cas d'irrigation prolongée. Toutefois, le potassium étant un élément essentiel pour la croissance des plantes, les concentrations mesurées ici sont considérées comme acceptables, voire bénéfiques pour l'agriculture, à condition de surveiller les autres paramètres pour maintenir l'équilibre du sol.

11.1.2. Les indices de la qualité de l'eau d'irrigation

Tableau 30 : Variations spatiotemporelle des indices de la qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de Sidi Merouane destiné à l'irrigation

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Na(%)	49,9±12,51	48,7±11,47	49,3±13,50	48,5±11,56	52,3±13,52
SAR (méq/L)	2,94±0,67	3,10±0,53	2,87±0,37	2,92±1,14	3,29±1,13
MH (méq/L)	27,87±13,27	25,03±11,43	24,71±12,44	24,93±11,78	25,23±13,59
PI (%)	40,59±12,45	39,82±13,78	40,24±11,54	39,34±12,34	43,14±11,98
KR (méq/L)	0,67±0,06	0,65±0,02	0,66±0,03	0,64±0,01	0,75±0,23

11.1.2.1. Le pourcentage du sodium (Na%)

Les résultats ont montré que le pourcentage de sodium dans les eaux traitées de la station d'épuration de Sidi Marouane varie entre 48,5 % au mois d'avril et 52,3 % au mois de Mai. Ces taux peuvent influencer la qualité de l'eau pour l'irrigation, car une concentration élevée en sodium peut entraîner la salinisation des sols, ce qui a des effets négatifs sur les plantes.

Il est à noter que ces pourcentages varient légèrement d'un mois à l'autre, ce qui pourrait indiquer des changements dans la qualité de l'eau ou dans les conditions d'exploitation de la station.

Selon la **FAO**, le pourcentage de sodium dans l'eau utilisée pour l'irrigation doit être inférieur à 69 % pour être considéré comme sûr et utilisable sans restrictions. Si le pourcentage se situe entre 69 % et 230 %, l'eau peut être utilisée pour l'irrigation, mais avec certaines restrictions. En revanche, si le pourcentage dépasse 230 %, l'eau est considérée comme impropre à l'irrigation.

En comparant les résultats (entre 48,5 % et 52,3 %) aux normes mentionnées, nous constatons que le pourcentage de sodium dans les eaux traitées de la station de Sidi Marouane se situe dans la plage sécuritaire pour l'irrigation sans restrictions, conformément aux normes de la FAO.

Un taux élevé de sodium dans l'eau d'irrigation n'est pas directement toxique pour les plantes, mais il entraîne la désagrégation de la structure granulaire du sol et la baisse de la perméabilité du sol à l'eau et à l'air ainsi la diminution de l'absorption des nutriments par les racines et aussi la réduction de la productivité agricole à long terme (**Ayers et Westcot, 1985**)

11.1.2.2. Sodium Adsorption Ratio (SAR)

Pendant la période de Janvier à Mai, le taux d'absorption du sodium (SAR) dans les eaux traitées a varié entre 2,87 et 3,29, ce qui reflète une stabilité relative de la qualité de l'eau en termes d'équilibre entre le sodium, le calcium et le magnésium.

Selon les recommandations de la **FAO**, ce qui indique que l'eau ne présente pas de risque majeur pour la structure du sol, en particulier dans des conditions de sol bien drainé. La valeur la plus basse a été observée en mars 2,87 (meq/l), tandis que la valeur la plus élevée a été enregistrée en mai 3,29, restant proche de la limite entre le risque faible et moyen. En général, ces eaux sont appropriées pour l'irrigation agricole, mais il est important de continuer à surveiller le SAR de manière périodique.

Le sodium affecte également directement la salinité totale de l'eau et peut être toxique pour les cultures sensibles, par exemple : carottes, haricots, fraises, framboises, oignons. Des niveaux de sodium modérés à élevés défolieront les plantes sensibles si l'eau passe par le système d'arrosage et est pauvre en calcium et en magnésium (**Murtaza et al., 2010**).

11.1.2.3. Magnésium hazard (MH)

Les valeurs de MH présentent une variabilité modérée durant la période de Janvier à Mai, avec des valeurs allant de 24,71 à 27,87 méq/L. La valeur la plus élevée a été enregistrée en Janvier 27,87 méq/L, tandis que la plus basse a été observée en Mars 24,71 méq/L. Globalement, les données montrent une stabilité relative des concentrations en ions magnésium, ce qui pourrait indiquer des fluctuations ponctuelles dans la composition de l'eau.

La **FAO** fixe des limites pour la teneur en magnésium dans l'eau d'irrigation, car une teneur élevée peut nuire à l'aération du sol et à l'absorption des éléments nutritifs par les racines. Les valeurs du tableau sont moyennes ; elles ne sont pas dangereuses, mais méritent d'être surveillées, en particulier dans les sols argileux.

Une concentration élevée de magnésium dans l'eau d'irrigation peut détériorer la structure du sol, en particulier dans les sols argileux, car elle provoque l'agglomération des particules et réduit l'aération. Cela diminue également la capacité des racines à absorber des éléments nutritifs tels que le calcium et le potassium. Il est donc recommandé de surveiller sa teneur pour éviter les problèmes de fertilité du sol (**Rhoades et al., 1992**).

11.1.2.4. Indice de perméabilité (PI)

Selon les résultats obtenus, les valeurs de l'indice de perméabilité (PI) des eaux usées traitées oscillent entre 39,34 % et 43,14 %, traduisant une stabilité relative au cours des cinq mois étudiés. La valeur la plus faible a été enregistrée en Avril 39,34 %, tandis que la plus élevée a été observée en Mai 43,14 %, ce qui pourrait être lié à une variation de la teneur en sodium ou à un effet saisonnier (augmentation de l'évaporation). Les mois de Janvier 40,59 %, Février 39,82 % et Mars 40,24 % montrent des valeurs très proches, suggérant une constance générale de la qualité vis-à-vis de la perméabilité. Ces résultats placent l'eau dans la catégorie des eaux modérément adaptées à l'irrigation, selon la classification de Doneen (1964).

