



MÉMOIRE

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie Fondamentale et Appliquée

Thème

Effet des événements météorologiques extrêmes sur l'efficacité du traitement des eaux usées par la station d'épuration Ain Beida (W. Oum El Bouaghi)

Présenté par : **Maroua MOUSSAOUI**

Devant le jury :

Présidente :	Cherifa BERKANI	MCB	Université de Khenchela
Encadrant :	Haroun CHENCHOUNI	MCA	École Nationale Supérieure des Forêts
Co-Encadrante :	Nawal ABABSA	MCA	Université de Khenchela
Examineur :	Zine El Abidine Salhi	MAA	Université de Khenchela

Année universitaire : 2021/2022

صلى الله عليه وسلم

DÉDICACES

À la mémoire de mon défunt père.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,

À ma mère !

À mes chères sœurs Radja, Souha, Nadine.

À mes adorables Manissa, Farah, Doudou, Younes, Rahaf, Hadil, Jouda.

À mes chiens fidèles à moi pour toujours Dolf et Lisa.

À mon Eren Jeager qui est loin de mes yeux mais pas mon cœur, 'So close no matter how far'.

À mon grand-père que j'aime trop l'homme de classe et le plus respectueux. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

À mes amis proches Rofia, Maha, Soundous, Manel, Aya, Hana, emy, nesrin.

À ma cousine la plus proche de mon cœur Rayen Bout.

Je me dis toujours que je suis chanceuse d'avoir des amis et des personnes qui m'aiment vraiment.

Merci d'être toujours là pour moi.

Remerciements

Je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir donné la santé et la volonté d'entamer puis terminer ce modeste travail.

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Je me ferai un agréable devoir de remercier mon encadreur Monsieur Haroun CHENCHOUNI (Maître de Conférences « A ») pour avoir dirigé ce travail de recherche et m'avoir fait bénéficier de son expérience et de ses précieux conseils. Tout au long de ce mémoire, ses conseils pertinents avec écoute, amabilité et patience ont permis à mon travail d'aboutir et de voir le jour.

Je voudrais remercier chaleureusement, ma promotrice de mémoire Madame Nawal ABABSA (Maître de Conférences « A »), pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses précieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Elle a accepté de m'accompagner dans des circonstances particulières, elle m'a encouragé, elle a été toujours à mes côtés.

Je tiens également à remercier madame Cherifa BERKANI (MCB) d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Je suis particulièrement heureuse que monsieur Zine El Abidine SALHI (MAA) me fasse l'honneur de faire partie du jury de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de mes sentiments les plus distingués.

Je tiens à remercier messieurs Hamza BOUGOUFA (Ingénieur responsable du laboratoire des analyses de l'eau) et Fouzi OUGAB (Ingénieur coordinateur d'exploitation de maintenance) de la station d'épurations des eaux usées de la ville d'Ain Beida (W. Oum El Bouaghi) pour leur accueil, leur disponibilité et leur contribution par les données et la documentation. Ils étaient très serviables et c'était un honneur pour moi de faire mon étude dans leur station.

Toutes les expressions de ma reconnaissance s'adressent aux enseignants du Département Écologie et Environnement notamment monsieur Moustafa GOUBI, mesdames Karima BENSUICI, Mayada OUNESS, et Amel MEZHOUD.

Sommaire

Sommaire

Liste des figures	vi
Liste des Tableaux	ix
Liste des abréviations	x
Introduction	1
Chapitre 1 — Revue bibliographique sur les eaux usées et leur traitement	4
1. Généralités sur les eaux usées.....	5
1.1. Définition des eaux usées	5
1.2. Origines des eaux usées	5
1.2.1. Les eaux usées domestiques.....	5
1.2.2. Les eaux usées industrielles	5
1.2.3. Les effluents agricoles	6
1.2.4. Les eaux usées pluviales	6
1.3. Les propriétés des eaux usées	7
1.3.1. Paramètres physiques	7
1.3.1.1. La température	7
1.3.1.2. Matières en suspension (MES).....	7
1.3.1.3. Les matières volatiles en suspension (MVS).....	7
1.3.1.4. La turbidité	7
1.3.2. Paramètres chimiques	7
1.3.2.1. Le potentiel hydrogène (pH)	7
1.3.2.2. Conductivité électrique (CE)	7
1.3.2.3. Oxygène dissous	8
1.3.2.4. Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅)	8
1.3.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO).....	8
1.3.2.6. Biodégradabilité des effluents (ratio DCO/DBO ₅)	8
1.3.2.7. Azote et ses dérivées	8
1.3.2.8. Phosphore	9
1.3.2.9. Métaux lourds	9
1.3.3. Caractéristiques organoleptiques.....	9
1.3.3.1. Odeur et goût	9
1.3.3.2. Couleur.....	9
1.3.4. Paramètres microbiologiques.....	9
2. Traitements des eaux usées	10
2.1. Définition	10
2.2. Rôle des stations d'épuration (STEP)	10
2.3. Principe d'épuration et les méthodes classiques des traitements des eaux usées	10
2.3.1. Prétraitement.....	11

2.3.1.1. Dégrillage	11
2.3.1.2. Dessablage	11
2.3.1.3. Déshuilage	11
2.3.2. Traitement primaire.....	12
2.3.3. Traitement secondaire (traitement biologique).....	13
2.3.4. Traitement tertiaire.....	13
2.3.5. Traitement des boues.....	13
3. Réutilisation des eaux usées	14
3.1. Historique.....	14
3.2. Domaines de la réutilisation des eaux usées et des boues résiduaires.....	14
3.2.1. Boue résiduaire	15
3.2.1.1. Valorisation de la matière par co-compostage.....	15
3.2.1.2. Valorisation énergétique par méthanisation	16
3.2.2. Eaux usées traitées	16
4. Relations entre le climat et les eaux usées	16
4.1. Précipitation	16
4.2. Précipitations extrêmes	16
4.3. Température	17
Chapitre 2 — Matériels et méthodes.....	18
1. Présentation de la région d'étude (Ain Beida).....	19
1.1. Situation géographique.....	19
1.2. Urbanisme de la ville d'Ain Beida.....	19
1.3. Hydrographie de la ville d'Ain Beida	20
2. Étude climatique de la région d'Ain Beida (2015-2021)	20
2.1. Caractéristiques climatiques d'Ain Beida	20
2.1.1. La température	20
2.1.2. Précipitations.....	21
2.1.2.1. Précipitations moyennes mensuelle	21
2.1.2.2. Précipitations moyennes saisonnière.....	22
2.1.3. Les vents	22
2.2. Synthèse climatique de la région d'étude.....	23
2.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gausson.....	23
2.2.2. Climagramme d'Emberger	24
3. Présentation de la station d'étude	25
3.1. Présentation générale de la STEP de Ain Beida	25
3.2. Fonctionnement de la STEP d'Ain Beida	25
3.2.1. Arrivée des eaux brutes	25
3.2.2. Prétraitement	27
3.2.2.1. Panier grossier	27
3.2.2.2. Dégrillage grossier	27
3.2.2.3. Relevage d'eau	28
3.2.2.4. Dégrillage fin	28
3.2.2.5. Dessablage / Dégraissage	29

3.2.3. Traitement biologique par boue activée	30
3.2.3.1. Bassin biologique	30
3.2.3.1.1. Zone anaérobie (déphosphoration).....	30
3.2.3.1.2. Zone anoxie (dénitrification)	31
3.2.3.1.3. Zone aérobie (Phase de nitrification)	32
3.2.3.2. Bassin de dégazage.....	32
3.2.4. Décantation secondaire (Clarification).....	33
3.2.5. Traitement tertiaire	33
3.2.6. Traitement des boues	34
3.2.6.1. Épaississement primaire	34
3.2.6.2. Digestion aérobie.....	35
3.2.6.3. Déshydratation des boues	35
4. Collecte des données, échantillonnage et analyses des eaux usées	36
4.1. Échantillonnage	36
4.2. Analyses physicochimiques.....	37
5. Normes des eaux usées d'entrée et de sortie	41
6. Analyses des données.....	42
6.1. Rendement épuratoire	42
6.2. Ratio DCO/DBO ₅	42
6.3. Indice de la qualité des eaux.....	42
7. Analyses statistiques	43
Chapitre 3 — Résultats.....	44
1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux	45
1.1. Température.....	45
1.2. pH	46
1.3. Conductivité électrique (CE)	47
1.4. Demande chimique en oxygène (DCO).....	47
1.5. Demande biochimique en oxygène pendant cinq jours (DBO ₅).....	47
1.6. Biodégradabilité de l'effluent (ratio DCO/DBO ₅)	48
1.7. Matières solides en suspension (MES)	49
1.8. Matières volatiles en suspension (MVS)	50
1.9. Ammonium (NH ₄).....	50
1.10. Nitrates (NO ₃ ⁻)	51
1.11. Nitrite (NO ₂)	51
1.12. Azote total Kjeldhal (NTK)	52
1.13. Azote total (Nt).....	52
1.14. Orthophosphate (PO ₄ -P).....	53
2. Interrelations entre les paramètres physicochimiques	54
2.1. Eaux usées brutes	54
2.2. Eaux traitées.....	55
3. Évaluation des rendements épuratoires	56
3.1. Rendement de la DCO	56
3.2. Rendement de la DBO ₅	57

3.3. Rendement des MES	58
4. Biodégradabilité de l'effluent (rapport DCO/DBO ₅).....	59
6. Classification des eaux de sortie de la STEP d'Ain Beida.....	60
7. Effets des paramètres climatiques sur l'indice de qualité de l'eau	61
Chapitre 4 —Discussion	65
Conclusion	72
Références	75

Liste des figures

Figure 1. Schéma représentant le principe de fonctionnement des STEPs (Anonyme, 2015)	10
Figure 2. Schéma représente le principe de dégrillage (Anonyme, 2015)	11
Figure 3. Schéma représente le principe de dessablage/déshuilage (Anonyme, 2017)	12
Figure 4. Schéma représente le processus de coagulation, floculation et de sédimentation (Anonyme, 2017)	12
Figure 5. Localisation de la ville d'Ain Beida dans la wilaya d'Oum El Bouaghi	19
Figure 6. Les variations de la température moyenne mensuelle d'Ain Beida (2015-2021)	21
Figure 7. Les variations des précipitations mensuelles d'Ain Beida (2015-2021)	21
Figure 8. Les Précipitations saisonnière de la ville d'Ain Beida (2015-2021)	22
Figure 9. Vitesse moyenne mensuelle des vents dans la région d'Ain Beida pour la période 2015-2021	22
Figure 10. Diagramme ombrothermique d'Ain Beida pour la période 2015-2021	23
Figure 11. Climagramme d'Emberger de la région d'Ain Beida déterminé pour la période 2015-2021	24
Figure 12. Localisation de la STEP d'Ain Beida par rapport à la ville et la route (Google Earth : mai, 2022)	25
Figure 13. Plan de la STEP d'Ain Beida (Oum Bouaghi). Les figures dans des carrés en rouge sont associées aux figures du présent document	26
Figure 14. Bypass	27
Figure 15. Le panier grossier	27
Figure 16. Le Dégrilleur grossier / transporteur des déchets	28
Figure 17. Des pompes de relevage	28
Figure 18. Le dégrillage fin	29
Figure 19. Le dessablage déshuilage (A : Dégraisseur ; B : Dessableur ; C : Classificateur a sable ; D : Sable)	30
Figure 20. La zone anaérobie	31
Figure 21. La zone anoxie	31
Figure 22. Bassin avec insufflation d'air (Bassin d'aération)	32
Figure 23. Bassin de dégazage	32

Figure 24. Décanteur secondaire (Clarificateur).....	33
Figure 25. Bassin de chloration	33
Figure 26. Cuve de stockage et distribution d'eau de javel	34
Figure 27. L'épaississeur primaire.....	35
Figure 29. Les lits de séchage.....	36
Figure 30. Échantillonneur automatique	37
Figure 31. Laboratoire physico chimique de la STEP d'Ain Beida	38
Figure 32. Évolution journalière des températures de l'air et des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période s'étendant entre 2015 et 2022 .	46
Figure 33. Dynamique temporelle des valeurs du pH des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période 2015–2022	46
Figure 34. Variation temporelle de la conductivité électrique des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2015–2022	47
Figure 35. Variation temporelle de la DCO des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022.....	48
Figure 36. Dynamique journalière de la DBO ₅ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pendant la période 2015–2022.....	48
Figure 37. Variation temporelle du ratio DCO/DBO ₅ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022	49
Figure 38. Dynamique journalière des MES des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022.....	49
Figure 39. Variation temporelle des MVS des eaux usées brutes au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2015–2022	50
Figure 40. Variation temporelle des NH ₄ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022.....	50
Figure 41. Variation temporelle des teneurs des nitrates dans les eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pendant la période 2015–2022	51
Figure 42. Variation temporelle des teneurs des nitrites dans les eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pendant la période 2015–2022	51
Figure 43. Variation temporelle de NTK des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022.....	52
Figure 44. Évolution temporelle des teneurs de l'azote total des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022.....	53
Figure 45. Variation temporelle des teneurs d'orthophosphates des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022	53

Figure 46. Matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques des eaux usées brutes de la station d'épuration d'Ain Beida (Oum El Bouaghi). Les valeurs en bas de la diagonale indiquent les probabilités du test de corrélation. Les coefficients de Pearson sont représentés dans les secteurs et proportionnellement à l'intensité de la couleur.....	54
Figure 47. Matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques des eaux usées traitées par la station d'épuration d'Ain Beida (Oum El Bouaghi). Les valeurs en bas de la diagonale indiquent les probabilités du test de corrélation. Les coefficients de Pearson sont représentés dans les secteurs et proportionnellement à l'intensité de la couleur.....	55
Figure 48. Évaluation des performances épuratoires de la DCO dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022	56
Figure 49. Évaluation des performances épuratoires de la DBO ₅ dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022	57
Figure 50. Évaluation des performances épuratoires des MES dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022	58
Figure 51. Variation annuelle et mensuelle du ratio DCO/DBO ₅ dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022	59
Figure. 52 les classes des indices de qualité des eaux de sortie de la STEP d'Ain Beida pendant la période (2015-2022)	60
Figure. 53 L'évaluation des classification d'indice de qualité de l'eau durant la période (2015-2022).....	61
Figure 54. Effets des évènements météorologiques extrêmes liés à la température minimale, température maximale et précipitations sur l'indice de la qualité de l'eau traitée dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015-2022.	62
Figure 55. Variation des valeurs moyennes de l'indice de la qualité de l'eau traitée dans la STEP d'Ain Beida selon les classes des paramètres climatiques pour la période 2015-2022.....	63

Liste des tableaux

Tableau 1. La croissance de la population d’Ain Beida (1987-2018).	20
Tableau 2. La température moyenne annuelle d’Ain Beida période (2015-2021).....	20
Tableau 3. Les appareils et leur fonctionnement dans le laboratoire de la STEP d’Ain Beida.	38
Tableau 4. Les normes des eaux d’entrée par l’ONA et JORA.....	41
Tableau 5. Les normes des eaux de sortie (OMS, 2001 ; JORA, 2012 ; ONA 2015)	41
Tableau 6. Classes de la qualité des eaux selon IQE.	43
Tableau 7. Statistiques descriptives des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées de la STEP d’Ain Beida durant la période (2015–2022).	45
Tableau 8. Statistiques descriptives des rendements épuratoires et du ratio DCO/DBO ₅ de la STEP d’Ain Beida durant la période 2015–2022.....	56
Tableau 9. ANOVA à deux critères de classification testant la variation annuelle et mensuelle du rendement épuratoire de la DCO dans la STEP d’Ain Beida	57
Tableau 10. Two-way ANOVA testant la variation annuelle et mensuelle du rendement épuratoire de la DBO ₅ dans la STEP d’Ain Beida	58
Tableau 11. Two-way ANOVA testant la variation annuelle et mensuelle du rendement épuratoire des MES dans la STEP d’Ain Beida.....	59
Tableau 12. ANOVA à deux critères de classification testant la variation de la biodégradabilité (ratio DCO/DBO ₅) entre les années et les mois	60

Liste des abréviations

ANOVA : Analyse de la variance
CE : Conductivité électrique
DBO₅ : Demande biochimique d'oxygène pendant 5 jours
DCO : Demande chimique d'oxygène
ET : Écart type
IQE : Indice de qualité de l'eau
JORA : Journal Officiel de la République Algérienne
MES : Matière en suspension
MVS : Matières volatiles en suspensions
NH₄: Ammonium
NO₂: Nitrite
NO₃: Nitrates
Nt : Azote total
NTK : Azote de Kjeldahl
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONA : Office National de l'Assainissement
pH : Potentiel d'hydrogène
PO₄-P: ortho-phosphate
PP : Précipitations
Q₂ Quotient pluviométrique
Pt : Phosphore total
STEP : Station d'épuration des eaux usées
T : Température
TM : Température maximale
Tm : Température minimale

Introduction

Introduction

L'eau est une ressource vitale précieuse, absolument indispensable à la survie de tous les organismes vivants ainsi qu'à toutes les activités humaines. Elle subit une pression croissante avec l'augmentation continue de la population mondiale et l'approvisionnement naturel sous forme de précipitations, qui devient de plus en plus variable et incertain avec le changement climatique (Bilotta *et al.*, 2012), autrement dit la crise croissante du changement climatique contribue à la rareté de l'eau en ce qui concerne le bilan hydrique régional (Dwivedi, 2017), ainsi que la croissance démographique et du développement économique de la société vers l'urbanisation et l'industrialisation à grande échelle conduisent à la production d'énormes quantités d'effluents pollués (Yadav *et al.*, 2002 ; Koop & van Leeuwen, 2017).

La disponibilité d'une eau de bonne qualité est un élément indispensable pour améliorer la qualité de vie (Patil *et al.*, 2012). En outre, la qualité de l'eau est une préoccupation primordiale pour l'humanité (Iram *et al.*, 2013), et sa détérioration peut également entraîner un épuisement des ressources en eau et une perte de biodiversité aquatique (Ataro *et al.*, 2003). La pénurie continue de l'eau, principalement dans les régions arides et semi-arides, a favorisé la recherche de sources supplémentaires (Oron *et al.*, 2001 ; Jamshidzadeh et Tavangari Barzi, 2020), L'être humain a trouvé des modes d'approvisionnement alternatifs c'est d'exploiter les eaux usées polluée (Boutin *et al.*, 2009) après épuration, pour satisfaire les besoins en eaux.

La gestion des eaux usées a connu récemment un très grand intérêt ce qui concerne l'exploitation des eaux usées épurées comme une nouvelle ressource qui vise à la production des quantités complémentaires en eau destinée aux utilisations dans l'irrigation des champs agricoles, utilisations industrielles, récréatives et recharges des eaux souterraines (Qasim & Zhu, 2017), dans le cadre du développement durable qui s'intéresse aux pôles socioéconomiques et environnementale (Hannachi, 2016). C'est une sorte de réintroduction de ces eaux usées après traitement dans l'environnement avec un impact environnemental minimal, tout en assurant la santé publique et environnementale (Muga & Mihelcic, 2008 ; Serra, 2014).

Le changement climatique est l'un des défis majeurs de notre époque qui pose un stress sans précédent sur l'environnement et des menaces pour la santé humaine (Faour-Klingbeil & Todd, 2020). Les stratégies de la gestion des eaux sont vulnérables à ses changements climatiques. Les impacts mondiaux du changement climatique sont vastes, notamment les événements météorologiques extrêmes (Faour-Klingbeil & Todd, 2020). Les scénarios de changement climatique prédisent une augmentation des pluies extrêmes, ce qui augmentera le

risque d'inondation des eaux usées (Veronesi *et al.*, 2014), et le non-respect des objectifs légaux de qualité de l'eau qui se base sur des critères de sécurité conformément aux directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (Šrámková *et al.*, 2018). Les eaux usées non traitées contiennent des agents pathogènes (bactéries, parasites et virus), des produits chimiques, et des nutriments qui peuvent poser un risque pour la santé humaine et la santé environnementale (Ikehata, 2013 ; Ungureanu *et al.*, 2020). En revanche l'amélioration de la qualité des eaux usées traitées étant l'un des principaux domaines d'intérêt pour toutes les stations d'épurations (Ahmed *et al.*, 2021).