La **FAO** utilise l'indice PI pour évaluer l'effet de l'eau d'irrigation sur la perméabilité du sol. Si le PI est supérieur à 35 % dans le tableau entre 39,34 et 43,14, cela signifie que l'eau est de bonne qualité et ne provoque pas l'obstruction des pores du sol.

La **FAO** recommande une valeur élevée du PI pour maintenir la qualité du sol.

Un PI élevé supérieur à 35 % indique que l'eau n'affectera pas négativement la perméabilité du sol, ce qui signifie que le sol restera bien aéré et permettra la circulation de l'eau et des racines. Si le PI est faible, cela peut indiquer un risque d'obstruction des pores, réduisant l'absorption de l'eau et limitant ainsi l'efficacité de l'irrigation et la croissance des plantes (**Ayers et Westcot, 1985**).

11.1.2.5. Ratio de Kelly (KR)

En ce qui concerne le (KR), les valeurs mensuelles varient entre 0,64 et 0,75 méq/L. Toutes ces valeurs restent inférieures à 1, ce qui indique que les eaux sont globalement adaptées à l'irrigation selon le critère de Kelley (1951). La valeur maximale a été relevée en Mai 0,75 méq/L, traduisant une légère augmentation de la charge sodique par rapport aux ions calcium et magnésium, probablement due à un changement dans la composition des eaux usées ou à des

facteurs climatiques. Les autres mois présentent des valeurs relativement stables entre 0,64 et 0,67 méq/L, témoignant d'un équilibre ionique adéquat pour une utilisation agricole.

Le KR est un indicateur important pour la FAO afin de déterminer la qualité de l'eau d'irrigation. Si le KR est inférieur à 1 dans le tableau entre 0,64 et 0,75, cela signifie que l'eau est adaptée à l'irrigation et qu'il n'y a pas de risque important d'accumulation de sodium par rapport au calcium et au magnésium.

Le KR est utilisé pour évaluer le risque d'accumulation de sodium. Si la valeur est inférieure à 1, cela signifie que la concentration de sodium est faible par rapport au calcium et au magnésium, ce qui rend l'eau sûre pour l'irrigation. En revanche, si elle dépasse 1, cela peut entraîner une accumulation de sodium (**Richards, 1954**).

11.1.3. Les diagrammes de la qualité de l'eau

11.1.3.1. Diagramme de Piper

Ordre de dominance des cations:

$\text{Ca} > \text{Na} + \text{K} > \text{Mg}$

Le calcium est l'élément dominant, suivi par le sodium et le potassium, puis le magnésium.

Ordre de dominance des anions:

$\text{SO}_4 > \text{Cl} + \text{NO}_3 > \text{HCO}_3$

Les sulfates dominent, suivis par les chlorures et les nitrates, puis les bicarbonates.

Afin de déterminer les caractéristiques chimiques des eaux usées traitées de la station de Sidi Merouane, les concentrations des principaux éléments ont été reportées sur le diagramme de Piper. Les résultats représentés par les points E1 jusqu'à E5 reflètent les prélèvements du mois de janvier jusqu'à mai, indiquent que le faciès chimique dominant est : **Eaux chlorurées et sulfatées calcique et magnésienne** (Eaux riches en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-}) (**Figure 60**).

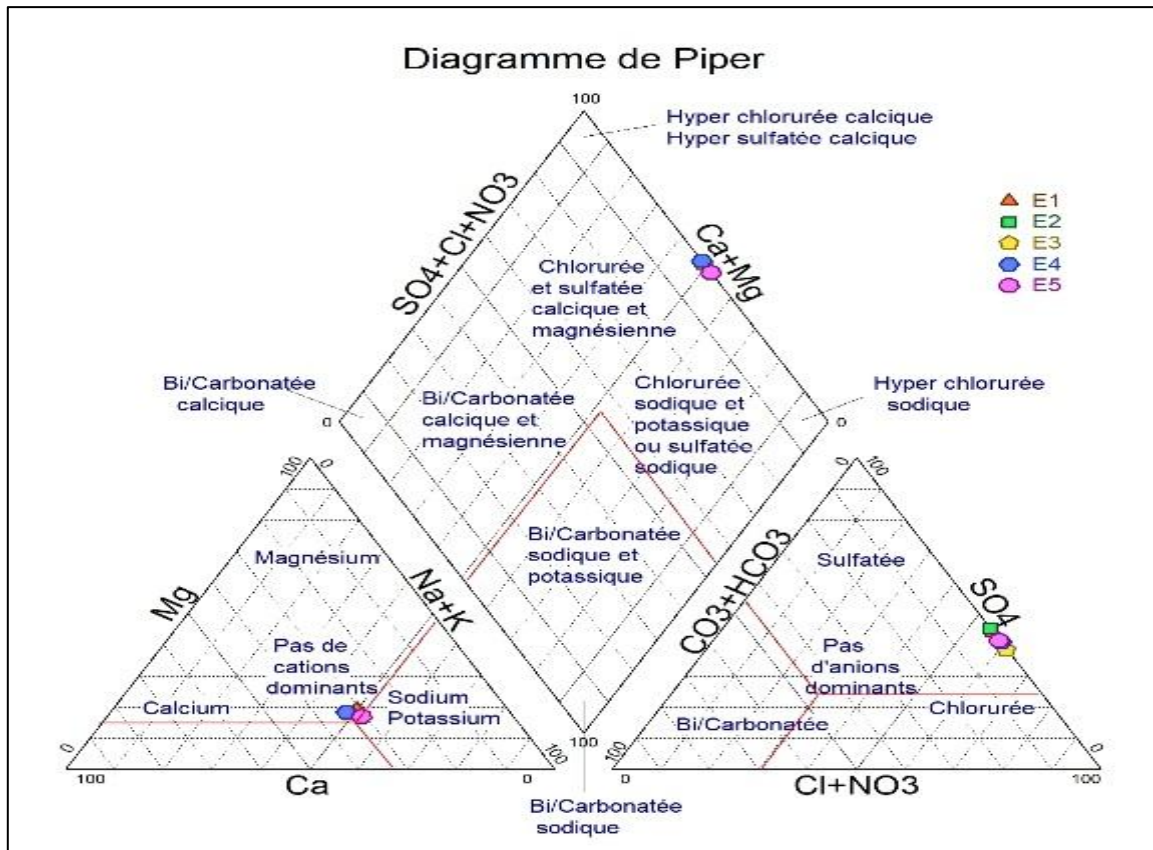


Figure 61 : Diagramme de piper des eaux d'irrigation de la STEP de sidi Merouane.