Cette étude s'intéressera aux paramètres physicochimiques et leur variation au cours de la période d'étude depuis le Juillet 2015 jusqu'à Mai 2022 et les intégrer avec les événements météorologiques extrêmes déterminés pour conclure l'influence de ces derniers sur les paramètres physicochimiques déterminant la qualité de l'eau acheminer vers l'oued.

Cette étude vise à répondre à ces principaux objectifs : (i) la surveillance de la qualité physicochimique des eaux et l'efficacité de leur traitement ; (ii) la surveillance et l'évaluation du rendement épuratoire des eaux après le traitement ; et (iii) la mise en évidence l'influence des facteurs climatiques extrêmes sur la qualité et le rendement épuratoire des eaux.

Le manuscrit élaboré s'articule autour de quatre parties principales, en plus de l'introduction et la conclusion. Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique, dont laquelle nous avons abordé tous ce qui concerne les eaux usées, leur traitement et valorisation. Le deuxième chapitre décrit le site d'étude ainsi que le détail sur les étapes de traitement des eaux usées et les protocoles et l'appareillage utilisés. Le troisième chapitre porte sur l'analyse l'interprétation des résultats. Le quatrième chapitre comprend la discussion des résultats.

Chapitre 1

“ *Revue bibliographique sur les eaux usées et leur traitement* ”

Chapitre 1 — Revue bibliographique sur les eaux usées et leur traitement

1. Généralités sur les eaux usées

1.1. Définition des eaux usées

L'eau usée est définie comme l'eau qui a perdu sa qualité après usage directe ou indirecte (von Sperling, 2007). Elle est produite par des facteurs naturels et anthropiques (Chai *et al.*, 2021) ; et proviennent de diverses activités agricoles, domestiques et industrielles (Ahmed *et al.*, 2022). Donc l'eau usée c'est l'eau qui a subi à des modifications et des altérations dans ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (Goel, 2006), par l'introduction des substances organiques et minérales (Feigin, 2012) qui peuvent être indésirables toxiques ou nocives, et constitue un réservoir de germes pathogènes (Sibanda *et al.*, 2015). La composition des eaux usées varie selon la source, exemple : l'eau usée domestique contient majoritairement de la matière organique (Dhaouadi & Marrot, 2010). Au lieu de rejeter l'eau chargée en polluants dans le milieu récepteur, l'État prend la mise en charge de traitement, par l'acheminement des eaux usées vers des stations de traitement des eaux usées (STEP) (Hannachi, 2016), à travers des réseaux d'assainissements unitaire ou séparatif (Dagba *et al.*, 2022).

1.2. Origines des eaux usées

Toutes les activités urbaines génèrent des quantités des polluants indésirables mélangés avec l'eau ; ses compositions différentes selon le type d'activité. Les différentes origines des eaux usées sont :

1.2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques sont des eaux usées rejetées par les maisons et les établissements commerciaux et autres installations similaires (Sonune & Ghate, 2004).

D'après Naidoo & Olaniran (2014), les eaux usées domestiques sont définies comme :

- Des eaux noires : généralement constituées de matières fécales (déchets humains et animaux) représentent environ 32.5% des eaux usées domestique.
- Des sources d'eaux grises : proviennent d'une gamme d'activités domestiques : ces eaux sont utilisées pour la boisson, la préparation des aliments, les systèmes d'eau chaude, le bain, l'hygiène personnelle, la lessive et le jardinage, représentent environ 67.5%.

1.2.2. Les eaux usées industrielles

Le développement industriel repose en grande partie sur la production de produits chimiques qui produisent des substances toxiques et dangereuses (Dwivedi, 2017). L'eau entre dans plusieurs secteurs et processus industriel où elle est considérée comme une matière

première et un moyen de production et de refroidissement (Vicaud, 2008). Les contaminants sont introduits dans l'eau lors de leur passage dans un processus industriel, la qualité des eaux usées diffère d'un secteur industriel à un autre et chaque secteur génère sa propre combinaison des polluants (Jining & Yi, 2009), par exemple : le secteur de l'acier produit les matières organiques biodégradables, huiles et graisses, matières toxiques, solides, acides, alcalis et métaux lourds (Ilyas *et al.*, 2019), alors que l'industrie chimique produit des produits chimiques organiques, les métaux lourds, le cyanure (Jining et Yi 2009). Ceux-ci comprennent les eaux usées de lavage des gaz de haut fourneau contenant du cyanure, les déchets de l'industrie de transformation des métaux contenant des solutions acides ou alcalines (contenant principalement des métaux non ferreux et souvent cyanure ou chromate) (De Sol, 2008).

1.2.3. Les effluents agricoles

L'agriculture est l'une des principales sources de pollution de l'eau dans le monde (Evans *et al.*, 2019). Le ruissellement agricole, qui transporte des engrais et des pesticides, est une cause majeure d'eutrophisation des lacs et de pollution des eaux de surface (Feigin, 2012) donc leurs dégradations par des mauvaises pratiques et l'utilisation excessive des engrais et des pesticides (Saleh *et al.*, 2020). Les polluants agricoles sont transportés par la pluie, conduits par ruissellement jusqu'aux rivières et nappes souterraines (Mateo-Sagasta *et al.*, 2017). Les polluants de source diffuse de toute source sont transportés sur la terre et le sol par la pluie et la fonte des neiges, ces polluants se retrouvent dans les eaux souterraines, les zones humides, les rivières et les lacs, et enfin dans les rivières marines sous forme de sédiments et de charges chimiques (Ongley, 1996).

1.2.4. Les eaux usées pluviales

L'eau usée pluviale, est principalement due au ruissellement des eaux pluviales urbaines et rurales (Floret-Miguet & Barraque, 1994). Les polluants ajoutés au ruissellement des toits comprennent la matière organique, les solides inertes, les dépôts fécaux d'animaux et d'oiseaux, les traces de certains métaux et même les composés organiques complexes (Villarreal & Dixon, 2005), qui rend l'eau trouble, ses particules peuvent également nuire à la qualité de l'eau, d'autres manières, elles peuvent transporter des micro-organismes et des matières organiques (Hussain & Al-Rawajfeh, 2009). Donc l'eau pluvial n'est pas polluée, mais un bon transmetteur de pollution par le ruissellement (Abbasi et Abbasi, 2011). D'ailleurs, la pollution pluviale est reconnue uniquement au travers des rejets des déversoirs d'orage des réseaux unitaires (Floret-Miguet & Barraque, 1994).

1.3. Les propriétés des eaux usées

1.3.1. Paramètres physiques

1.3.1.1. La température

La température de l'eau est l'un des caractéristiques importantes qui influence sur les réactions biochimiques chez les organismes aquatiques (Derwich *et al.*, 2010), elle entraîne l'accélération des réactions chimiques dans l'eau, réduit la solubilité des gaz et amplifie les goûts et l'odeur (Abbasi et Abbasi, 2012). La température a une influence sur les autres paramètres tel que l'oxygène dissous ; avec l'augmentation de la température l'O₂ dissous diminue (Dwivedi, 2017). Margot *et al.* (2011) ont rapporté que l'augmentation de la température décale l'équilibre de sorption et diminue l'adsorption des micropolluants.

1.3.1.2. Matières en suspension (MES)

Les MES sont des particules de taille très fines, peuvent être minérale ou organique (Bilotta & Brazier, 2008). Les matières en suspension comprennent les matières décantables exprimées en cm³/L et les matières colloïdales (Dhimni *et al.*, 2015), existent en suspension dans les eaux, et les microorganismes, elles sont adsorbées sur ses les surfaces de ces particules (Walshe *et al.*, 2010).

1.3.1.3. Les matières volatiles en suspension (MVS)

Les MVS représentent la fraction organique des MES susceptibles d'être volatilisées dans une température déterminée (Wolkoff, 1995).

1.3.1.4. La turbidité

La turbidité est un paramètre important utilisé pour la mesure de la capacité de la lumière à passer à travers l'eau (Summers, 2020). Mesure la concentration de la matière en suspension (Hannouche et al., 2011). Ce paramètre la turbidité affecte la pénétration de la lumière nécessaire pour la vie aquatique (photosynthèse) et cause l'asphyxie de la vie aquatique (Amosa et al., 2016 ; Dwivedi, 2017). L'unité de mesure de la turbidité est NTU (Nephelometric Turbidity Unit) (Savary, 2018).

1.3.2. Paramètres chimiques

1.3.2.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Le potentiel hydrogène est la mesure de l'acidité d'eau qui représente la concentration des ions H⁺ dans une solution (Dwivedi, 2017). Le même auteur a rapporté qu'un pH spécifique est essentiel pour la survie normale des organismes. Le pH affecte l'activité enzymatique, affectant ainsi indirectement la mobilisation des éléments (Dwivedi, 2017).

1.3.2.2. Conductivité électrique (CE)

La conductivité est une expression numérique de la capacité d'une solution aqueuse à transporter un courant électrique (Kouassi *et al.*, 2013). Cette capacité dépend de la présence des ions donc elle renseigne sur le degré de la minéralisation d'une eau, de leur concentration totale,

mobilité, valence et concentrations relatives, et de la température du liquide, les solutions de la plupart des acides inorganiques, des bases et des sels sont des conducteurs relativement bons (Salgot *et al.*, 2006).

1.3.2.3. Oxygène dissous

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau et il est exprimé en mg/L. C'est l'un des paramètres et indicateur principale d'une absence ou présence d'une pollution dans un milieu aquatique, sa valeur renseigne sur le degré de pollution et donc sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (Makhoukh *et al.*, 2011).

1.3.2.4. Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La DBO₅ représente la quantité d'oxygène nécessaire pour la décomposition de la matière organique polluante, dissoute ou en suspension, par les micro-organismes dans leur processus biologique, pendant une période d'incubation de 5 jours à 20 °C (Derwich *et al.*, 2010).

1.3.2.5. Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables existantes dans l'eau (Mateo *et al.*, 2017). La valeur de la demande en oxygène est utile pour spécifier l'état toxique et la présence des substances biologiquement résistantes (Benit & Roslin, 2015).

1.3.2.6. Biodégradabilité des effluents (ratio DCO/DBO₅)

Le rapport DCO/DBO₅, permet d'évaluer la source des polluants et d'étudier la biodégradabilité des effluents (Khalil *et al.*, 2015 ; Fidele, 2020). En effet, une valeur de rapport DCO/DBO₅ plus faible signifie qu'il y a beaucoup de matière biodégradable, Au contraire, si le rapport est élevé, cela signifie que la grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable (Idrissi *et al.*, 2015). D'après Fidèle (2020) et Yapo (2009) :

- DCO/DBO₅ < 2 caractérise un effluent facilement biodégradable ;
- 2 < DCO/DBO₅ < 3 un effluent biodégradable ;
- DCO/DBO₅ >3 caractérise un effluent non biodégradable.

Le ratio DCO/DBO₅ permet également d'évaluer les caractéristiques de l'eau si elle fait partie de l'eau domestique ou industrielle (Kambiré *et al.*, 2014).

1.3.2.7. Azote et ses dérivées

Les sources d'azote dans les eaux usées municipales crues sont principalement de l'excrétion humaine dont environ 75% sont excrétés comme une urée tandis que le reste est de l'azote organique (Henze, 1992). L'azote total est la somme de toutes les formes d'azote, c'est un nutriment qui cause l'eutrophisation des milieux récepteurs. Sous deux formes : l'azote organique (protéines, acides aminés,) et l'azote minéral (azote moléculaire, ammonium, nitrites, nitrates, ...). L'azote gazeux se diffuse dans l'eau où il peut être "fixé" (converti) par les algues bleues en ammoniac pour être utilisé par les algues (Salgot *et al.*, 2006).

1.3.2.8. Phosphore

La présence des quantités importantes du phosphore conduisant à un développement excessif d'algues (phénomène d'eutrophisation) et par là même à un déséquilibre de l'écosystème (Peng *et al.*, 2018). Les phosphates sont les oxydes de phosphore les plus connus (Deronzier & Choubert, 2004).

1.3.2.9. Métaux lourds

Les métaux lourds, qu'il s'agisse d'éléments essentiels ou non, revêtent une importance particulière en écotoxicologie, car ils sont très persistants et peuvent tous être toxiques pour les organismes vivants (Taghinia Hejabi *et al.*, 2011). Les métaux lourds sont dispersés dans l'environnement par les effluents industriels, les déchets organiques, les ordures, les transports et la production d'électricité (Agarwal, 2009).

1.3.3. Caractéristiques organoleptiques

1.3.3.1. Odeur et goût

Les déterminations de l'odeur et du goût sont qualitatives et subjectives (Mishra, 2014). L'odeur dans l'eau est un indicateur de pollution par la matière organique en décomposition (Mandal, 2014), les composés qui contribuent à l'odeur sont généralement des composés organiques volatils, alors que les produits chimiques sont responsables du goût (Agus *et al.*, 2012 ; Mandal, 2014).

1.3.3.2. Couleur

La couleur de l'eau est mesurée par rapport à la visibilité de l'eau de pénétration de la lumière, est lié à l'effet combiné d'une gamme de caractéristiques de l'eau mesurées via des paramètres tels que la turbidité, la taille des particules, la concentration en métal et les mesures de couleur (Tjandraatmadja & Diaper, 2006). En effet la couleur peut indiquer la présence des contaminants organiques ou inorganiques ou peut également être liée au pH (Mandal, 2014).

1.3.4. Paramètres microbiologiques

Les nombreux microorganismes détectés dans les eaux usées sont principalement *Escherichia coli* qui vient des matières fécales (Perulli *et al.*, 2021), des coliformes totaux des virus, des algues, des micro-organismes environnementaux et des espèces appartenant aux genres *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum*, *Ochrobactrum*, *Ralstonia* et *Stenotrophomonas* (Bitton, 2005).

2. Traitements des eaux usées

2.1. Définition

Le traitement des eaux usées comprend l'ensemble des processus physiques, chimiques et biologiques successivement pour la dépollution des eaux usées, visant à éliminer les matières organiques biodégradables, les solides en suspension et les nutriments (Cotterill *et al.*, 2017). Le traitement est réalisé dans une usine nommée station d'épuration ou station de traitement des eaux polluées (STEP).

2.2. Rôle des stations d'épuration (STEP)

L'objectif principal des installations de traitement des eaux usées est d'améliorer la capacité de l'eau à se purifier elle-même (Ahmed *et al.*, 2022) et de réduire la charge microbienne et les teneurs des éléments nutritifs (Bueno *et al.*, 2020) et les concentrations de polluants à des valeurs précises plus faibles qui satisfont aux objectifs de durabilité (Ahmed *et al.*, 2022).

2.3. Principe d'épuration et les méthodes classiques des traitements des eaux usées

Le traitement des eaux usées se réalise en quatre phases successives, précédé par une technique de passage des eaux usées des agglomérations vers la STEP à travers des réseaux d'assainissement par pompage ou par gravité (Fig. 1).

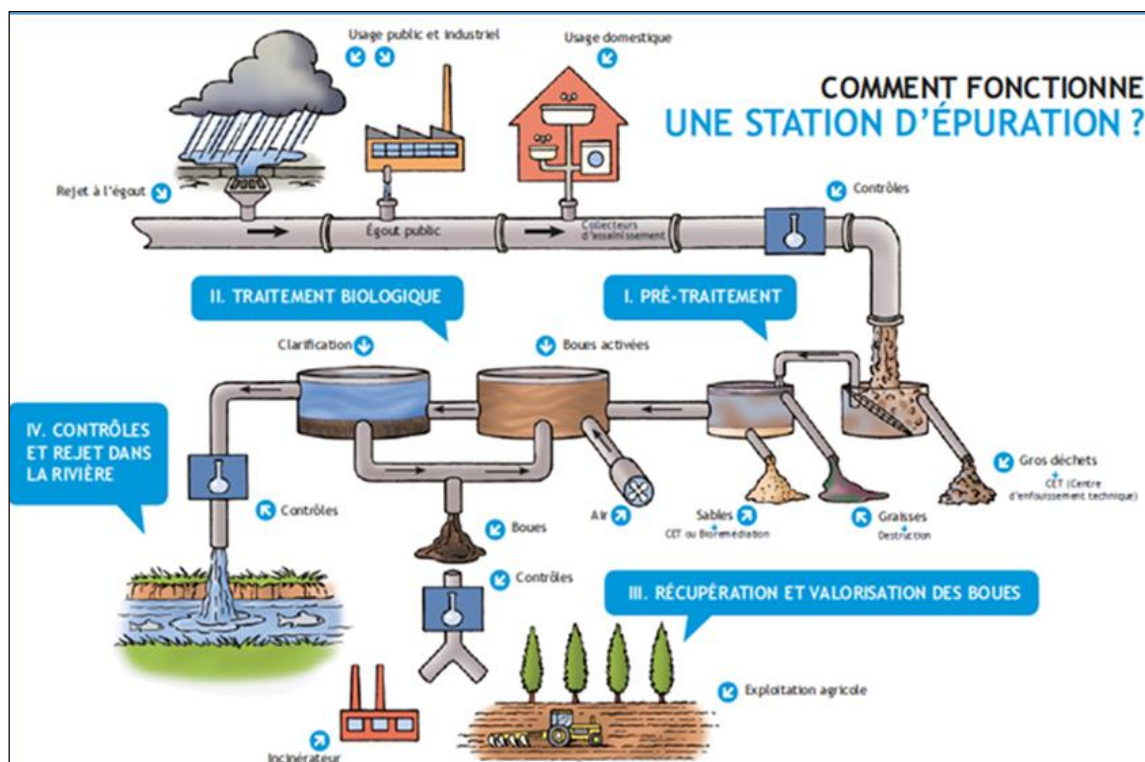


Figure 1. Schéma représentant le principe de fonctionnement des STEP (INBW ,2018)

2.3.1. Prétraitement

Le prétraitement est une phase d'épuration grossière. Elle élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras, bouteilles...) (Asiwal, 2016) qui pourraient d'ailleurs endommager les installations par la suite (Naidoo & Olaniran, 2014). Cette phase retire alors environ 35% des éléments polluants (Moulin *et al.*, 2013).

2.3.1.1. Dégrillage

Le dégrillage consiste de faire passer l'eau à travers des grilles plus ou moins grossières pour la séparation de toute les éléments solides plus gros que les espacements des grilles (Fig. 2) (Fidele, 2020), et élimine manuellement ou mécaniquement les gros solides, les débris et les chiffons de plus de 6 mm, tandis que le criblage fin élimine les matières solides en suspension de 0,001 à 6 mm (Ahmed *et al.*, 2021).

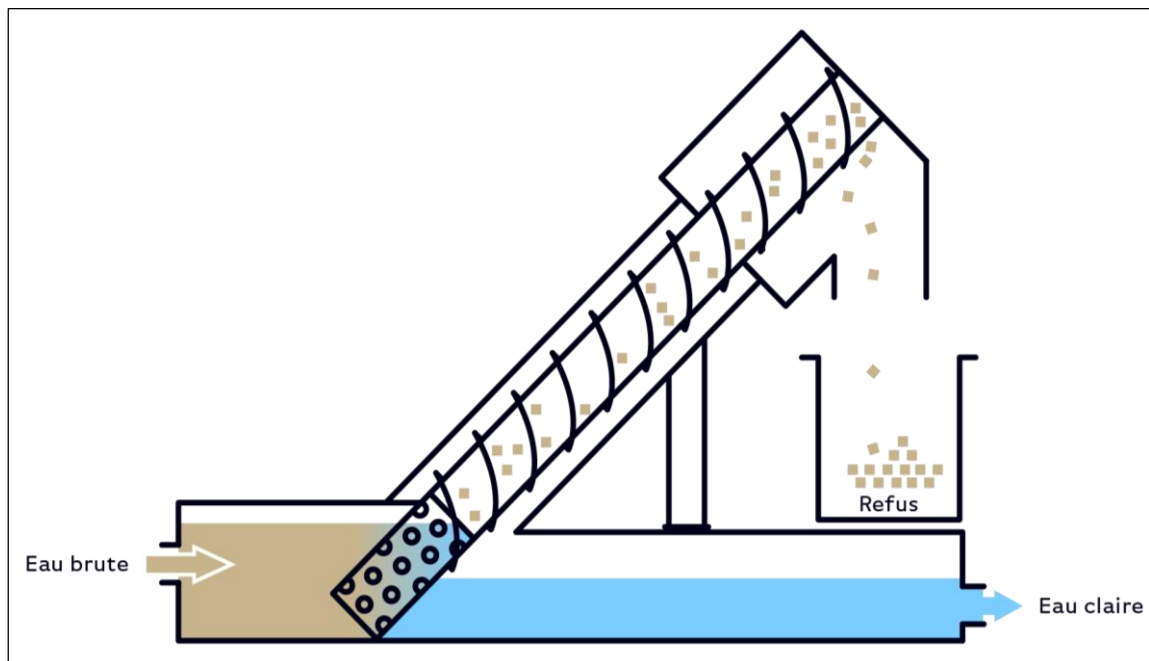


Figure 2. Schéma représente le principe de dégrillage (Serinol, 2018).