11.1.3.2. Diagramme de Wilcox

Une directive a été établie par l'USDA laboratoire de salinité dans (**Freeze et Cherry ,1979**) pour déterminer la pertinence de l'eau pour l'irrigation en fonction des CE et Na%. Selon cette dernière le diagramme de Wilcox montre que les eaux des prélèvements des 5 mois E1 à E5 sont classées comme **admissibles** à l'irrigation. Elles présentent une salinité modérée (CE entre 1300 et 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et un taux de sodium relativement élevé (entre 48 % et 55 %), des caractéristiques à prendre en compte selon le type de sol.

Ainsi, il est recommandé d'adopter des pratiques de gestion appropriées, telles que l'amélioration du drainage ou le mélange avec des eaux de meilleure qualité, afin d'assurer une utilisation durable et efficace de ces ressources.

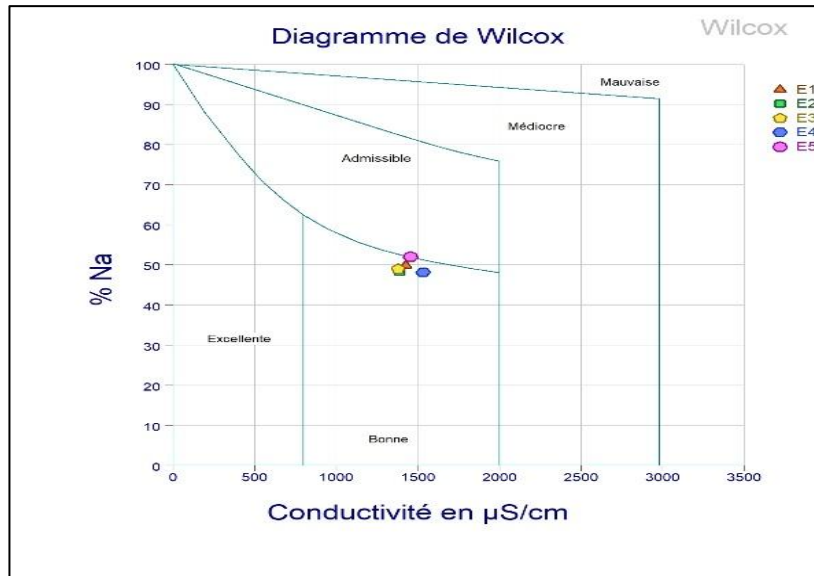


Figure 62: Diagramme de Wilcox des eaux d'irrigation de la STEP de Sidi Merouane.

11.1.3.3. Diagramme de Richards Riverside

Au United States Salinity Laboratory (USSL), en utilisant le diagramme de Richards (1954) qui a divisé la pertinence de l'eau d'irrigation en quatre catégories : C1 (faible salinité), C2 (salinité modérée), C3 (salinité élevée), C4 (salinité très élevée) et C5 (faible). Basé sur le risque de sodium S1 (faible), S2 (modéré), S3 (élevé) et S4 (très élevé) (Brindha et al., 2014).

Le diagramme de Riverside montre que tous les prélèvements (E1 à E5) se situent dans la zone **C3-S1**, caractérisée par une **salinité élevée** et un **pouvoir alcalinisant faible** (SAR bas).

Cela signifie que ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation, mais avec précaution, notamment en veillant à **un bon drainage** et à la **sélection de cultures tolérantes à la salinité**. Le risque de sodisation des sols est faible, mais la **salinité importante** peut affecter certaines cultures sensibles si l'eau est utilisée sans gestion adaptée.

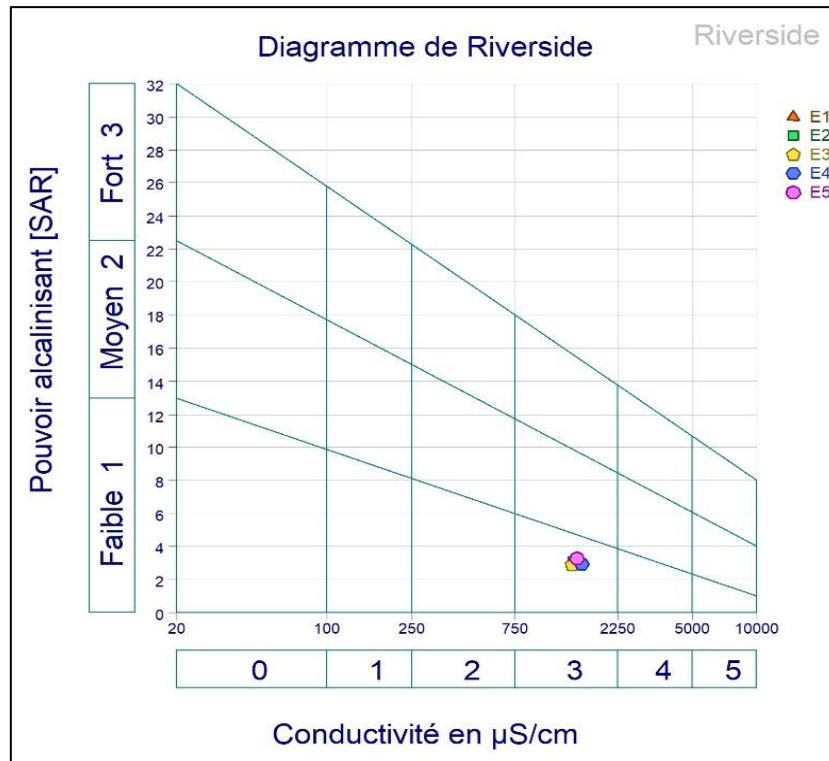


Figure 63: Diagramme de Richards Riverside des eaux d'irrigation de la STEP de Sidi Merouane.

12.2. Étude statistique

12.1. Analyses des composantes principales

Une matrice de données, constituée de 16 paramètres représentant les principales constitutions des eaux traitées de la STEP de Sidi Merouane destiné à l'irrigation et les 5 prélèvements (5 mois) a été soumise à un ACP. Expliquant respectivement 44,56 % et 28,59%, les deux axes de l'analyse en composantes principales rendent compte de 73,15% de la variation totale. On constate la présence de 5 groupes distincts comme l'indique la figure (64) :

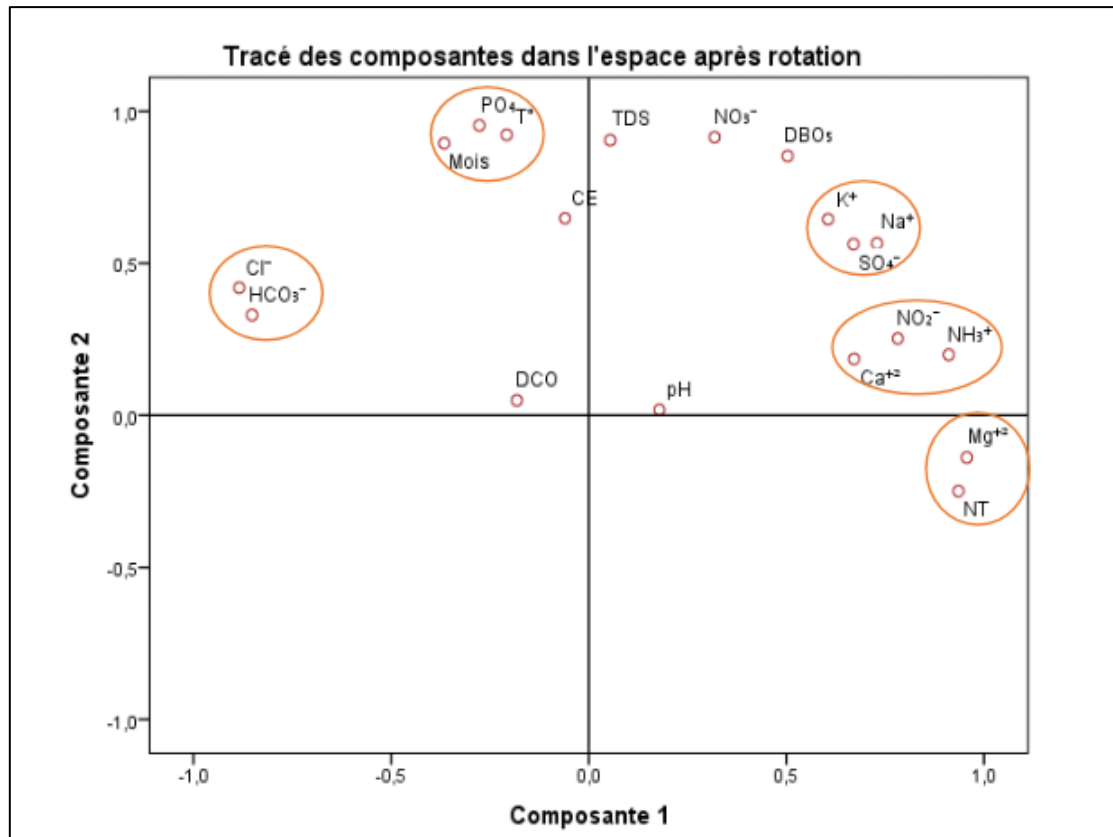


Figure 64: Analyses des composantes principales

1- Na^+ , K^+ , SO_4^- .

2- NO_2^- , NH_3^+ , Ca^{+2} .

3- Mg^{+2} , NT.

4- T° , Mois, PO_4^- .

5- Cl^- , HCO_3^- .

L'axe 1 établit une forte opposition entre Na^+ , K^+ , SO_4^- , NO_2^- , NH_3^+ , Ca^{+2} , DBO_5 , NO_3^- , TDS, pH d'une part, et les T° , Mois, PO_4^- , Cl^- , HCO_3^- d'autre part. L'axe 2 est positivement lié à tous les paramètres sauf Mg^{+2} , NT.

Conclusion

Conclusion

Dans un contexte marqué par le stress hydrique croissant et la pression sur les ressources naturelles, la réutilisation des eaux usées traitées s'inscrit comme une solution incontournable, particulièrement en agriculture où la demande en eau reste la plus importante. À travers cette étude, nous avons évalué la qualité physico-chimique des eaux épurées issues de la station de Sidi Marouane, dans la wilaya de Mila, dans le but de déterminer leur aptitude à l'irrigation et leur conformité aux normes en vigueur.

Les résultats analytiques obtenus sur une période de cinq mois ont permis de caractériser une eau neutre à légèrement alcaline, avec une conductivité électrique modérée et une teneur en sels dissous relativement stable. Ces caractéristiques traduisent une salinité acceptable pour la majorité des cultures, bien que certaines précautions soient nécessaires pour les espèces les plus sensibles. Les concentrations mesurées en éléments nutritifs tels que les nitrates et les phosphates se sont avérées en grande partie conformes aux seuils recommandés, avec quelques élévations ponctuelles en mai, sans impact critique.

Les différents indices agronomiques utilisés, notamment le rapport d'adsorption du sodium (SAR), le pourcentage de sodium (Na%) et le coefficient de Kelly (KR), ont indiqué que cette eau est globalement adaptée à l'irrigation à condition qu'elle soit utilisée dans des sols bien drainés. L'interprétation des diagrammes de Wilcox et de Riverside a confirmé la classification de cette eau comme modérément à fortement saline, mais avec un risque sodique faible. De plus, le faciès chimique révélé par le diagramme de Piper témoigne d'une origine mixte, influencée à la fois par les rejets domestiques et les caractéristiques géologiques locales.