2.3.1.2. Dessablage

Le dessablage consiste l'élimination des sables par décantation et stagnation de la matière sableuse au fond du bassin, la matière décantable et récupérée par pompage (Bassompierre, 2007) (Fig. 3).

2.3.1.3. Déshuilage

Le déshuilage se réalise par flottation par air dissous où les bulles d'air augmentent la vitesse de remontée des particules grasses et des huiles lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées (Kemamine *et al.*, 2017).

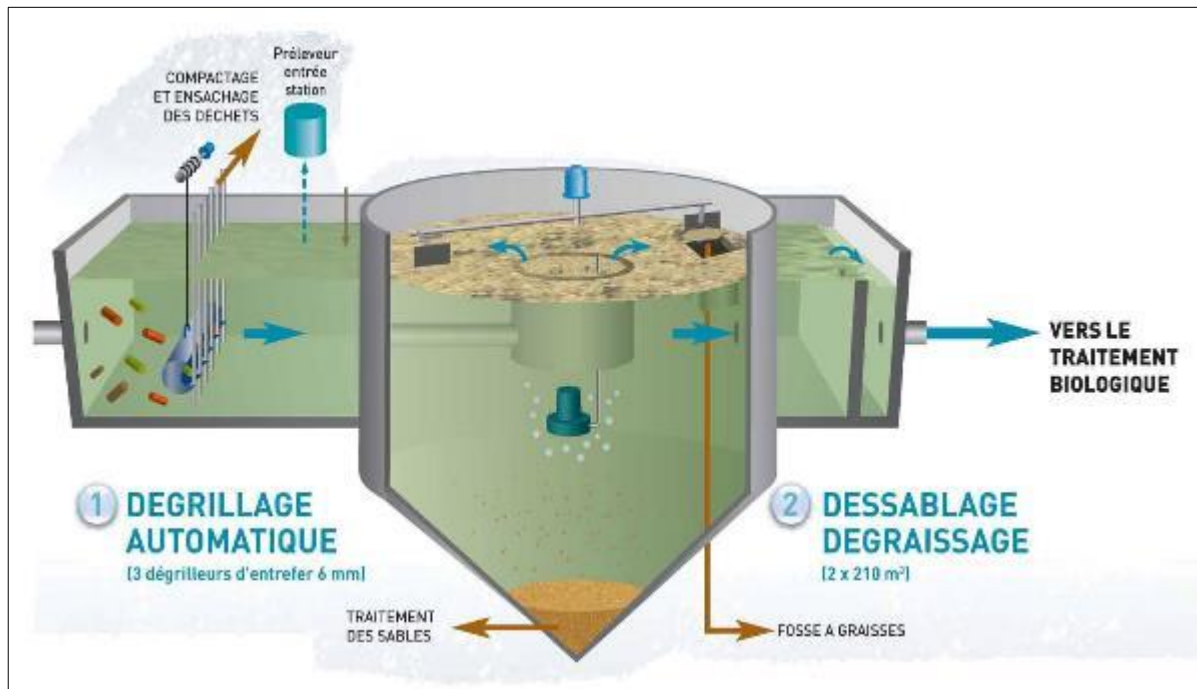


Figure 3. Schéma représente le principe de dessablage/déshuilage (Anonyme, 2022).

2.3.2. Traitement primaire

Le traitement primaire consiste à éliminer les matières en suspension et colloïdales (Tillman, 1991) par : coagulation/floculation qui comprend l'agglomération des colloïdes et des matières en suspension sous forme des flocons pour faciliter leur récupération comme une boue primaire (Fig. 4) (Wang *et al.*, 2005).

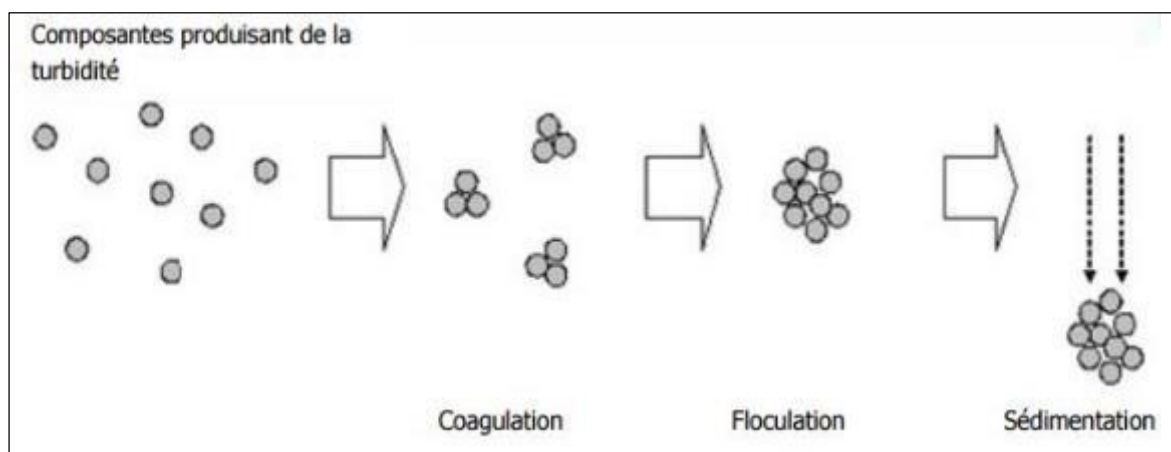


Figure 4. Schéma représente le processus de coagulation, floculation et de sédimentation (Anonyme, 2017).

La coagulation est un processus dans lequel les systèmes de solution de colorant sont déstabilisés pour former des flocons et des agglomérats (Rashid *et al.*, 2021). La floculation consiste

à ajouter une macromolécule comme un support qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en flocons volumineux qui déposent au fond par gravité (Ahmed *et al.*, 2021). Cette étape permet d'éliminer 90% des particules colloïdales et des matières en suspension (Moulin *et al.*, 2013). L'objectif de cette phase est d'améliorer la biodégradabilité des eaux usées lors du traitement biologique (Amuda & Amoo, 2007).

2.3.3. Traitement secondaire (traitement biologique)

Le traitement biologique est la transformation de la pollution par un cycle aérobie et anaérobie (Lipczynska-Kochany, 2018) à l'intervention des bactéries en gaz carbonique, eau traitée et boues (Asiwal *et al.*, 2016). Le traitement biologique des eaux usées est le procédé de dégradation des matières organiques polluantes par des communautés des micro-organismes présente dans des boues biologiques qui sont généralement constituées des bactéries, des protozoaires, des champignons, des algues et parfois des nématodes (Wagner, 2000). Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées (Dhaouadi & Marrot, 2010). Les traitements de désinfection chimique sont souvent utilisés comme traitements tertiaires.

2.3.4. Traitement tertiaire

Les traitements de désinfection chimique sont souvent utilisés comme traitements tertiaires. Parmi les désinfectants chimiques, le chlore est l'un des biocides les plus couramment utilisés pour la désinfection des eaux usées et le traitement des eaux d'irrigation (Decol *et al.*, 2019). La désinfection par la chloration est la méthode la plus ancienne, elle permet l'élimination de la plupart des microorganismes pathogènes (Bourbon *et al.*, 2015).

2.3.5. Traitement des boues

Les boues sont produites pendant le traitement des eaux usées comme un résidu contenant la plupart des impuretés insolubles et solubles adsorbées dans les eaux usées (Edwards *et al.*, 2017). Andoniaina & Violette (2013), ont rapporté que les objectifs de traitement des boues doivent consister à une : (i) réduction de la quantité de boues et une (ii) réduction du pouvoir fermentescible. La réduction du volume peut être obtenue (Härtel & Pöpel, 1992) : soit par un épaissement, soit par déshydratation, ou soit après déshydratation, par séchage thermique ou incinération. La réduction du pouvoir fermentescible (ou stabilisation) peut être obtenue d'après Zhang *et al.* (2017) par (i) digestion anaérobie (éliminer les substances toxiques afin de maximiser l'efficacité de la gestion des boues), (ii) stabilisation aérobie, et (iii) stabilisation chimique.

3. Réutilisation des eaux usées

3.1. Historique

La réutilisation des eaux usées est une pratique très ancienne, appliquée depuis la nuit des temps, et le mode d'utilisation a connu un développement urbain au fil du temps, en raison de l'importance de son exploitation due à une pénurie de ressources en eau et en raison de la pollution qui en résulte lors de sa distribution dans le milieu récepteur. Avant l'introduction de la technologie de traitement, les eaux usées étaient rejetées dans les terres agricoles pour éviter la contamination des cours d'eau et donc la préservation des ressources en eau destinées la consommation humaine et pour la fertilisation des terres agricoles (Shuval, 2011).

Lofrano & Brown (2010) ont rapporté que les recherches archéologiques montrent clairement que les origines des techniques modernes de gestion de l'eau remontent à la Grèce antique qui a été la pionnière des systèmes d'assainissement moderne ; et que les anciens Grecs (300 avant JC-500 après JC) avaient des latrines qui se vidaient dans des tuyaux qui transportaient les eaux usées et les eaux de pluie vers des bassins de collecte situés à l'extérieur de la ville. De là, des canalisations recouvertes de briques acheminaient les eaux usées vers les champs agricoles où elles étaient utilisées pour l'irrigation et la fertilisation des cultures et des vergers (Lofrano & Brown, 2010).

L'agriculture chinoise utilise le fumier humain et animal comme engrais pendant des siècles (Cisneros *et al.*, 2011). Aux XIV^e et XV^e siècles, les eaux usées étaient réutilisées respectivement dans les marçites de Milan et les potagers de Valence (Angelakis *et al.*, 2020). Dans les pays sous-développés tels que la Chine, le Mexique, le Pérou, l'Égypte, le Liban, le Maroc, l'Inde et le Vietnam, les eaux usées sont utilisées comme source de nutrition des cultures depuis des décennies (Cisneros *et al.*, 2011). Par conséquent, l'utilisation d'eaux usées non traitées est liée à la diffusion et à la production. Au fil des siècles, elle est devenue moins populaire dans les pays développés en raison de l'amélioration des techniques de manipulation et de la sensibilisation accrue aux problèmes environnementaux et sanitaires (Drechsel *et al.*, 2011).

Les pays développés ont travaillé sur des réglementations pendant plusieurs années et parmi eux, les États-Unis d'Amérique, et en particulier l'état de Californie, ont appliqué les premières réglementations sur la réutilisation agricole en 1917, la Californie possède l'un des cadres réglementaires les plus stricts et les plus complets (Brown & Weinstock, 1980). De plus, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis a élaboré des règlements et des critères pour la réutilisation de l'eau, qui servent de repères à de nombreux pays dans le monde (Javaid, 2015).

3.2. Domaines de la réutilisation des eaux usées et des boues résiduelles

Le monde a trouvé des ressources alternatives, qui peuvent combler la demande en eau dans plusieurs domaines de l'industrie d'agriculture surtout, la boue aussi a eu une part

d'importance comme ressource énergétique pour l'électricité et la chaleur avec des techniques conventionnels et émergents (Kacprzak *et al.*, 2017). Les principaux domaines de réutilisations des eaux et des boues sont :

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation devient la meilleure option, en particulier dans les régions arides et semi-arides (Drechsel *et al.*, 2010). Elle a été associée à un certain nombre d'avantages, comme l'augmentation de la teneur en carbone organique (CO), en azote (N), en phosphore (P), en potassium (K) et en magnésium (Mg) du sol par rapport à l'irrigation propre des eaux souterraines (Singh *et al.*, 2009). De plus, les boues d'épuration peuvent être considérées comme un substrat pour la fertilisation et l'assainissement des sols si la technique appliquée permet d'obtenir le produit de qualité (Kacprzak *et al.*, 2017). Donc ils doivent être traités avant leurs utilisations dans l'agriculture (Hudson & Lowe, 1996).

3.2.1. Boue résiduaire

La boue est un sous-produit des traitements des eaux usées, comprennent les boues primaires et secondaires (Scott & Smith, 1995). Définie par Comité Européen de Normalisation (CEN) comme « un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent ». Les boues générées par les STEP constituent une source importante de matières organiques (Mikkelsen & Keiding, 2002). L'épandage direct peut présenter des risques pour l'environnement car ils sont biochimiquement instables et riches en polluants divers. Elles nécessitent donc un traitement de stabilisation et d'hygiénisation avant le rejet ou la réutilisation (Hospido *et al.*, 2005). La pratique de l'épandage des boues d'épuration comme amendement pour les sols présente de nombreux avantages (Bajsa *et al.*, 2004). Les boues traitées contiennent de grandes quantités de nutriments, tels que N, P, K et des matières organiques et ont le potentiel d'être utilisées comme fertilisant de sols (Feng *et al.*, 2015), dans les zones où le sol a été appauvri en nutriments ou sa capacité de rétention d'eau est faible (Bajsa *et al.*, 2004).

3.2.1.1. Valorisation de la matière par co-compostage

Le Co-compostage est un processus contrôlé se fait à l'intervention des micro-organismes dans un milieu aérobie (Bihaoui *et al.*, 2010). Son intérêt est la stabilisation des boues et leur hygiénisation (Romdhana, 2009) par la destruction des germes pathogènes (coliformes fécaux et streptocoques fécaux), de plus de 99% des œufs d'helminthes, la réduction de la charge organique de 75% (Matsodoum, 2014). La valeur fertilisante des boues appliquées sur les terres agricoles a été déterminée en fonction de la teneur en azote et en phosphore et de la disponibilité de ces

nutriments (Hospido *et al.*, 2005). Cette opération a pour but d'obtention d'un digestat acceptable, utilisé comme un amendement pour les champs agricoles (Albrecht, 2007).

3.2.1.2. Valorisation énergétique par méthanisation

La méthanisation est un processus biologique qui vise à traiter les matières organiques de la boue avec la réduction de sa masse polluante (Camacho & Prévot, 2011), tout en produisant une source valorisable sous forme d'un biogaz (Corse, 2012). Ce biogaz est essentiellement composé de méthane (65%), et de gaz carbonique (30-35%) (Moletta, 2015 ; Kacprzak *et al.*, 2017). En convertissant la teneur en énergie chimiquement liée des polluants organiques des eaux usées municipales brutes en un vecteur énergétique utile (biogaz) (Sikosana *et al.*, 2019). D'après Bensmail & Touzi (2010), le biogaz produit sert pour le chauffage, les fonctionnements des moteurs en industrie, et la cuisson.

3.2.2. Eaux usées traitées

La demande croissante en eau douce pour les besoins urbains, industriels, d'irrigation et de nombreux autres besoins a entraîné un intérêt accru pour la réutilisation des eaux usées traitées (Qasim & Zhu, 2017a). Lalami *et al.* (2014) ont rapporté que les eaux usées traitées sont souvent réutilisables pour l'irrigation des cultures fourragères ou horticulture commerciale ; et/ou l'industrie dans les circuits de refroidissement, construction, papeteries, industrie textile. En termes de réutilisation, l'agriculture conserve la première place de point de vue quantité d'eau traitée réutilisée (Salgot & Folch, 2018). De ce fait des procédés de traitement innovants devraient être appliqués pour la modernisation des STEPs pour produire des eaux traitées de haute qualité adaptée à la réutilisation indirecte et directe tout en minimisant les impacts environnementaux (Qasim & Zhu, 2018b). D'autres utilisations ont été à la base d'importants développements économiques dans des zones définies, comme la réutilisation dans les terrains de golf et la recharge des eaux souterraines (Salgot & Folch, 2018).

4. Relations entre le climat et les eaux usées

4.1. Précipitation

Si une masse d'air s'élève, elle se dilate dans la basse pression, se refroidit et condense l'humidité qu'elle contient, ce qui produit des nuages et en fin de compte, des pluies - ou peut-être des chutes de neige (Trenberth *et al.*, 2003).

4.2. Précipitations extrêmes

Les averses se caractérisent par un approvisionnement important en eau sur une courte période de temps (de 1 heure à une journée), cette quantité peut être égale à la quantité

normalement reçue en un mois voire quelques mois, des cumuls de l'ordre de 50 mm en 24 heures dans la plupart des régions de plaine et de l'ordre de 100 mm en 24 heures dans les régions montagneuses sont considérés comme des seuils critiques, le dépassement de ces seuils peut provoquer, lorsque la nature du terrain s'y prête, de graves inondations pour les phénomènes les plus violents (Du Vachat, 2019).

4.3. Température

Le traitement biologique des eaux usées est très influencé par le climat. La température joue un rôle décisif dans certains processus de traitement, en particulier les processus naturels et non mécanisés, les températures chaudes réduisent les besoins en terrain, améliorent les processus de conversion, augmentent l'efficacité de l'élimination et rendent possible l'utilisation de certains processus de traitement (Zouboulis & Tolkou, 2015). Certains procédés de traitement, tels que les réacteurs anaérobies, ne peuvent être utilisés pour les eaux usées diluées, comme les eaux usées domestiques, que dans les régions à climat chaud (Zouboulis & Tolkou, 2015).

D'après Du Vachat (2019), les températures extrêmes sont de trois catégories :

Les vagues de chaleur est définie comme un temps inhabituellement chaud et sec ou chaud et humide durant au moins deux à trois jours ; où les vagues de chaleur sont définies comme la période au cours de laquelle une moyenne sur trois jours des températures minimales et maximales atteint des seuils d'alerte départementaux qui peuvent être exacerbés par la chaleur (humidité, prématurité, pollution de l'air, facteurs démographiques) à modérés tels que les grands rassemblements, etc.) ;

Les vagues de froid sont des événements de temps froid caractérisés par leur persistance, leur intensité et leur étendue géographique : pendant au moins deux jours, les températures chutent de manière significative en dessous de la valeur de référence régionale pertinente (5°C).

Les tempêtes et les cyclones, la dénomination de vent violent s'applique en météorologie aux vents de force 10 à 12 sur l'échelle de Beaufort, c'est-à-dire aux vents moyens atteignant au moins 89 km/h (valeur minimale de la force 10).

Chapitre 2

“
Matériel et méthodes”

Chapitre 2 — Matériel et méthodes

1. Présentation de la région d'étude (Ain Beida)

1.1. Situation géographique

La ville d'Ain Beida, qui signifie la source blanche, est la plus grande ville de la wilaya d'Oum El Bouaghi, située au sud-est d'Oum El Bouaghi à 24 km et au Nord-est de l'Algérie entre latitude : 35.77930 N, longitude : 7.55971 E à une altitude de 1060 m au-dessus du niveau de la mer (Fig. 5) dans les hautes plaines constantinoises avec une altitude moyenne de 926 mètres au niveau du noyau central (Benchaabane, 2019).