En définitive, les eaux usées traitées de la station de Sidi Marouane présentent un potentiel réel pour une réutilisation agricole maîtrisée. Toutefois, cette valorisation nécessite une gestion technique rigoureuse, comprenant un suivi régulier de la qualité de l'eau et des sols, une attention particulière au drainage, ainsi qu'un choix judicieux des cultures à irriguer. Le recours éventuel à un mélange avec des eaux de meilleure qualité pourrait également optimiser leur usage.

Ainsi, cette étude met en lumière l'intérêt environnemental et économique de la réutilisation des eaux usées traitées, tout en soulignant la nécessité d'un encadrement technique

Conclusion

et réglementaire pour garantir une utilisation durable, respectueuse des écosystèmes et bénéfique pour la sécurité alimentaire locale.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Abdelloua, S et Boulemzaoud, N (2017) : Evaluation de la contamination des eaux du Barrage Beni Haroun par les polluants organiques persistants (pops)- Université Med-Seddik Benyahia- Jijel. Thèse De Doctorat.
2. Abid L. (2014), La couverture sanitaire dans la wilaya de Mila. Disponible sur le site : <http://www.santemaghreb.com/algerie/visio.asp?titre=La%20couverture%20sanitaire%2>
3. Agrigon, A. (2000). Annuaire de la qualité des eaux et des sédiments. Dunod, 206 p.
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. et Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome.
5. Alley E.R ,(2007).Water quality control handbook. v 2. New york: mcgraw-hill.
6. Amira, L., Chabah R., 2014. Evaluation des paramètres physico-chimiques des eaux usées dans la station d'épuration de Sidi Merouane (w. Mila). Mémoire de master. Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf. Mila., 08, 70p.
7. Amorce, (2012). Boues de station d'épuration : Techniques de traitement, valorisation et élimination. Note, Série Technique DT 51, France, 36 p.
8. Andreozzi, R., Raffeale M., Nicklas P., 2003. Pharmaceuticals in STP effluent and solar photodégradation in aquatic environment, chemosphere, 1319p.
9. Anonyme « Archive de station d'épuration de sidi Merouane ».
10. Asano, T. (1998). Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library. Crc press. 1475 p.
11. Atmania, D., (2010). Minéralogie des argiles et phénomène de retrait-Gonflement dans le bassin de Mila (Nord constantinois). Thèse de doctorat. Université Mentouri, Constantine. P 172.
12. Attab S., (2011). Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurée par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local » Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
13. Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
14. Ayers, R.S., Westcot, D.W., (1994). Water quality for agriculture—FAO irrigation and drainage paper 29 Rev.1. Food and Agriculture Organization of the United Nation —FAO, Rome, Italy.

15. Bakiri Z., (2007). Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : expérimentation et modélisation. Mémoire de magister : Génie Chimique, université Ferhat Abbas Sétif, p : 14 – 20.
16. Baumont S., Camard J.P., le Franc, A et Franconi A., (2005). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Ile de France, institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile de France, 11,15-31p.
17. Baumont, S., Camard, J.P., Lefranc, A., and Franconi, A. (2004). Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Ed Ecole nationale supérieure agronomique de Toulouse, (Toulouse), 220.
18. Bedouh Y., (2014). Evaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* », 47-52p.
19. Belaid, N., Neel, C., Kallel, M., Ayoub, T., Ayadi, A., Baudu, M. (2010). Effects of treated wastewater irrigation on soil salinity and sodicity in Sfax (Tunisia): a case study. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 23(2), 133-146
20. Beldi H. (2022), Influence des facteurs écologiques sur l'accumulation des métabolites secondaires chez *Aristolochia longa* L. et *Capparis spinosa* L. Thèse de Doctorat, Biodiversité et Valorisation des Ressources Naturelles, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.
21. Belhmadi M et Seddik O., (2011). Etude de la biodégradation du 2,4dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'ibn ziad. Mémoire de magister en microbiologie appliquée et biotechnologie microbienne université mentouri, Constantine, Algérie.84p.
22. Ben Chehem M., Bouazza H et Labbaz L., (2014). Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole. Mémoire de Licence en Sciences de la nature et de la vie «» université kasdi merbah, Ouargla, Algérie. 42p.
23. Benfiala I et Haouli Z. (2017).Le rendement épuratoire de la station d'épuration de la ville de Guelma ; Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Hydraulique ; Université Badji Mokhtar ; Annaba.p113.
24. Bengouga Khalila .(2010). Contribution à l'étude du rôle de la végétation dans l'épuration des eaux usées dans les régions arides, Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Magister en Agronomie, université Mohammed Khider, Biskra.
25. Bouaroudj, S. (2021). Évaluation des impacts de l'irrigation par les eaux du barrage de BENI HAROUN sur les plantes et les sols de la région de Mila .Thèse de doctorat

Université des Frères Mentouri Constantine 1, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