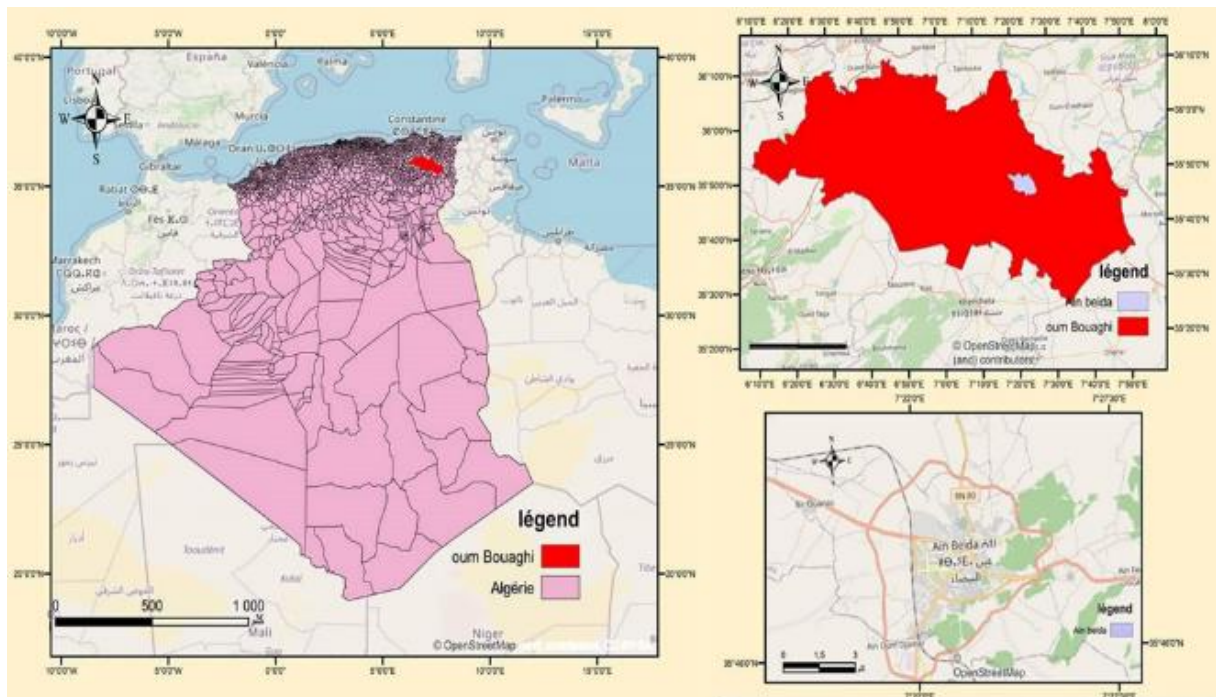


Figure 5. Localisation de la ville d'Ain Beida dans la wilaya d'Oum El Bouaghi

La ville d'Ain Beida s'étend sur une superficie totale de 597 km², avec 138 552 habitants. Elle se caractérise par sa centralité où elle forme un axe stratégique et proche des six wilayas importantes suivantes : Khenchela (48 km), Tébessa (88 km), Constantine (110 km), Guelma (110 km) et Batna (150 km).

1.2. Urbanisme de la ville d'Ain Beida

La ville d'Ain Beida est une ville historique ancienne qui a vécu le passage des diverses civilisations (Romaine, Française...etc.) qui a contribué à la construction de son patrimoine architectural urbain (Mazouz, 2018).

Avec la grande évolution d'agglomération des populations de la ville d'Ain Beida (Tableau 1) qui est considéré comme la ville la plus peuplée de la wilaya d'Oum El Bouaghi ; parallèlement avec le développement sociologique, économique et urbain, la ville est devenue un pôle socio-économique par excellence (Mazouz, 2018).

Tableau 1. La croissance de la population d'Ain Beida (1987-2018).

Période	Nombre de population de la commune d'Ain Beida	Taux de croissance
1987	67282	92.53
1998	99019	95.71
2012	129766	97.15
2018	148276	97.16

(Source : Guerram, 2020).

1.3. Hydrographie de la ville d'Ain Beida

Le réseau hydrographique d'Ain Beida est représenté par oued « El Hassi », au nord-ouest et oued « Yesfer » au sud-est (Benchaabane, 2019). L'alimentation en eau potable de la ville d'Ain Beida se fait à partir : i) des eaux souterraines, ii) eaux du barrage d'Ain Dalia (Wilaya de Souk Ahras) (Mazouz, 2018).

2. Étude climatique de la région d'Ain Beida (2015-2021)

2.1. Caractéristiques climatiques d'Ain Beida

La ville d'Ain Beida se situe dans les hautes plaines telliennes, elle subit les influences d'une zone sub-saharienne. Elle connaît des hivers froids rigoureux et des étés chauds et secs.

2.1.1. La température

D'après la figure (6), nous constatons que l'année se divise en deux périodes distinctes : une période froide de novembre à avril et une période chaude de mai à octobre. Le mois le plus froid est le mois de janvier avec une valeur moyenne de 7.5 °C. Le mois de juillet est le mois le plus chaud avec une valeur de 29.9 °C (Fig. 6). Les variations des températures moyennes annuelle de la région étudiée étalées sur sept ans (2015-2021), sont représentées sur le Tableau (2) qui montre que la température moyenne annuelle la plus élevée durant cette période est constatée en 2021, alors que la plus basse est constatée en 2015 et 2018.

Tableau 2. La température moyenne annuelle d'Ain Beida période (2015-2021).

Années	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Température moyenne annuelle (°C)	17.2	18.1	17.8	17.2	17.4	18	18.5

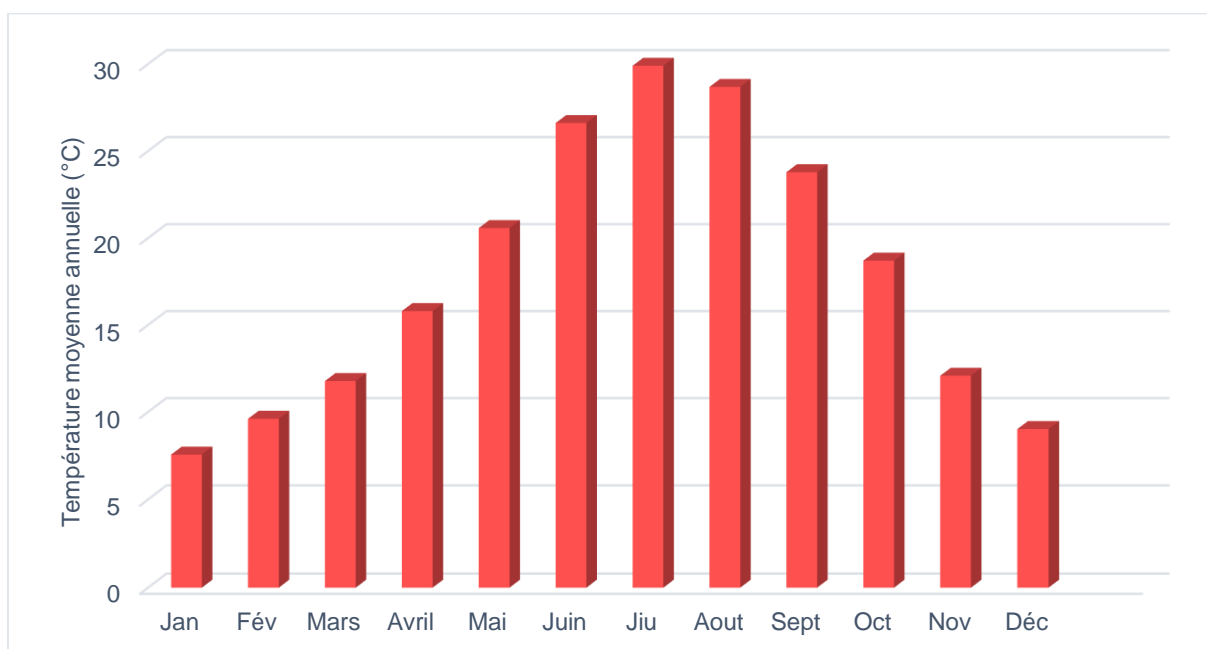


Figure 6. Les variations de la température moyenne mensuelle d'Ain Beida (2015-2021)

2.1.2. Précipitations

2.1.2.1. Précipitations moyennes mensuelle

La période la plus pluvieuse s'étale du mois de mars jusqu'au mois de mai et de septembre à octobre. La période la moins pluvieuse s'étale du mois de juin jusqu'au mois d'août. Le mois le plus pluvieux est le mois de mai avec une moyenne de précipitations de 40.38 mm et le plus sec est le mois de juin avec une moyenne de 6.20 mm (Fig. 7).

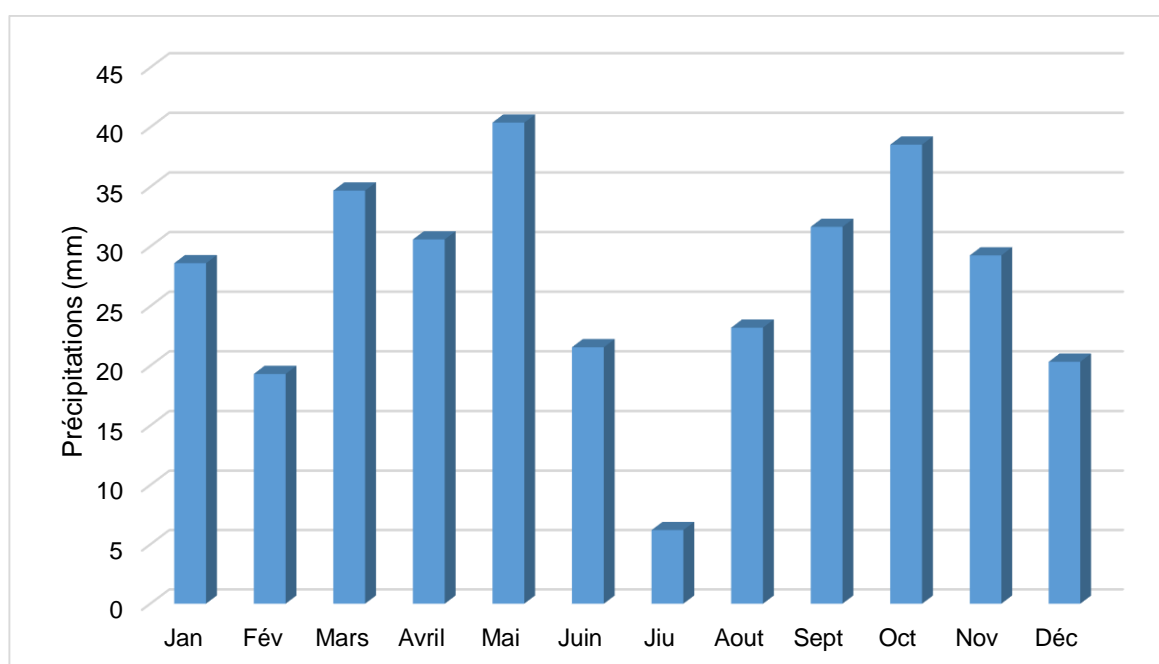


Figure 7. Les variations des précipitations mensuelles d'Ain Beida (2015-2021)

2.1.2.2. Précipitations moyennes saisonnière

Le printemps est la saison la plus arrosée avec 105.66 mm, suivi par l'automne avec 99.43 mm, l'hiver avec 68.24 mm et en fin l'été avec seulement 50.94 mm (Fig. 8).

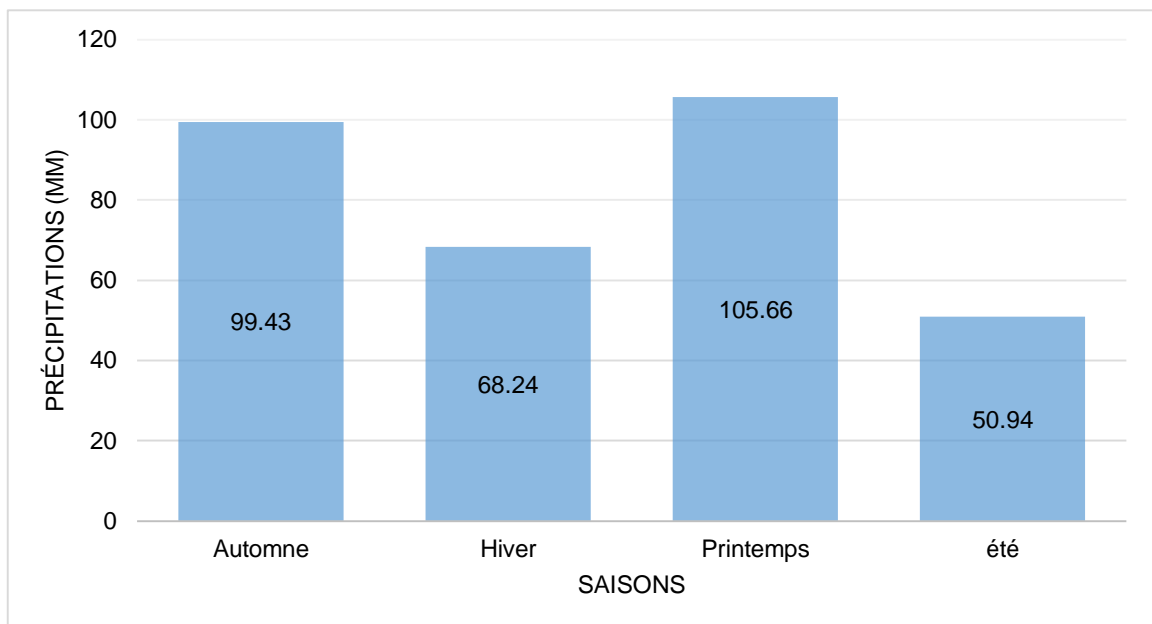


Figure 8. Les Précipitations saisonnière de la ville d'Ain Beida (2015-2021).

2.1.3. Les vents

Les moyennes mensuelles des vents durant la période étalée du 2015 à 2021 représenté sur la figure (9), révèlent que les vents les plus forts sont enregistrés au cours des mois de mars et avril, alors que les plus faibles enregistré sur la période étalée d'aout à décembre (Fig. 9).

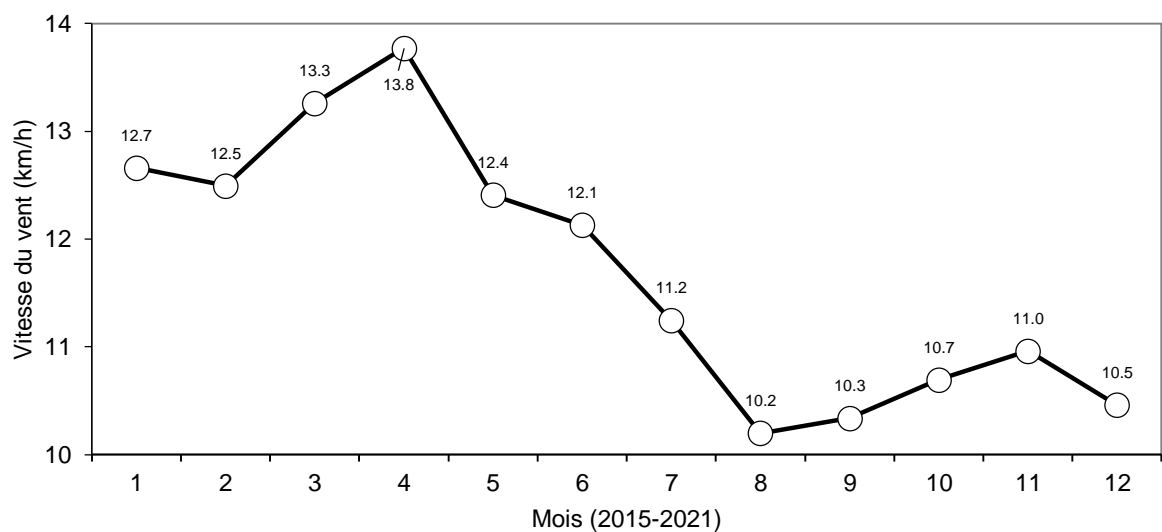


Figure 9. Vitesse moyenne mensuelle des vents dans la région d'Ain Beida pour la période 2015-2021

2.2. Synthèse climatique de la région d'étude

2.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Gaussen représente la courbe de la température exprimée en degré Celsius et des bâtonnets des précipitations exprimées en mm, le diagramme ombrothermique consiste à faire la combinaison entre les deux (Gaussen & Lauer, 1961), le diagramme permet de représenter et comparer des climats, et définit la période de sécheresse et la période humide (Charre, 1997). La sécheresse s'établit lorsque la pluviométrie mensuelle (P) est inférieure au double de la température moyenne mensuelle avec le $PP = 2T$ (Dajoz, 1985). En effet, le diagramme Ombrothermique permet de préciser les périodes sèches et humides.

- ✓ La période sèche, s'étend du mois de juin jusqu'au mois d'août et la période humide s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai.
- ✓ Le mois de juin est le mois le plus sec avec une température de 29.9 °C et 6.2 mm de précipitations (Fig. 10)

Le diagramme de la figure (10) représente les températures moyennes et les précipitations moyennes des douze mois de l'année étalées sur la période (2015-2021).

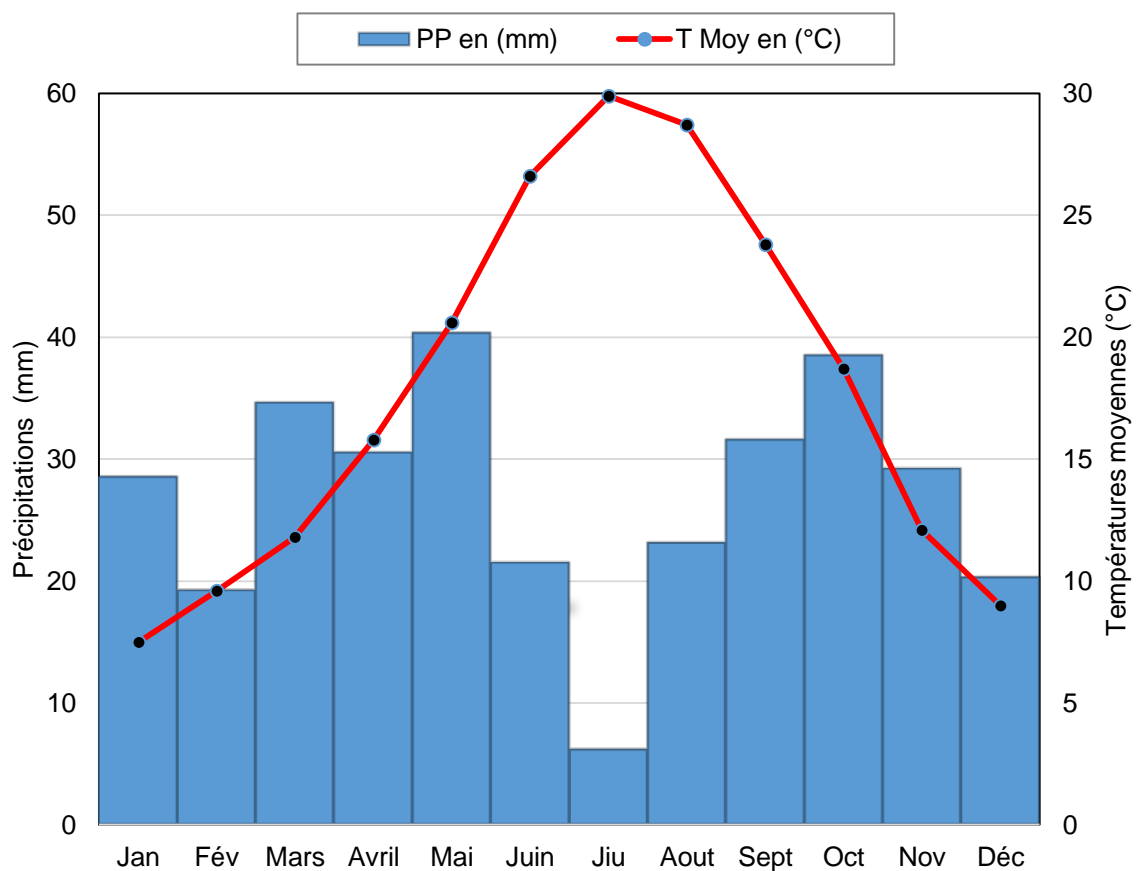


Figure 10. Diagramme ombrothermique d'Ain Beida pour la période 2015-2021

2.2.2. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger permet de déterminer le type du climat de la zone d'étude, dans cinq étages bioclimatiques (Defaut, 1990), qui sont : humide, sub-humide, aride, semi-aride, et saharien. Emberger a mis en évidence le quotient pluviométrique (Q_2) (Kherroubi, 2008), qui est calculé par la formule suivante (Dajoz, 1982) :

$$Q_2 = 3.43 \times PP / (TM - Tm)$$

Avec : Q_2 : quotient pluviométrique d'Emberger, PP : la somme des précipitations annuelles exprimées en mm, TM : la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C, et Tm : la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

- La valeur de quotient Q_2 de la région d'étude calculée à partir des données climatiques obtenues durant une période de 7 ans (2015-2022) est $Q_2 = 67.05$.
- Les températures moyennes des minimas des mois les plus froids, calculées pour la même période est $m=2.6$ °C. En rapportant ces valeurs sur le climagramme d'EMBERGER (Fig. 11), l'emplacement de cet indice sur le climagramme d'Emberger, nous a permis de situer la région d'Ain Beida dans l'étage bioclimatique semi-aride à hivers frais.
- Les précipitations annuelles exprimée en mm : PP = 361.45 mm.

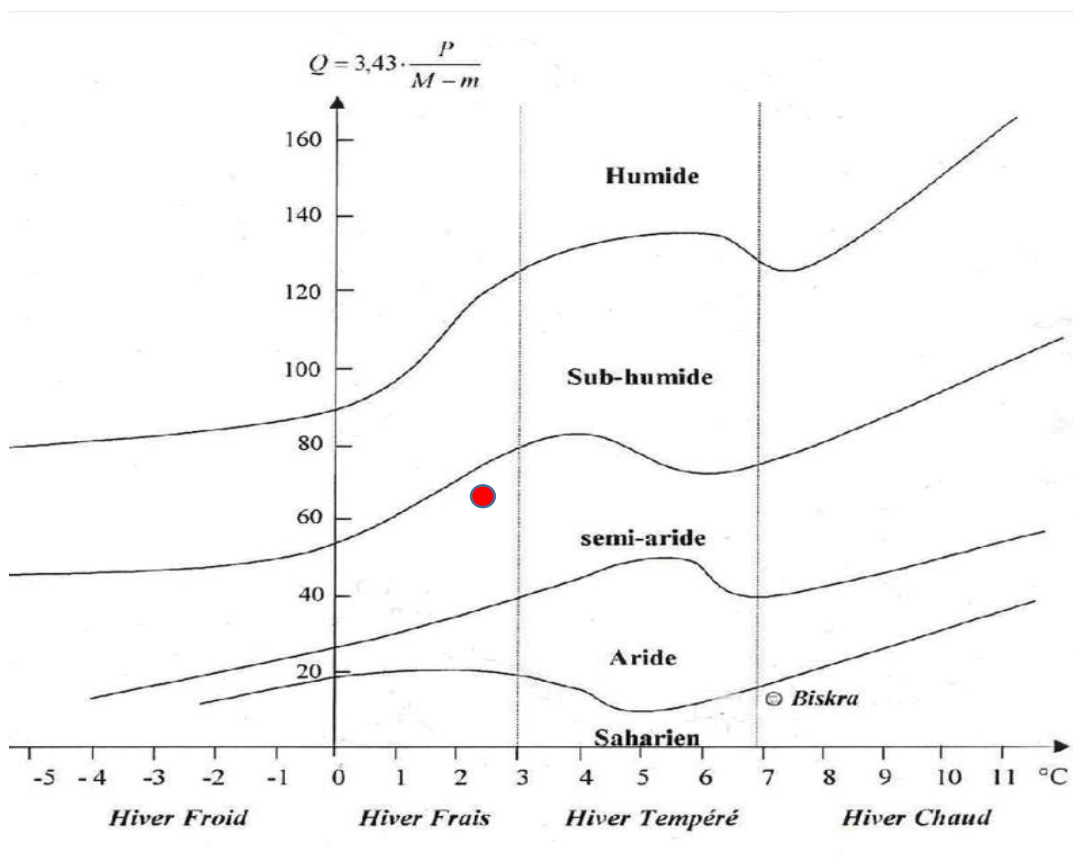


Figure 11. Climagramme d'Emberger de la région d'Ain Beida déterminé pour la période 2015-2021

3. Présentation de la station d'étude

3.1. Présentation générale de la STEP de Ain Beida

La station d'épuration des eaux usées de Ain Beida se trouve au nord-ouest de la ville à 3 km (Figs. 12, 13), elle a été mise en service précisément le 01/01/2015 par les canadiens et transférer à l'ONA le 01/07/2015. La conception de la station répond aux exigences de la ville d'Ain Beida d'une capacité de 140 000 EH, extensible à 210 000 EH. Les coordonnées de géolocalisation selon GPS sont : 35°47'22.24"N, 7°20'27.18"E. Altitude : 930m (niveau mère). Le milieu récepteur des eaux traitées est Oued El Azzabi.

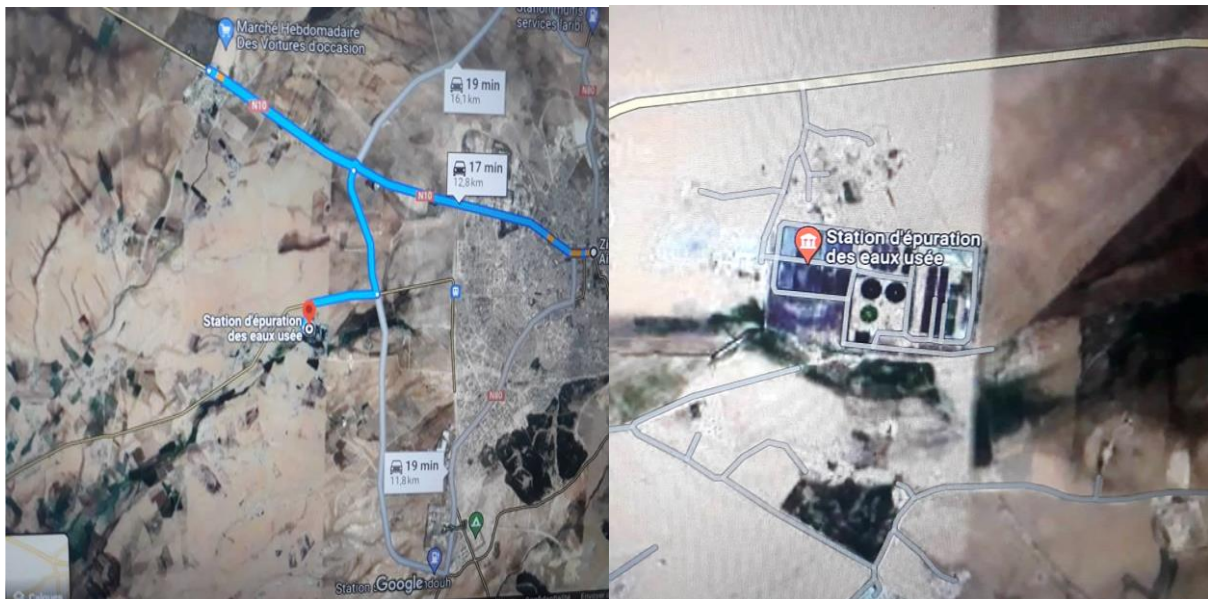


Figure 12. Localisation de la STEP d'Ain Beida par rapport à la ville et la route (Google Earth : mai, 2022)

3.2. Fonctionnement de la STEP d'Ain Beida

La STEP traite les eaux usées urbaine de la ville d'Ain Beida, l'eau usée brute entre à la station présente un débit moyen de 10000 m³/jour et une pointe de débit max de l'ordre de 16840 m³/jour. Le mode d'épuration de la station d'Ain Beida est par : procédé à cultures libres de type boues activées à faible charge.

3.2.1. Arrivée des eaux brutes

L'arrivée des eaux usées municipales de la ville se fait par gravité. Le bypass des réseaux des eaux usées (Fig. 14), construit pour contrôler le débit des eaux usées dans la station ; il peut réduire ou augmenter le débit des rejets. Comme il assure l'évacuation de l'excès en eau et lutte contre les risques d'arrivée brutale des eaux fortes surtout dans les cas des inondations ou forte averse.

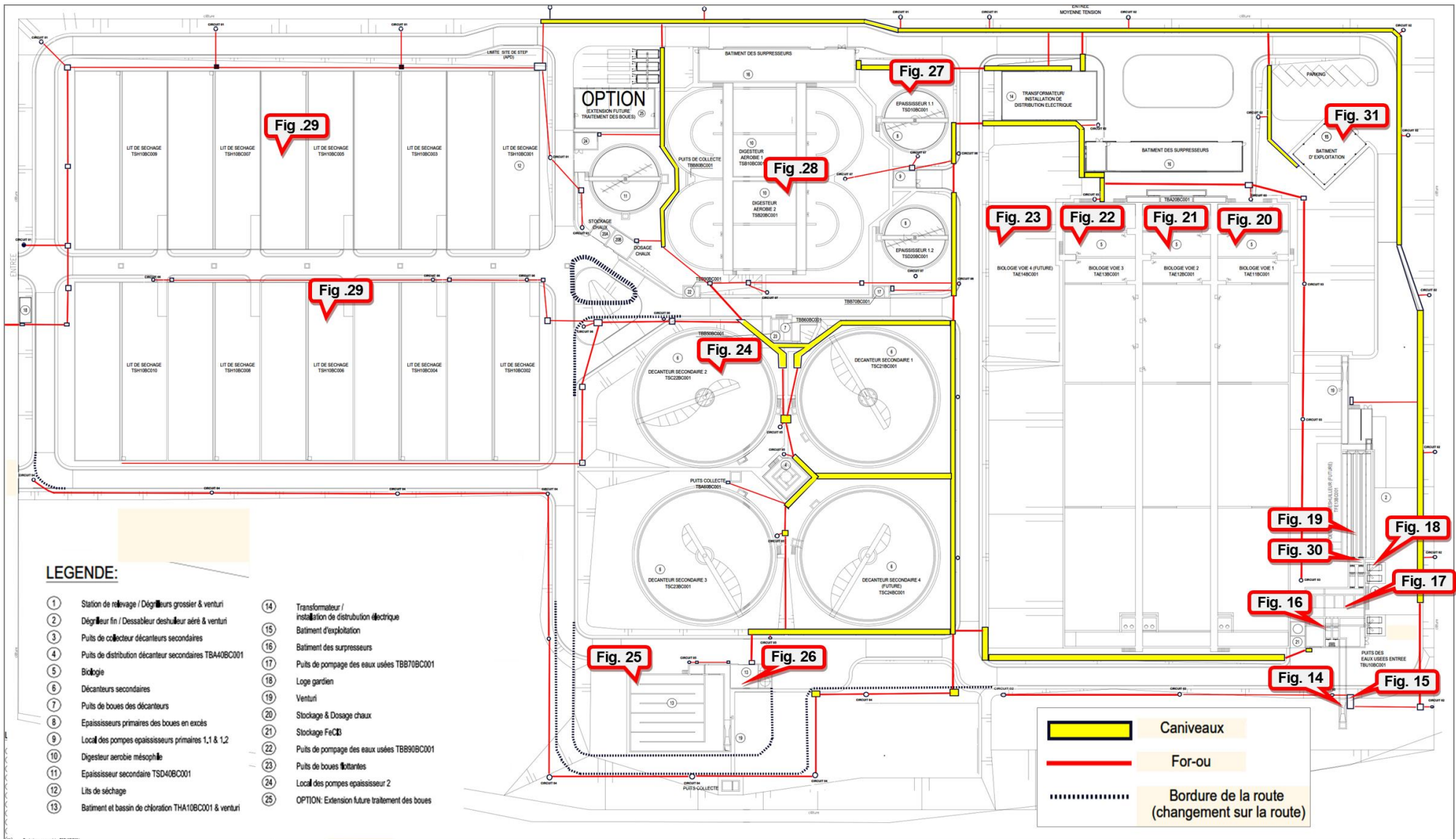


Figure 13. Plan de la STEP d'Ain Beida (Oum Bouaghi). Les figures dans des carrés en rouge sont associées aux figures du présent document



Figure 14. Bypass

3.2.2. Prétraitement

3.2.2.1. Panier grossier

Le principe de ce dispositif manuel (Fig. 15) c'est le piégeage de tous les gros déchets avec un diamètre supérieur à 10 cm qui peut gêner les traitements suivants.

Le poste de relevage contient à l'intérieur, les installations de dégrillage grossier (Fig. 16) et quatre pompes de relevage d'eau (Fig. 17).



Figure 15. Le panier grossier

3.2.2.2. Dégrillage grossier

Le dégrilleur grossier existe à l'intérieur du poste de relevage son rôle c'est de filtrer tous les déchets qui ont réussi à passer l'étape précédente dans le panier grossier, et les déchets qui ont un diamètre inférieur à 10cm (Fig. 16). Le rôle de cette étape c'est d'éviter l'engorgement des pompes (Fig. 17) et les équipements en aval du dégrillage en éliminant des gros déchets (bouteille en plastique, les papiers...) qui ont rejeté dans un transporteur des déchets (Fig. 16).



Figure 16. Le Dégrilleur grossier / transporteur des déchets

3.2.2.3. Relevage d'eau

Le relèvement des eaux usées après le dégrillage grossier, se fait à l'aide des quatre pompes de relevage qui ont une capacité totale de 4400 m³/h (Fig. 17).



Figure 17. Des pompes de relevage

3.2.2.4. Dégrillage fin

Après le relevage d'eau (Fig. 18-A), vers le haut (Fig. 18-B), l'eau passe au dégrilleur fin (Fig. 18-C) afin d'éliminer tous les déchets solides de taille fine (Fig. 18-D).

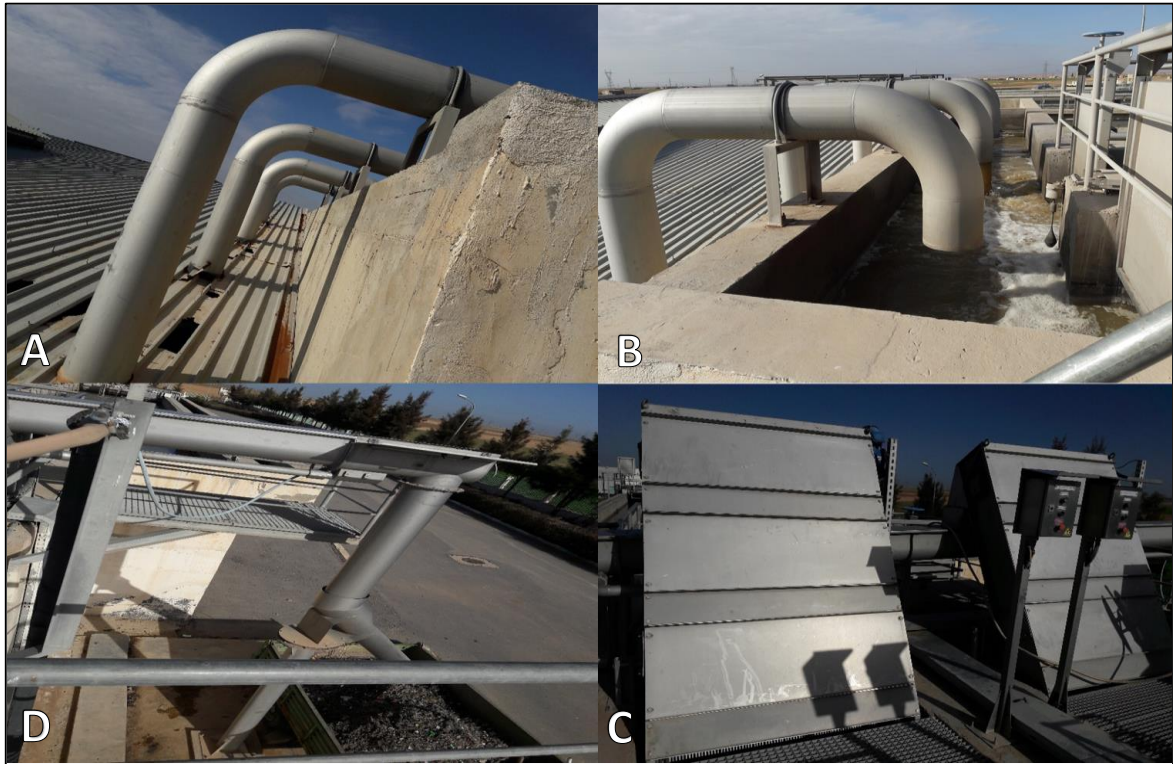


Figure 18. Le dégrillage fin

3.2.2.5. Dessablage / Dégraissage

La stagnation des eaux (Fig. 19-B) permet la sédimentation des dépôts lourds au fond du bassin. Ses dépôts composés de sable, argile, limons, graviers et des autres particules minérales, ses derniers sont récupérés par un pompage, puis les eaux sableuses sont acheminées vers le classificateur à sable (Fig. 19-C) afin d'évacuer l'eau et extraire sauf le sable (Fig. 19-D). Les graisses et les huiles sont légères, ses dernières sont remontées à la surface avec l'injection des bulles d'air qui facilite leur flottation, l'ouvrage muni d'un pont roulant sert à racler les huiles et les graisses flottantes (Fig. 19-A).



Figure 19. Le dessablage déshuilage (A : Dégraisseur ; B : Dessableur ; C : Classificateur a sable ; D : Sable)

3.2.3. Traitement biologique par boue activée

Le fonctionnement d'épuration des eaux usées de la STEP d'Ain Beida est de type : Boue activée. Ce processus se fait dans la zone de contact boue eau (Fig. 20) à l'intervention des micro-organismes (bactéries) épurateurs qui transforment la matière organique polluante dissoute (azotée /phosphorée/carboné) en boues biologiques par une alternance de phase d'aération et de repos dans des bassins biologiques, ce dernier comprend trois zones :

3.2.3.1. Bassin biologique

3.2.3.1.1. Zone anaérobie (déphosphoration)

Dans ce milieu anaérobie, pauvre en oxygène, les bactéries décomposent 30% du phosphates, donc l'accumulation des phosphates dans la biomasse épuratrice ajouter sous forme d'une boue activée (Fig. 20).



Figure 20. La zone anaérobie

3.2.3.1.2. Zone anoxie (dénitrification)

La zone anoxie situé en amont du bassin d'aération (Fig. 21), avec la diminution d'oxygène dans le milieu, les bactéries utilisent les nitrates (NO_3^-) pour satisfaire leur besoin en oxygène, par la désoxygénation : $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2$



Figure 21. La zone anoxie

3.2.3.1.3. Zone aérobie (Phase de nitrification)

Comprend des équipements d'aération (diffuseur à disque) et de brassage installé au fond du bassin, cela alimente le bassin en oxygène (Fig. 22) nécessaire pour le processus de la dégradation de la matière organique polluante par les microorganismes aérobies.



Figure 22. Bassin avec insufflation d'air (Bassin d'aération)

3.2.3.2. Bassin de dégazage

L'élimination des gaz et la précipitation des PO_4^- par un réactif chimique qui est le sel ferreux dans le bassin de dégazage apparaisse dans la figure (23).



Figure 23. Bassin de dégazage

3.2.4. Décantation secondaire (Clarification)

L'eau après le dégazage passe au clarificateur qui sépare l'eau et la boue, le pont racleur apparaissent dans la figure (24) débarrasse les boues qui se déposent au fond.



Figure 24. Décanteur secondaire (Clarificateur)

3.2.5. Traitement tertiaire

La STEP d'Ain Beida applique la méthode de désinfection par chloration (Fig. 25), le chlore est stocké dans une cuve (Fig. 26). Cette étape est pour but l'élimination des microorganismes pathogène (Bourbon *et al.*, 2015).