26. Bouchair Kh et Bouafia Gh. (2017). Etude de la microfaune de boue activée : Station d'épuration des eaux usées de Sidi Merouane, Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en Biochimie, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila
27. Bouchouareb M et Bendaas A., (2015). « Analyse de filière boues de la station d'épuration de Ain Beida ». Mémoire de master hydraulique urbain. Université d'Oum el Bouaghi. 111p.
28. Bouderbala, A. (2015). Assessment of groundwater quality and its suitability for agricultural uses in the Nador Plain, north of Algeria. *Water Quality, Exposure and Health*, 7(4), 445-457.
29. Boumalek, W. (2020). Études des possibilités de valorisation agricole des sous-produits d'épuration et l'amélioration de la gestion des processus évaporatoires d'une station d'épuration. Thèse de Doctorat, École Nationale Polytechnique, Alger.
30. Bourrier, R., Satin, M., Selmi, B. (2017). Guide technique de l'assainissement, collecte - épuration - conception – exploitation ,5ème édition, 70p.
31. Bremond R., Perrodon R., 1989. Les paramètres de la qualité de l'eau, la documentation française, paris, 173p.
32. Brindha, K., Neena Vaman, K., Srinivasan, M., Sathis Babu, L. Elango. (2014). Identification of Surface Water-Groundwater Interaction by Hydrogeochemical Indicators and Assessing Its Suitability for Drinking and Irrigational Purposes in Chennai, Southern India. *Applied Water Science*: 159–74.
33. Cauchi, H., Nakache, S. D., Zagury, B., Carré, C., Denis, D., Larbaigt, D., & Martigne, S. (1996). "Dossier: la réutilisation des eaux usées après épuration". *Techniques, Sciences et Méthodes*, n°2, pp.81-118.
34. Ceaq. (2016). Détermination de la demande chimique en oxygène : méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium, ma, 315 – dco 1.1, rév. 4, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques du Québec, P12.
35. Debieche, T. H. (2002). Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle : application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien ; Thèse de Doctorat, Université de Franche-Comté, France.

36. Dekhil, Saad. (1991). L'eau et Le Développement de L'irrigation En Algérie. MEDIT W 1-2/91.
37. Degremont.(1989).Mémoire technique de l'eau, Technique et documentation, tome 1, P : 5, 24-25.
- 38.Devillers J., (2005). Les paramètres physicochimiques . Paris, 1-2p.
- 39.Djeddi H., (2006). Utilisation de l'eau d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Mémoire magister en écologie et environnement. Université Mentouri Constantine 144p.
40. Doneen, L. D. (1964). Notes sur la qualité de l'eau en agriculture. Université de Californie, Davis.
41. Dore, M., (1989). Chimie des oxydants et traitement des eaux, Edition Lavoisier.
- 42.Draredja B., (2007). Structure et fonctionnement d'un milieu lagunaire méditerranéen lagune mellah (El-Kala, Algerie nord-est). Doctorat d'état en sciences de la mer. Université Badji Mokhtar – Annaba. 204p.
43. Dreux, P., (1980). Précis d'écologie. Presse université. France. Paris. Pp 231, 229,1260.
44. El Hammoumi, N., Sinan,M., Lekhlif,B., EL Mahjoub,L.(2012). Évaluation de La Qualité Des Eaux Souterraines Pour L'utilisation Dans L'eau Potable et L'agriculture : Plaine de Tadla, Maroc. Afrique Science 8(1): 54–66.
45. Exall, K. (2004). A review of water reuse and recycling, with reference to Canadian practice and potential: 2. Applications. Water Quality Research Journal, 39(1), 13-28
46. Faby J.A. et Brissaud F. (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Compte rendu d'étude de l'Office International de l'Eau, mai 1997, 82 p.
47. Falizi, N.J., Hacıfazlıoğlu, M.C., Parlar, İ., Kabay, N., Pek, T.Ö., Yüksel, M., 2018: Evaluation of MBR treated industrial wastewater quality before and after desalination by NF and RO processes for agricultural reuse. J. Water Process Eng. 22, 103–108. doi: 10.1016/j.jwpe.2018.01.015
48. FAO (2003), L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, p 73.
49. FAO. (1976). Water Quality for Agriculture, R. S. Ayers and D. W. Westcot Irrigation and Drainage Paper 29, FAO, Rome.
50. Farahat, E., Linderholm, H. W. (2015). The effect of long-term wastewater irrigation on accumulation and transfer of heavy metals in Cupressus sempervirens leaves and adjacent soils. Science of the Total Environment, 512, 1-7.

51. Freeze, RA., Cherry ,JA. (1979). Groundwater. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 604.
52. Gaid Abdelkader., (1993). Traitement des eaux usées urbaines .28p.
53. Grosclaude G., (1999). L'eau usages et polluants. Ed INRA.
54. Habbari, K., Tifnouti, Aziz, Bitton, Gabriel., Mandil, Ahmed, (2000). Geohelminthic infections associated with raw wastewater use for agricultural purposes in Beni- Mellal. *Prasitology International* 48, 249–254.
55. Hadj-Sadok. 1999. Modélisation et estimation dans les bioréacteurs, prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau, Thèse de doctorat science de l'ingénieur. Nice-sohia Antipolis, 267p.
56. Hannachi, A., Gharzouli, R., Tabet, Y. D. (2014). Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie. *LARHYSS Journal* P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2602-7828, (19).
57. Hopkins, Bryan G., Donald, A Horneck., Robert, G Stevens., Jason, W Ellsworth., Dan, M Sullivan., (2007). Managing Irrigation Water Quality for crop production in the Pacific Northwest. A Pacific Northwest Extension publication Oregon State University, University of Idaho, Washington State University.24p.
58. Idder, T. (1998). La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien : Impact des rejets d'origine agricole et urbain et techniques de remédiations proposées, L'exemple de Ouargla. [Thèse de doctorat, Université d'Angers] France.
59. Idder, T., Laouali, S., Boubakar, Y., Kwa, R., Mahmoudou, A., & Aissatou, Y. (2005). Etude préliminaire de l'utilisation des sous produits du lagunage pour l'arrosage au Niger. *La Tribune de l'eau*, 58(635), 3-9.
60. Ipemed, (2013). « Etat des lieux du secteur de l'eau en Algérie » P8.
61. Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), (2011). Décret exécutif n 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif, qualité de l'eau de consommation humaine, Imprimerie Officielle, Les Vergers: Bir Mourad Raïs, Alger, Algérie, PP: 7-25.
62. Kadjoudj N. (2022), Etude bioécologique des insectes vecteurs des maladies parasitaires telles que la leishmaniose et virales à transmission vectorielle dans les régions subhumides et semi-arides, Thèse de Doctorat, Biodiversité et valorisation des ressources naturelles, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf Mila.

63. Kardache Loubna.(2016).Valorisation énergétique des boues de la station d'épuration de boumerdes, Mémoire de fin d'études pour de l'obtention du diplôme Master en Génie mécanique, Université m'hamed bougera, Boumerdes, 99p.
64. Kelly, W. P. (1963). Utilisation de l'eau saline pour l'irrigation. *Soil Science*, 95(6), 355–391.
65. Kettab A., (2017). Traitement des eaux usées urbaines et leurs réutilisations en Agriculture, 3ème édition, Édition universitaires européennes, France, p : 10 - 16.
66. Khemici Y., (2014). « Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes ». Mémoire de master. Université kasdi merbah Ouargla, Algérie.
67. Kimura., Toshimas., Amyg., Watanabe Y., (2004). Ejection of neutral endocrine disrupting compounds (EDC) and pharmaceuticals active compounds. *Journal of membrane science*, 71-78p.
68. Koller, E. (2005). Traitement des pollutions industrielles. Paris : Dunod.
69. Laala A. (2018), etages bioclimatiques de la wilaya de Mila (Algerie), Documents pareils ..., Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf -Mila- (Algerie).
70. Lacroix S., (2008). Etude des mécanismes physiologiques et moléculaires de la filamentation de *sphaerotilusnatans*, bactérie modèle du foisonnement invasif en boues activées. Thèse de doctorat. Spécialité mise en œuvre de fonctions biologiques, 303p.
71. Lahzaoula S et Boubata S et Belkessour M., (2019). Traitement des boues par filtres à bandes au niveau de la station de sidi Marouane. Mémoire de fin d'étude : Technicien supérieure en traitement des eaux, INSEP « Larbi ben mhidi », p : 18 – 30.
72. Lazarova V., Brissaud F. (2005). Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. *L'eau l'industrie Nuisances*. 299:43–53.
73. Laziri, f., (2009). Thèse de doctorat, Calculs urinaire marocains : Epidémiologie etexploration par l'analyse morpho-constitutionnelle ;p 181.
74. Lee, R. (2012). Qualité de l'eau pour l'agriculture. Dans : *Handbook of Environmental Quality*. Academic Press.
75. Lehchilli N et Benchaoui A et Benabdelaziz N. (2016).Aptitude des eaux usées épurées de la station de sidi merouane a l'irrigation,); Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en Hydraulique, Centre Universitaire Abdelhafid Boussouf, Mila,104p.
76. Loucf Seiad N., (2003). Les ressources en eau et leur utilisation dans le secteuragricole en Algérie, H.T.E, n° 125, 94-100pp.
77. Loup, J., 1974. Les eaux terrestres, Edition Masson et Cie, Paris.

78. Martin, S. and W. Griswold. (2009). Human Health Effects of Heavy Metals. Center for Hazardous Substance Research. Kansas State University.
79. Medjeldi F Zahra Hamici S. 2017.Simulation des performances épuratoires d'une station d'épuration par le modèle asml, Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme Master en Hydraulique, l'Université 08 Mai 1945, Guelma, 130p.
80. Mekhalif, F., 2009. Réutilisation Des Eaux Résiduelles Industrielles Épurées Comme Eau D'appoint Dans Un Circuit De Refroidissement, Mémoire de Magister en Chimie Option : Pollution Chimique et Environnement, Université du 20 Août 1955, SKIKDA Faculté des Sciences Département des Sciences Fondamentales, p 3-23.
81. Melghit, M., 2009. Qualité physico-chimique, pollution organique et métallique des compartiments Eau /Sédiments de l'oued Rhumel, et barrages Hammam Grouz et benharoun Université Mentouri de Constantine. Mémoire de Magistère en Ecologie. 141p.
82. Melloul, A., Badri Z., 2013. Contrôle de l'épuration les eaux usées domestiques dans un canal d'oxydation STEP de Sidi Merouane (Mila). Mémoire de master. Université de Constantine, 53p.
83. Messahel M., Benn Hafid M.S., Ouled Hocine C (2005) : Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. In: Lamaddalena N. (ed.), Lebdi F. (ed.), Todorovic M. (ed.), Bogliotti C. (ed.). Irrigation systems performance. Bari : CIHEAM, 2005. p. 61 -78 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches; n. 52).
84. Mettahri, M.S. (2012).Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes .Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. [Thèse de Doctorat]: agronomie, génie des procédés. [Tizi Ouzou] : Université de mouloud Memmeri. Algérie.
85. Mezili S et Achour A.(2017).Analyse de la cinétique de dégradation de la pollution carbonée, cas des stations d'épuration de Sidi Merouan, Oued Athmania (W. Mila), Ain Beida (W. Oum EL Bouaghi), et Timgad (W. Batna) ,Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique Urbaine ;Université Larbi Ben M'hidi, Oum-El Bouaghi,122p.
86. Murtaza, G., Ashraf, M., & Qadir, G. (2010). Effets du sodium et de la salinité sur la croissance des plantes : une revue. *Agricultural Water Management*, 97(3), 445–450.
87. Murtaza, G., Ghafoor, A., Qadir, M., Owens, G., Aziz, M.A, Zia, M.H., Saifullah, (2010). Disposal and use of sewage on agricultural lands in Pakistan: a review. *Pedo-sphere* .20, 23.34.
88. Nalco, (1983). Manuel De L'eau.14ème Edition, Tec-Doc-Lavoisier, Paris, France, 452p.