Figure 25. Bassin de chloration



Figure 26. Cuve de stockage et distribution d'eau de javel

3.2.6. Traitement des boues

Après la séparation des boues dans le clarificateur, une partie des boues est recirculer vers les bassins biologiques pour l'accélération du processus de dégradation de la matière polluante, le reste des boues en excès est évacuer vers l'épaississeur.

3.2.6.1. Épaississement primaire

Les boues épaissies dans l'épaississeur primaire (Fig. 27) sont pompées vers le digesteur aérobique, et l'eau re-circule vers la station de relevage.



Figure 27. L'épaississeur primaire

3.2.6.2. Digestion aérobie

Dans la digestion aérobie les boues sont épaissies, afin de réduire leur quantité, et pour leur stabilisation dans un épaississeur secondaire (Fig. 28).

3.2.6.3. Déshydratation des boues

Les boues épaissies sont déchargées dans les lits de séchage (Fig. 29). Cela permet de diminuer la teneur en eau des boues.



Figure 28. L'épauississeur secondaire (le digesteur aérobie)



Figure 29. Les lits de séchage

4. Collecte des données, échantillonnage et analyses des eaux usées

4.1. Échantillonnage

Les points d'échantillonnage sont situés là où il y a suffisamment de turbulence pour assurer l'homogénéité de l'effluent qui se fait au centre du canal, l'échantillonnage est effectué une seule fois par jour à l'entrée et à la sortie, afin de suivre les performances épuratoires de la STEP.

- Un échantillon d'eau brute dans la phase de dégrillage fin.
- Un échantillon d'eau purifiée à la sortie dans la phase de chloration.

Il est primordial d'enregistrer correctement et adéquatement l'ensemble des renseignements adaptés pour décrire et identifier tous les échantillons prélevés, les échantillons doivent être conservés dans des conditions bien définies (température, obscurité, etc.) dans un échantillonneur automatique (Fig. 30). L'agent de prélèvement prépare 12 bouteilles des flacons et les rapporte au laboratoire pour effectuer la caractérisation physicochimique.



Figure 30. Échantillonneur automatique

4.2. Analyses physicochimiques



Les analyses physicochimiques réalisées au niveau du laboratoire de la STEP (Fig. 31), qui est équipé avec un matériel spécialisé d'analyse et de dosage d'un ensemble de paramètres physico-chimiques, à savoir : la température (T), le pH, l'oxygène dissous, la conductivité électrique (CE), les MVS, les MES, la DCO, la DBO₅, les nitrates, les nitrites, l'azote ; nécessaires pour la caractérisation et l'évaluation du rendement épuratoire à partir des analyses des eaux usées brutes et celles épurées, ainsi que, le traitement des boues.













Figure 31. Laboratoire physico chimique de la STEP d’Ain Beida

Généralement, le pH, la température et la CE sont mesurées *in situ*, alors que Nt, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄⁺, DCO, DBO₅, MES et MVS sont réalisés au niveau du laboratoire de la STEP. Le Tableau (3) résume les principaux paramètres physicochimiques analysés et l’appareillage utilisé.

Tableau 3. Les appareils et leur fonctionnement dans le laboratoire de la STEP d’Ain Beida.

Nom d’appareille et unité de mesure	Fonctionnement	Photographie de l’appareil
Multi-paramètre pH CE Unité : µs/cm T Unité: °C	Plonger l’électrode dans l’échantillon contenu dans un bûcher, avec une agitation manuelle. Mesure différents paramètres physicochimiques : pH, CE, Température.	
Spectrophotomètre	Lecture spectrophotométrique des concentrations (DCO, Nt, Pt, PO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , NO ₂) en mg/L	

<p>Oxymètre de laboratoire Unité: mg/L</p>	<p>Mesure d'oxygène dissous</p>	
<p>Réactif DCO</p>	<p>Mesure de la DCO (Haute gamme pour les eaux usées et base gamme pour les eaux épurées)</p>	
<p>Réacteur DCO Unité: mg /L</p>	<p>Faire la minéralisation de la DCO (chauffé les tube à 148°C pendant 02 heures)</p>	
<p>Le bain-marie</p>	<p>Désinfection des verreries</p>	
<p>Étuve</p>	<p>Séchage des matières en suspensions (MES).</p>	

<p>Centrifuges</p>	<p>Appareil de séparation selon la densité (détermination des matières en suspensions (MES)).</p>	
<p>Balance de précision</p>	<p>Mesure précise avant et après le séchage pour le calcul des (MES)</p>	
<p>Unité de filtration à vide Avec Pompe</p>	<p>Filtration accélérée</p>	
<p>Armoire thermorégulatrice pour l'incubation des échantillons à 20°C</p>	<p>L'incubation des échantillons à 20°C pendant 05 jours (DBO₅)</p>	
<p>Dissicateur</p>	<p>Rendre les matières en suspensions (MES) humide sèche</p>	

DBO ₅ mètre	Mesure la DBO ₅	
------------------------	----------------------------	--

5. Normes des eaux usées d'entrée et de sortie

Les eaux usées brutes à l'entrée de la STEP doivent présenter les caractéristiques physico-chimiques présentées sur le Tableau (4) pour être acceptée pour le traitement.

Tableau 4. Les normes des eaux d'entrée par l'ONA et JORA.

Paramètre	Unité	Norme (ONA, 2015)	Norme (JORA, 2012)
T	C °	30	30
pH		6.5-8.5	6.5-8.5
CE	µs/cm	-	-
DCO	mg/L	847	1000
DBO ₅	mg/L	449	500
MES	mg/L	582	600
N total	mg/L	80	150
NO ₂	mg/L	-	0.1
P Total	mg/L	15	50

(T : Température ; CE : Conductivité électrique ; N totale : azote totale ; P totale : Phosphore totale)

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

ONA : Office National d'assainissement.

Tableau 5. Les normes des eaux de sortie (OMS, 2001 ; JORA, 2012 ; ONA 2015)

Paramètre	Unité	Norme (ONA, 2015)	Norme (JORA, 2012)	OMS, 2001
T	C °	30	30	30
pH		6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5
CE	µS/cm	-	-	50-1500
DCO	mg/L	120	90	120
DBO ₅	mg/L	30	30	35
MES	mg/L	-	35	35
NH ₄	mg/L	-	-	0
NO ₂	mg/L	-	1	0

6. Analyses des données

6.1. Rendement épuratoire

Le rendement épuratoire a été analysé pour les trois paramètres : MES, DCO et DBO₅. D'après Spellman (2014), le rendement épuratoire se calcule à base de la concentration de polluants des eaux entrées et la concentration des polluants des eaux traitées suivant la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = (\mathbf{X}_{\text{entrée}} - \mathbf{X}_{\text{sortie}} / \mathbf{X}_{\text{entrée}}) \times 100$$

- $\mathbf{X}_{\text{entrée}}$: Concentration du paramètre considéré dans les eaux usées brutes au niveau de l'entrée de la station.
- $\mathbf{X}_{\text{sortie}}$: Concentration du paramètre considéré dans les eaux traitées au niveau de la sortie de la station.

6.2. Ratio DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ permet de qualifier la biodégradabilité d'un effluent. D'après Fidèle (2020) et Yapo (2009) :

- DCO/DBO₅ < 2 caractérise un effluent facilement biodégradable ;
- 2 < DCO/DBO₅ < 3 un effluent biodégradable ;
- DCO/DBO₅ >3 caractérise un effluent non biodégradable.

6.3. Indice de la qualité des eaux

L'indice de la qualité de l'eau (IQE) représente la qualité globale de l'eau pour toute utilisation prévue (Abbasi et Abbasi, 2012). Il est entièrement basé sur des mesures chimiques et physiques (Brown *et al.*, 1970). L'indice de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :

$$\text{IQE} = \sum_{i=1}^n Qi \times Wi / \sum_{i=1}^n Wi$$

$$Wi = k / Si$$

- \mathbf{Wi} : poids relatif spécifique à chaque paramètre physico-chimique, calculer selon cette formule ;
- \mathbf{Si} : valeur maximale de la norme standard Algérienne des eaux de surface (JORA, 2012) de chaque paramètre en mg/L sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique.
- \mathbf{K} : constante de proportionnalité, calculer selon cette formule :

$$\mathbf{K} = 1 / \sum_{i=1}^n (1/Si)$$

- \mathbf{Qi} : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre, calculer par l'équation suivante :

$$\mathbf{Qi} = (\mathbf{Ci} / \mathbf{Si}) \times 100$$

\mathbf{Ci} : la concentration de chaque paramètre en mg/L.

\mathbf{n} : nombre de paramètres.

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tableau6) (Brown *et al.*, 1972 ; Chatterji & Raziuddin, 2002 ; Aher *et al.*, 2016).

Tableau 6. Classes de la qualité des eaux selon IQE.

Classe de IQE	Type d'eau	Usage possible
0 – 25	Excellente qualité	Irrigation et industrie
>25 – 50	Bonne qualité	Irrigation et industrie
>50 – 75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
>75 – 100	Très mauvaise	Non acceptable pour l'usage agricole
> 100	Fortement polluée	Traitement approprié requis avant utilisation

7. Analyses statistiques

Les données journalières des 13 paramètres physicochimiques (T, pH, CE, DCO, DBO₅, MES, MVS, Nt, NTK, NH₄⁺, NO₃⁻, NO₂⁻, et PO₄⁺) ainsi les pourcentages des rendements épuratoires (MES, DCO, DBO₅, et ratio DCO/DBO) ont été résumées par mois et par années en utilisant des statistiques descriptives (moyenne, écart type, maximum et minimum). Les relations entre les paramètres physicochimiques ont été déterminées par des tests de corrélation de Pearson à un seuil de significativité $\alpha = 5\%$ à la fois pour les eaux brutes et les eaux traitées. Les matrices de corrélation obtenues ont été représentées par des graphiques interactifs à l'aide du package "corrplot" version 0.92 (Wei & Simko, 2021), sous le logiciel R version 4.1.3 (www.r-project.org). La variation des quatre paramètres des rendements épuratoires entre les années, les mois et l'interaction `années × mois` a été testée par des analyses de la variance (ANOVA) à deux critères de classification.

La régression linéaire a été appliquée pour tester les effets des événements météorologiques extrêmes (Tm, TM, PP, indicateur de pluie et de neige) sur la variation des valeurs d'IQE. Pour chaque paramètre météorologique, les valeurs extrêmes ont été définies selon deux critères : les valeurs supérieures à 90% par rapport à la totalité des valeurs la population statistique (i.e. 2015-2022), et les valeurs supérieures à 95% de la série des données climatiques. Des ANOVAs à seul critère de classification ont été effectuées pour tester la variation de l'IQE entre différentes catégories des paramètres climatiques étudiés. Pour Tm, TM et PP, les catégories prises en considération étaient les valeurs extrêmes (<90% et <95%) et le reste des valeurs (inférieures à 90% de la série des données). Pour les indicateurs de pluie et de la neige, on a pris les jours pluvieux (ou neigeux) comme catégorie, et les jours sans pluie (ou sans neige) comme une deux catégorie. Les analyses statistiques et les représentations graphiques ont été réalisées à l'aide de deux logiciels XLstat (version 7.5.2) et Excel Microsoft (version 2016).

Chapitre 3

“ ”
Résultats

Chapitre 3 — Résultats

1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux

Les statistiques descriptives des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau prélevés au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période (2015–2022) sont reportées dans le Tableau (7).

1.1. Température

D'après les résultats obtenus (Tableau 7), la température de l'air observée est comprise entre 0.2 et 37°C avec une moyenne de $17.7 \pm 8.5^\circ\text{C}$. Les valeurs de la température des eaux usées brutes sont comprises entre 5.2 et 27°C. Pour les eaux traitées la température varie légèrement de celle des eaux brutes (1.9–28°C) avec des moyennes assez similaires ($15.5 \pm 4^\circ\text{C}$ pour les eaux brutes et $15.0 \pm 4.6^\circ\text{C}$ pour les eaux traitées). La valeur de la température des eaux brutes la plus basse (5.2 °C) a été enregistrée en automne 2015, et la plus élevée (27°C) en été 2020. Tandis que la température des eaux traitées la plus élevée (28°C) a été enregistrée en été 2020 et la plus basse (1.9°C) en hiver 2021 (Fig. 32).

Tableau 7. Statistiques descriptives des caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida durant la période (2015–2022).

Paramètres	Eaux brutes					Eaux traitées					JORA (2012)	OMS (2001)
	n	Moy.	ET	Min	Max	n	Moy.	ET	Min	Max		
T air (°C)	2459	17.7	8.5	0.2	37.0	—	—	—	—	—	—	—
T eau (°C)	1246	15.5	4.4	5.2	27.0	1171	15.0	4.6	1.9	28.0	30	30
pH	1399	8.0	0.3	7.1	9.3	1370	7.9	0.3	6.9	10	6.5–8.5	6.5–8.5
CE (mS/cm)	1395	1.9	0.3	0.5	2.66	1366	1.5	0.4	0.5	2.6	3	0.4–1.5
DCO (mg/L)	712	728.7	287.0	128.0	2275.0	721	41.4	15.0	11.9	145.0	120	90
DBO ₅ (mg/L)	839	312.0	121.4	15	780.0	844	4.2	6.5	1.0	65.7	30	30
MES (mg/L)	882	409.2	197.4	80.0	1960.0	889	13.0	5.0	1.0	50	35	< 20
MVS (mg/L)	852	266.5	124.7	20.0	1200.0	—	—	—	—	—	—	—
NH ₄ (mg/L)	219	37.7	13.6	0.0	89.4	223	0.6	1.6	0.0	12.4	—	< 0.5
NO ₃ (mg/L)	54	3.1	2.8	0.1	14.6	114	22.0	8.6	0.4	38.5	30	< 1
NO ₂ (mg/L)	187	1.1	1.1	0.037	6.6	186	0.2	0.7	0.0	6.2	—	1
NTK (mg/L)	45	74.0	17	48.2	121.4	44	6.4	5.9	0.0	28.0	—	—
Nt (mg/L)	107	82.0	16.6	47.0	135.0	106	34.1	9.0	14.5	68.7	30	—
PO ₄ (mg/L)	264	8.4	3.2	1.3	28.7	274	3.9	2.0	0.1	11.4	2	2

(n : taille d'échantillon (nombre de prélèvements mesurés) ; ET : écart type ; JORA : Journal Officiel de la République Algérienne ; OMS : Organisation mondiale de la santé).

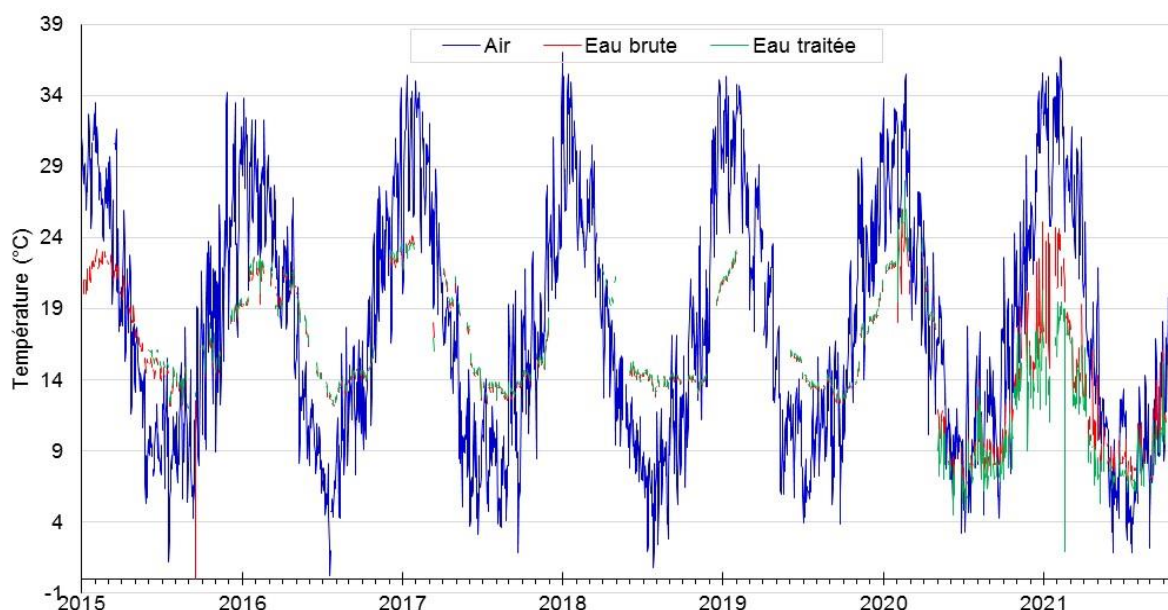


Figure 32. Évolution journalière des températures de l'air et des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période s'étendant entre 2015 et 2022

1.2. pH

Le tableau (7) montre que les valeurs moyennes du pH de l'eau à l'entrée de la STEP oscillent entre 7.1 et 9.3 (minimum et maximum, respectivement) avec une moyenne de 8 ± 0.3 . Les valeurs moyennes du pH des eaux traitées fluctuent entre 6.9 et 10 avec une moyenne de 7.9 ± 0.3 . D'après la figure (33), la valeur la plus élevée du pH (9.3) des eaux brutes a été enregistré au cours de mai 2018 ; et la valeur la plus basse (7.1) a été enregistrée durant octobre 2020. Le mois de mars 2017 a enregistré la valeur la plus élevée du pH des eaux traitées avec une valeur de 10, et la valeur la plus basse a été enregistrée pendant mars 2018 avec un $\text{pH}=6.9$ (Fig. 33).

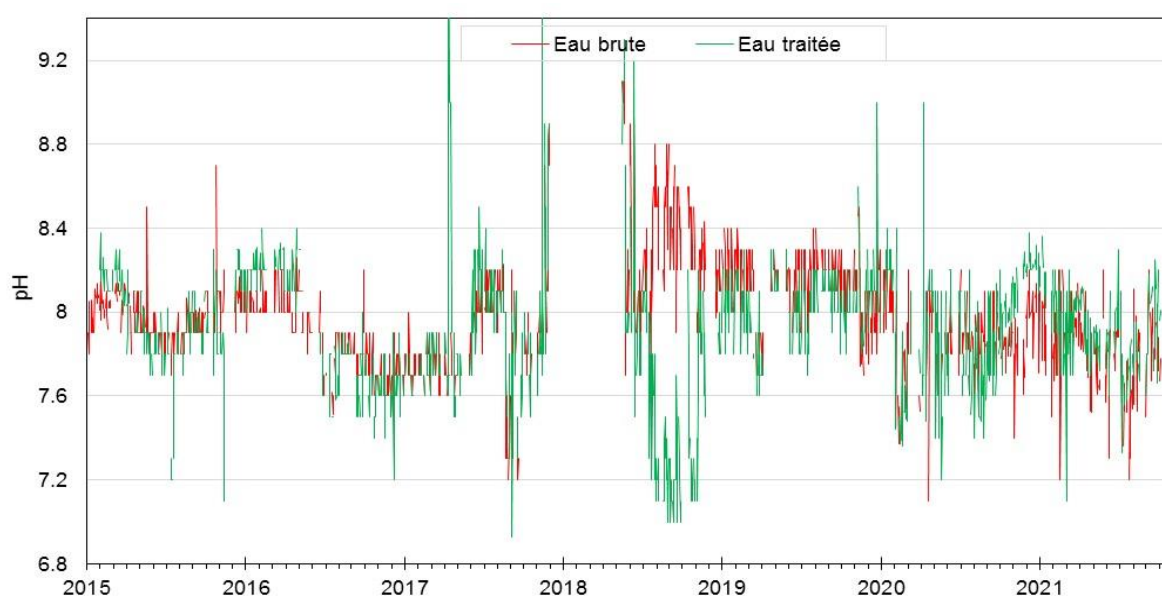


Figure 33. Dynamique temporelle des valeurs du pH des eaux usées brutes et traitées de la STEP d'Ain Beida pour la période 2015–2022

1.3. Conductivité électrique (CE)

La CE des eaux brutes fluctuait entre 0.52 et 2.66 mS/cm avec une moyenne de 1.9 ± 0.3 mS/cm, et pour les eaux traitées elle variait entre 1.0–2.6 mS/cm avec une moyenne de 1.5 ± 0.4 mS/cm (Tableau 7). Le mois d'août 2015 était le mois marqué avec la CE des eaux brutes la plus élevée (8.2 mS/cm) ; alors que la CE la plus basse (0.5 mS/cm) est observée durant avril 2018. Pour les eaux traitées, la valeur la plus élevée (2.6 mS/cm) est enregistrée durant Décembre 2018 mai 2020 et la plus basse est observée le même mois et l'année avec une valeur de 0.54 mS/cm (Fig. 34).

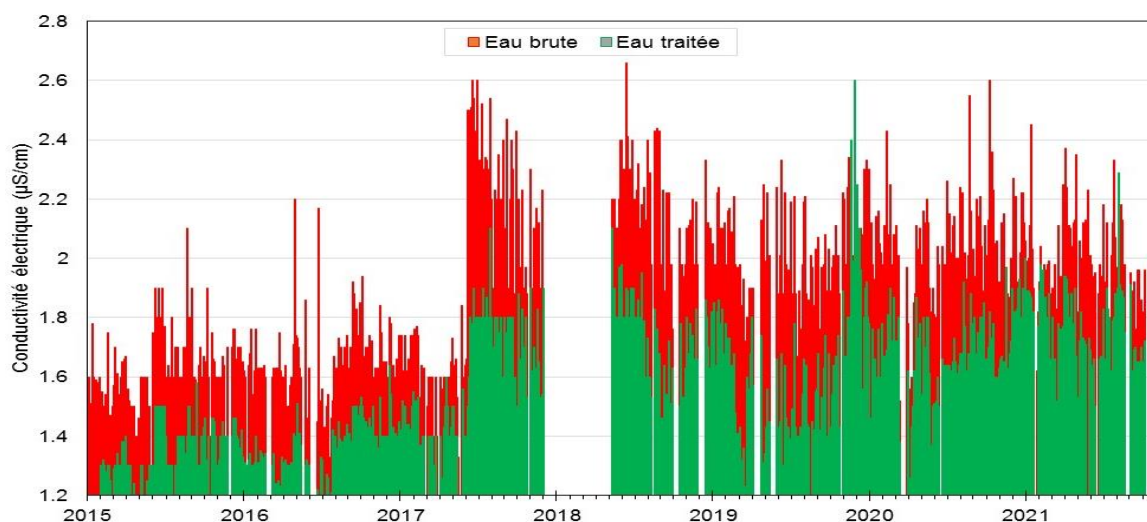


Figure 34. Variation temporelle de la conductivité électrique des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2015–2022

1.4. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs de DCO des eaux brutes s'étendent de 128 à 2275.0 mg/L avec une moyenne de 728.7 ± 287 mg/L, et pour la DCO des eaux traitées l'étendue des valeurs était 11.9–145 mg/L avec une moyenne de 41.4 ± 15 mg/L (Tableau 7). Selon la figure (35), la valeur de DCO des eaux brutes la plus basse a été enregistrée durant le mois de mars 2021 et la valeur la plus élevée est notée pendant février 2020 avec 128–2257 mg/L. La valeur minimale de la DCO des eaux traitées (11.9 mg/L) est enregistrée en automne pendant le mois de novembre 2019 et la valeur maximale (145 mg/L) durant le mois d'août en 2020.

1.5. Demande biochimique en oxygène pendant cinq jours (DBO₅)

La valeur la plus élevée de DBO₅ des eaux brutes (780 mg/L) est remarquée pendant le mois d'août 2020, et la valeur la plus basse (15 mg/L) est notée en janvier 2017 (Tableau 7, Fig. 36). Concernant les eaux traitées, la valeur de DBO₅ la plus élevée a été enregistrée durant le mois d'août en 2021 (65.7 mg/L). Les eaux brutes ont une DBO₅ moyenne de 312.0 ± 121.4 mg/L et les eaux traitées ont une DBO₅ variant de 1 à 65.7 mg/L avec une moyenne de 4.2 ± 6.5 mg/L (Tableau 7).

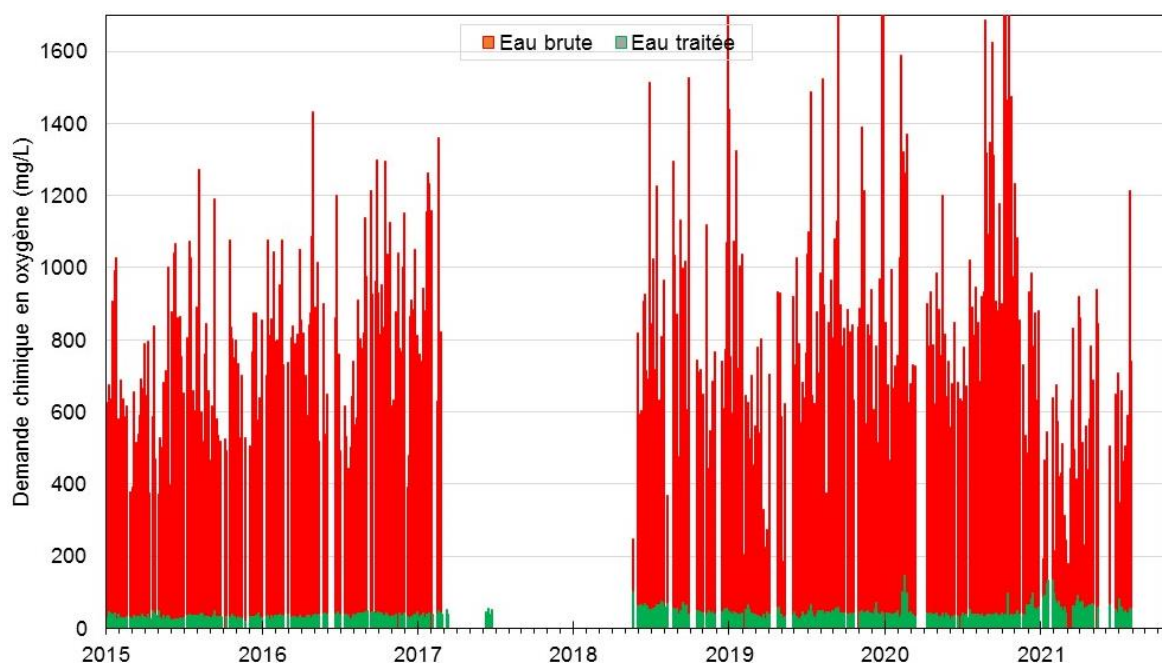


Figure 35. Variation temporelle de la DCO des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d’Ain Beida durant la période 2015–2022

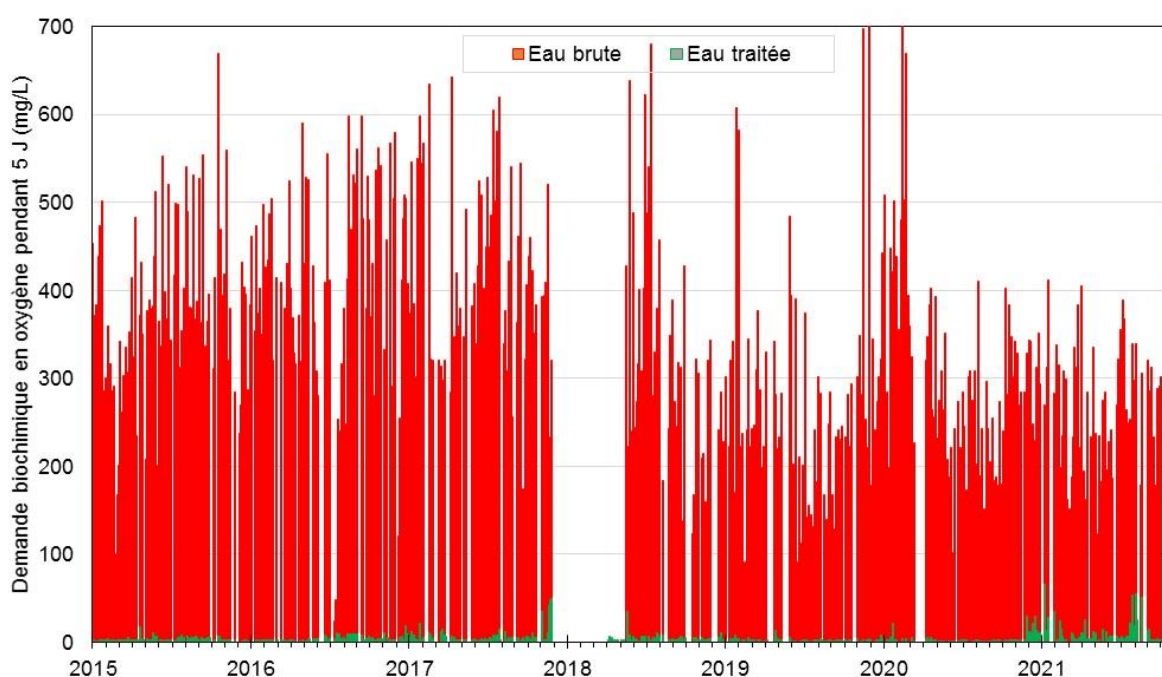


Figure 36. Dynamique journalière de la DBO₅ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d’Ain Beida pendant la période 2015–2022

1.6. Biodégradabilité de l’effluent (ratio DCO/DBO₅)

La variabilité temporelle du ratio DCO/DBO₅ (Fig. 37), indicateur de la biodégradabilité de l’effluent, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pendant les périodes juin 2019, janvier 2020 et juillet 2020 ; tandis que la valeur la plus basse est observée durant février 2021.

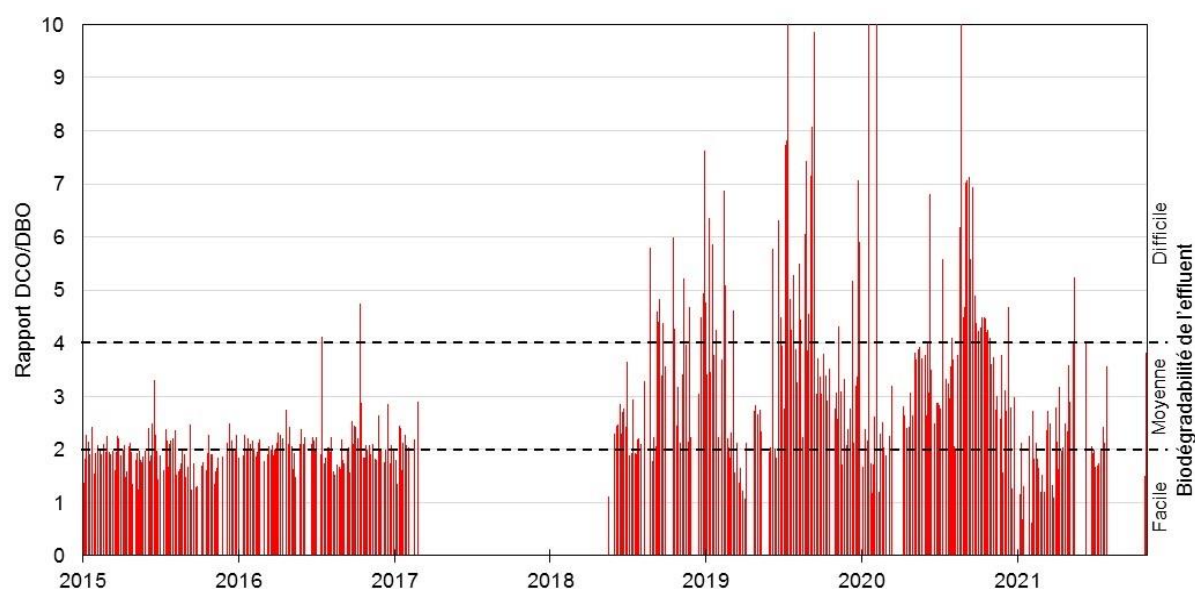


Figure 37. Variation temporelle du ratio DCO/DBO₅ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

1.7. Matières solides en suspension (MES)

La valeur la plus élevée des MES des eaux usées brutes est enregistrée en juin 2020 alors que la plus faible est enregistrée pendant le mois d'août en 2019. Pour les eaux traitées, la valeur la plus élevée a été enregistrée durant janvier 2020 et la plus faible valeur des MES est enregistrée le mois d'août en 2020 (Fig. 38). Les valeurs enregistrées des eaux brutes se situent entre 80–1960mg/L avec une moyenne 409.2 ± 197.4 mg/L. Pour les eaux traitées, le taux de MES varie entre 0–50 mg/L avec une moyenne de 13.0 ± 5 mg/L (Tableau 7).

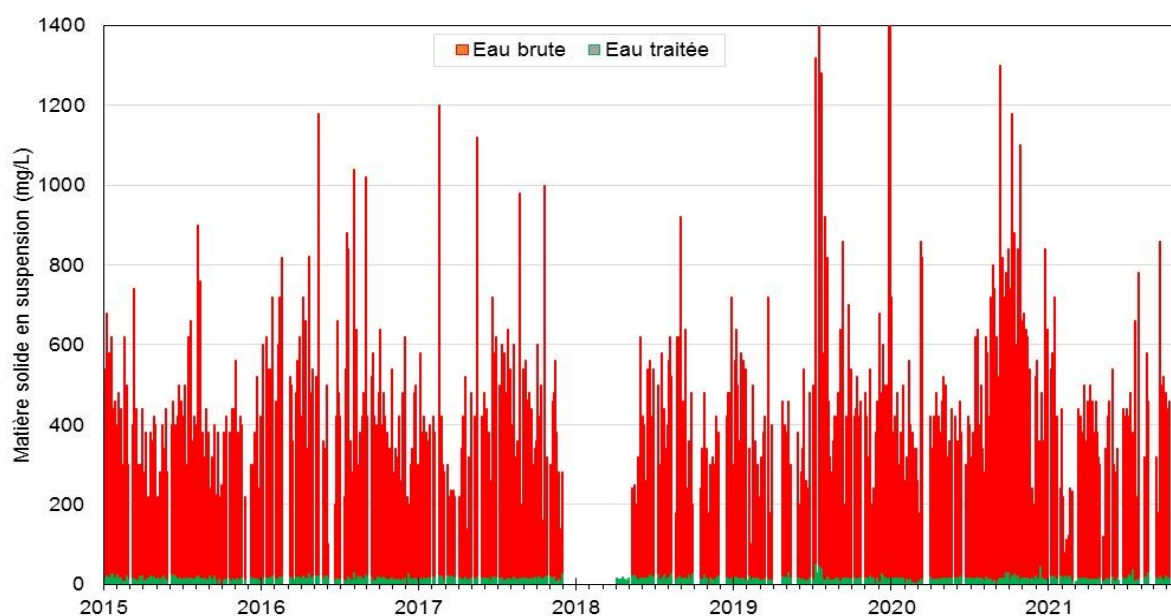


Figure 38. Dynamique journalière des MES des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

1.8. Matières volatiles en suspension (MVS)

Mesurées exclusivement dans les eaux brutes, les MVS présentaient des valeurs s'étendant entre 20–1200 mg/L avec une moyenne de 266.5 ± 124.7 mg/L (Tableau 7). La valeur la plus basse des MVS (20 mg/L) a été enregistrée en avril 2019 et la plus élevée (1200 mg/L) a été enregistrée en juin 2020 (Fig. 39).

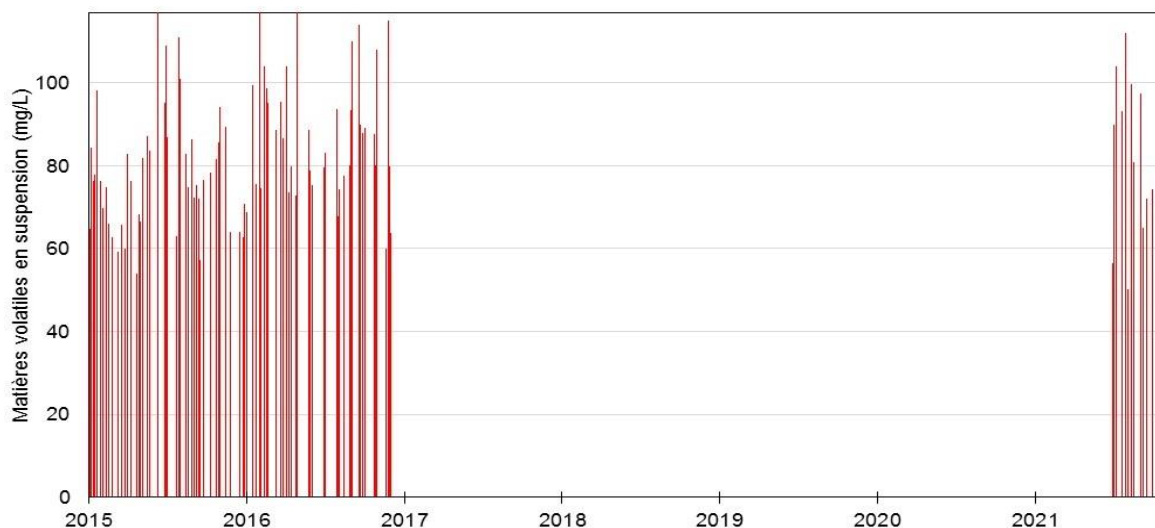


Figure 39. Variation temporelle des MVS des eaux usées brutes au niveau de la STEP d'Ain Beida pour la période 2015–2022

1.9. Ammonium (NH₄)

La valeur la plus élevée des eaux brutes a été enregistrée le mois de juin de 2020 et la plus basse en juillet et août 2015. Pour les eaux traitées, les valeurs minimale et maximale ont été enregistrées respectivement pendant mai 2018 et juillet 2015 (Fig. 40). Les teneurs d'ammonium des eaux brutes variaient entre 0 et 89.4 mg/L avec une moyenne de 37.7 ± 13.6 mg/L ; dans les eaux traitées, les valeurs de NH₄ (0–12.4 mg/L) avaient une moyenne de 0.6 ± 1.6 mg/L (Tableau 7).

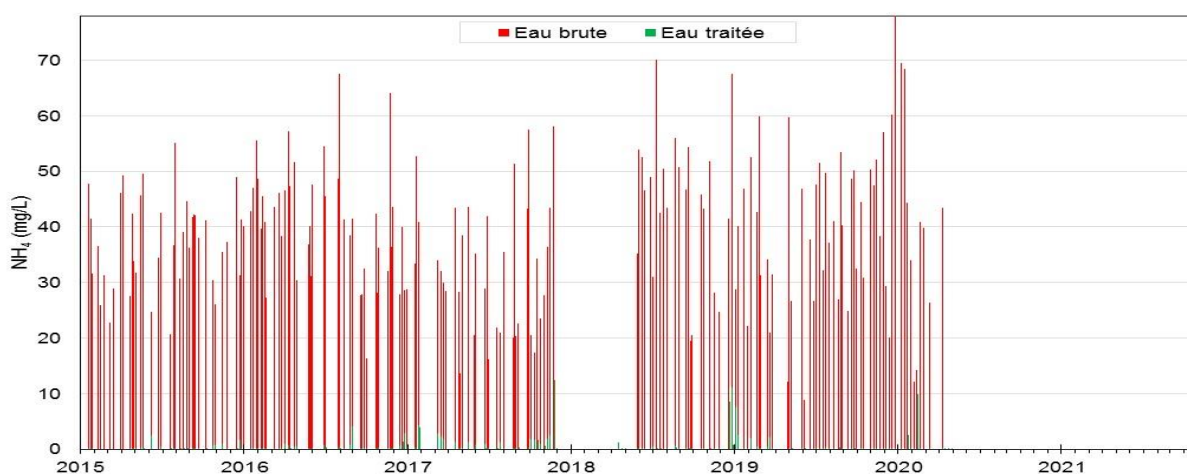


Figure 40. Variation temporelle des NH₄ des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

1.10. Nitrates (NO_3^-)

Le suivi de la variation des nitrates dans les eaux usées de la ville d'Ain Beida (Tableau 7, Fig. 41) montre que leurs teneurs varient entre 0.1–14.6 mg/L, avec une moyenne de 3.1 ± 2.8 mg/L pour les eaux brutes. Concernant les teneurs en NO_3^- des eaux traitées, leur étendue est comprise entre 0.4–38.5 mg/L avec une moyenne de 22.0 ± 8.6 mg/L (Tableau 7). Les teneurs de nitrates des eaux brutes les plus élevées ont été enregistrées en décembre 2015, et les plus faibles en juillet 2016. Les teneurs maximales et minimales des eaux traitées ont été enregistrées respectivement pendant janvier 2020 et janvier 2022 (Fig. 41).