89. O.C.D.E., (1982). Eutrophisation des eaux, méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte, Organisation de Coopération et de Développement Economique Paris. 164p.99/
Raven, P.H., Berg, L.R., Hassan Zahl, D.M., N., 2009. Environnement .6ème édition Belgique, 573, 574p.
90. Office National de la Météologie (ONM). 2021. Direction régionale Est. Station météorologique d'Ain Tin. Mila. Phénomène enregistrer pour la wilaya de Mila.
91. Office Nationale de l'Assainissement. (2014). Notice d'analyses laboratoire STEP Sidi Merouane W .Mila, 16p.
92. OMS (1989) L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture : recommandations à avisées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé. Série de rapports techniques n° 778. OMS. Genève.
93. OMS, ONID (office national d'irrigation et drainage), 2020, Alger. (2012). Guide OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et deseaux résiduares, Organisation Mondiale de la santé (OMS), volII, Genève, 225 p.
94. OMS., (2006). WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, 222p.
95. ONID (office national d'irrigation et drainage), (2020), Alger.
96. ONM, (2017). Office national de météorologie de Constantine, station d'Ain El Bay, 2017.
97. Ouali, M.S. (2001).Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux, édition : OPU, Ben Aknoun, Alger (Algérie).
98. Paquet, C., & Rotbardt, A., (2011). La réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Eléments de méthodologie pour l'instruction de projets. 29p.
99. Pedrero, F., Kalavrouziotis, J., Alarcón, J.J., Koukoulakis, P., Asano, T., (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—review of some practices in Spain and Greece. Agric Water Manag. 97, 1233–1241.
100. Pereira, L.S., Cordery, I. and Iacovides, I. (2002). Coping with Water Scarcity. UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology . 58, UNESCO, Paris, 267 p.
101. Pescod MB. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 47, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
102. Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Eos, Transactions American Geophysical Union, 25(6), 914-928.
103. Pronost J, Pronost R, Deplat L, Malrieu J, Berland J.,2002. Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation, Office International de l'Eau CNFME / SNIDE, 22 : p : 04.

104. Raju, N. Janardhana, A. (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environmental Geology*, 52(6), 1067-1074.
105. Ravikumar, P., & Somashekar, R. K. (2011). Chimie des ions majeurs et études hydrochimiques des eaux souterraines de Bangalore South Taluk, Inde. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 459–485.
106. Rejsek F., (2002). Analyses des eaux, les aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, France .165-239.
107. Rhoades, J. D., Kandiah, A., & Mashali, A. M. (1992). The use of saline waters for crop production (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 48). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
108. Richards, L. A. (Ed.). (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils* (USDA Agriculture Handbook No. 60). Washington, D.C. : United States Department of Agriculture.
109. Rodier J (2009). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*. 9th Edition, Dunod, paris, p. 138.
110. Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Champsaur H. Rodi L., (2005). *L'analyse De L'eau Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer*. 8ème Ed. Dunod.1383 p.
111. Rodier, J., (1984). *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux demer*.Edition Dunod Paris.
112. Rowe, D. R., & Abdel-Magid, I. M. (1995). *Handbook of wastewater reclamation and reuse*. CRC press. 576p.
113. Roy, K., Ansari, M. S., Karim, M. R., Das, R., Mallick, B., Gain, A. K. (2015). Irrigation water quality assessment and identification of river pollution sources Bangladesh: Implications in policy and management. *J Water Resour Hydro Eng*, 4(4), 303-17.
114. Salarian, M., Najafi, M., Hosseini, S. V., Heydari, M. (2015). Classification of Zayandehrud river basin water quality regarding agriculture, drinking, and industrial usage. *American Research Journal of Civil and Structural Engineering*, 1(1). pp. 47 57.
115. Satin., Selmi., (1999). *Guide Technique de l'assainissement*, Edition le Moniteur, 2ème édition.
116. Sheikh B., Cooper R.C. and Israel K.E.,(1999). Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops: a case study. *Water Science and Technology*, 40(4-5)261-267.

117. Sou yéli, M. (2009). Recyclage des eaux usées en irrigation: potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols [Doctoral dissertation, Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne] Lausanne.
118. Soukehal, B., Cherrad, S. E. (2011). Les ressources en eau dans la wilaya de Mila :mobilisation, consommation et comportement de ménagés. Sciences & Technologie. D,Sciences de la terre, (34), 19-25.
119. Szabolcs, I., & Darab, C. (1964). Influence de l'eau d'irrigation sur les propriétés du sol. Dans Actes du 8e Congrès International de la Science du Sol, Bucarest.
120. Taak, J. K., Singh, K. P. (2014). Hydro chemical investigation of Sukhna wetland and adjoining groundwater regime. International Journal of Environmental Science and Taxonomy Research, 2(5), 108-118.
121. Tamrabet, L., Bouzerzour, H., Kribaa, M., Makhoulf, M. (2009). The effect of sewage sludge application on durum wheat (*Triticum durum*). International Journal of Agriculture and Biology, 11(6), 741-745.
122. Touafek Aicha.(2015).Etudes expérimentale de l'épuration des effluents par procédés a culture fixée, Projet de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Magister en Hydraulique, Université des sciences et de la technologie Mohamed Boudiaf, Oran.111p.
123. Trad Rais, M., & Xanthoulis, D. (2006). Rôle de la micro-irrigation dans l'atténuation des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées à des fins agricole. Vecteur Environnement, 39(2), 75-81.
124. UN Water, 2017:The 2017 edition of the United Nations World Water Development Report, entitled "Wastewater: The Untapped Resource".
125. US NRC. (2012). Water reuse: potential for expanding the nation's water supply through reuse of municipal wastewater, Washington., National Academies Press, 262p.
126. USEPA. (2012). Guidelines for water reuse. Washington, U.S. environmental protection agency, office of wastewater management, pagination multiple.
127. Vaillant, J.R. (1974). Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires:eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed Eyrolles, (Paris), 413p.
128. Vyas, A., Jethoo, A.S. (2015). Diversification in Measurement Methods for Determination of Irrigation Water Quality Parameters. Aquat. Procedia,4, 1220-1226.
129. World Health Organization, (2011). Guidelines for drinking-water quality, Third editionincorporating the first and second addenda, volume 1,668p.

130. Yadav, R.K. et B. Goyal, R.K. Sharma, S.K. Dubey, P.S. Minhas. 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—A case study. *Environment International*. 2002, 28.
131. Zhang, Bing. Xianfang Song a, Yinghua Zhang, Dongmei Han, Changyuan Tang, Yilei Yu, Ying Ma (2012). Hydrochemical Characteristics and Water Quality Assessment of Surface Water and Groundwater in Songnen Plain, Northeast China. *Water Research*. 46(8).2737–48.