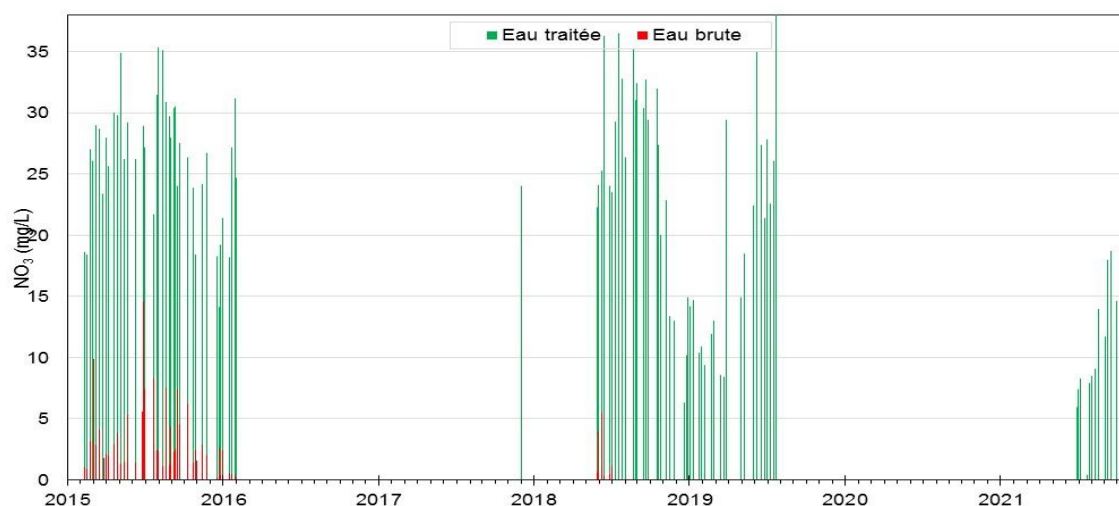


Figure 41. Variation temporelle des teneurs des nitrates dans les eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pendant la période 2015–2022

1.11. Nitrite (NO_2)

La teneur de nitrite dans les eaux usées brutes est en moyen de 1.1 ± 1.1 mg/L avec une étendue de 0.03–6.66 mg/L. La teneur en nitrates dans les eaux traitées est comprise entre 0–6.2 mg/L avec une moyenne de 0.2 ± 0.7 mg/L (Tableau 7). La valeur la plus basse des eaux brutes était enregistrée le mois de juillet 2016 avec des teneurs de 0.037 mg/L et la valeur la plus élevée est remarquée en novembre 2018 (Fig. 42). Pour les eaux traitées, la teneur maximale et minimale ont été enregistrée pendant septembre 2021 et mars 2016 respectivement.

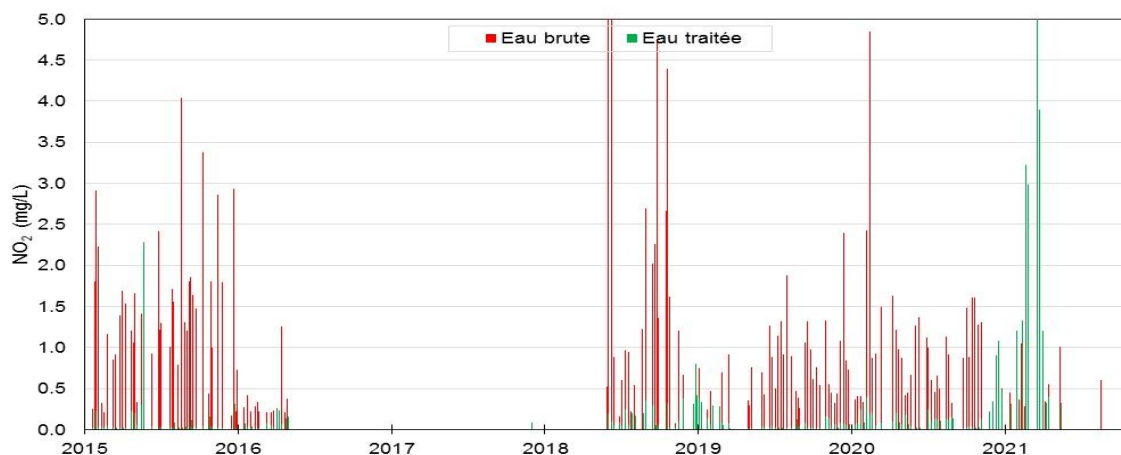


Figure 42. Variation temporelle des teneurs des nitrites dans les eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida pendant la période 2015–2022

1.12. Azote total Kjeldhal (NTK)

Les résultats de la Figure 43 et le Tableau (7) révèlent que la concentration la plus élevée de NTK des eaux brutes et traitées a été enregistrée pendant juillet 2016 et avril 2016, respectivement, avec 121.4 et 27.9 mg/L. La concentration NTK la plus basse des eaux brutes et de sortie ont été enregistrées le même jour durant le mois de mars en 2016 avec une valeur de 0.072 mg/L. Les concentrations de NTK des eaux brutes varient entre 48.2–121.4 mg/L avec une moyenne de 74.0 ± 17.0 mg/L ; et dans les eaux traitées, les concentrations varient entre 0.07–28.0 avec une moyenne de 6.4 ± 5.9 mg/L (Tableau 7).

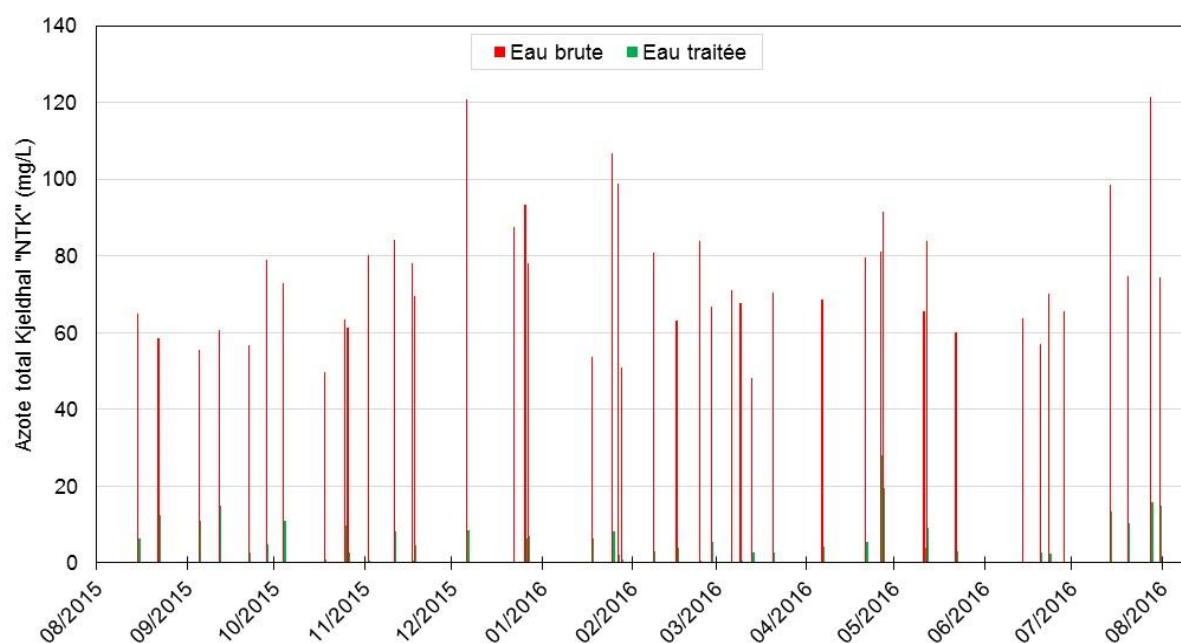


Figure 43. Variation temporelle de NTK des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

1.13. Azote total (Nt)

Les valeurs de l'azote total des eaux brutes oscillent autour d'une moyenne de l'ordre 82.0 ± 16.6 mg/L avec des extrêmes valeurs minimale et maximale variant entre 47.0–135.0 mg/L. L'azote total des eaux traitées oscille autour d'une moyenne de l'ordre de 34.1 ± 9.0 mg/L avec des valeurs extrêmes comprises entre 14.5–68.7 mg/L (Tableau 7). La teneur de Nt des eaux traitées la plus élevée a été enregistrée durant le mois d'octobre 2021, et la plus faible durant le mois de novembre 2017. Les valeurs de Nt des eaux brutes les plus élevées ont été observées durant le mois de mars 2022 (Fig. 44).

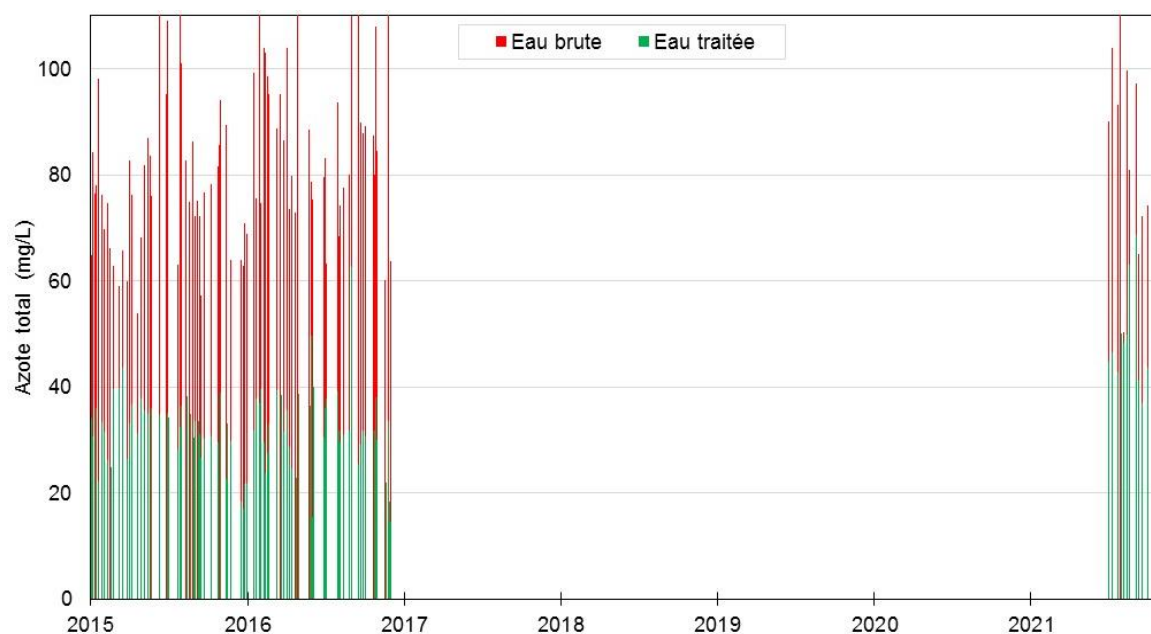


Figure 44. Évolution temporelle des teneurs de l’azote total des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d’Ain Beida durant la période 2015–2022

1.14. Orthophosphate (PO₄-P)

D’après la figure (45), les teneurs les plus hautes d’orthophosphate dans les eaux brutes ont été observées en avril 2021, et la plus basse en novembre 2021. La valeur maximale d’orthophosphate des eaux traitées est mesurée pendant août 2019 et la plus basse (0.17 mg/L) durant juin 2017 (Fig. 45). La valeur moyenne d’orthophosphate des eaux brutes est 8.4 ± 3.2 mg/L avec une étendue de 1.3–28.7 mg/L. La moyenne dans les eaux traitées était de 3.9 ± 2.0 mg/L avec une plage de variation comprise entre 0.1–11.4 mg/L (Tableau 7).

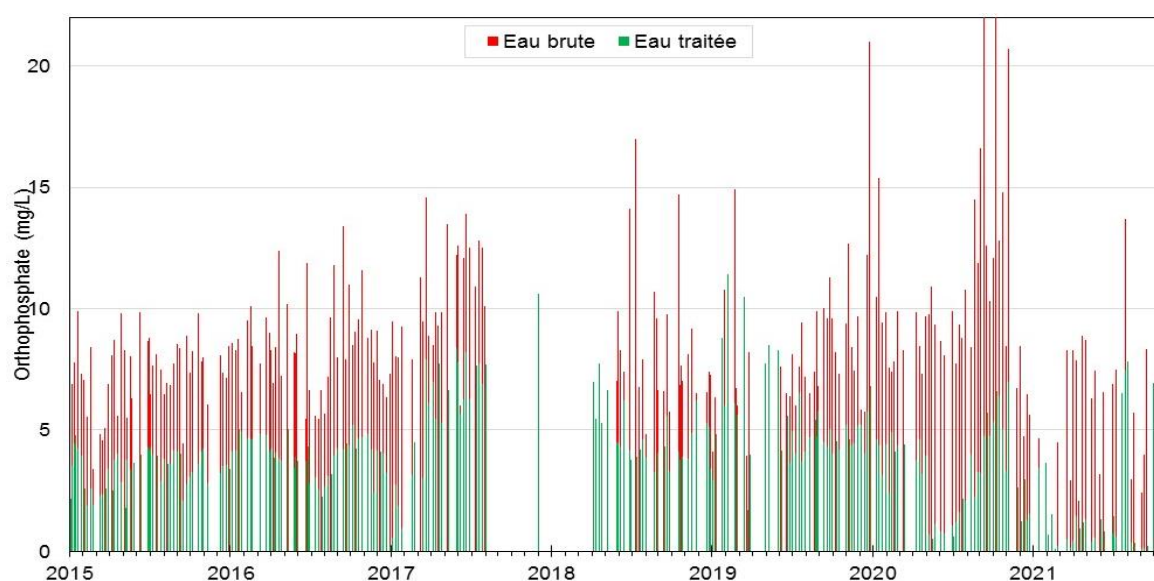


Figure 45. Variation temporelle des teneurs d’orthophosphates des eaux usées brutes et traitées au niveau de la STEP d’Ain Beida durant la période 2015–2022

2. Interrelations entre les paramètres physicochimiques

Le coefficient de corrélation de Pearson entre les paramètres physico-chimiques des effluents traités et non-traités a été calculé et ses valeurs sont présentées sous forme de matrices de corrélation. Les figures 46 et 47 illustrent les corrélations entre les différents paramètres physico-chimiques de l'effluent brut et de l'effluent traité, respectivement. Les corrélations significatives à un seuil de significativité $\alpha=5\%$ ont été décrites avec plus de détails ci-dessous.

2.1. Eaux usées brutes

Les tests de corrélation de Pearson établis entre les paramètres physicochimiques des eaux brutes permettent de distinguer que sur un total de 78 tests de corrélation, 39 ont été significatifs ($P<0.05$) (Fig. 46). Les corrélations significativement positives les plus fortes ($P<0.001$) sont obtenues entre les paires suivants : NTK—Nt ($r = 0.95$), MES—MVS ($r = 0.88$) et PO_4 —DCO ($r = 0.63$).

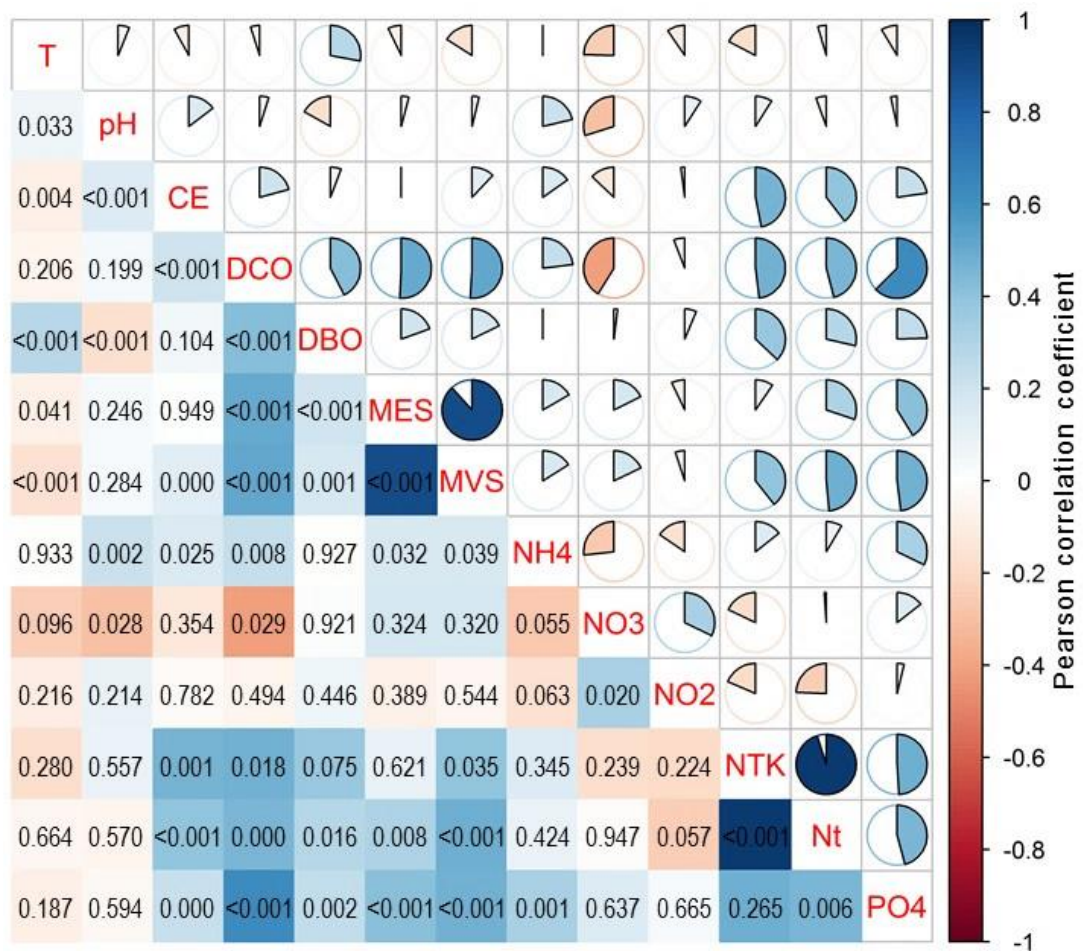


Figure 46. Matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques des eaux usées brutes de la station d'épuration d'Ain Beida (Oum El Bouaghi). Les valeurs en bas de la diagonale indiquent les probabilités du test de corrélation. Les coefficients de Pearson sont représentés dans les secteurs et proportionnellement à l'intensité de la couleur

Les corrélations positives moyennement fortes et significatives concernent les paires : MES—DCO avec ($r= 0.51, p <0.001$), MVS—DCO ($r = 0.5, p <0.001$), NT—MVS ($r=0.49, p <0.001$), PO₄—NTK ($r =0.49, p <0.001$), DCO—NTK ($r=0.48, p =0.018$), PO₄—MVS ($r = 0.48, p <0.001$), NTK—CE ($r = 0.47, p = 0.001$), PO₄—NT ($r = 0.46, p=0.006$), PO₄—MES ($r=0.41, p <0.001$), PO₄—NH₄ ($r=0.32, p =0.001$), PO₄—DBO₅ ($r =0.24, p =0.002$), et PO₄—CE ($r =0.23, p =0.00$). Les corrélations négatives fortes sont observées entre les paires : DCO—NO₃ ($r = -0.41, p =0.029$) et pH—NO₃ ($r= -0.39, P=0.028$) (Fig. 46).

2.2. Eaux traitées

Les corrélations significatives représentent 31 sur la totalité de 66 corrélations testées (Fig. 47). Les fortes corrélations significativement positives ($p <0.001$) sont observées entre NTK—NT ($r = 0.57$) et NT—DBO₅ ($r = 0.51$). Les fortes corrélations négatives sont observées entre NT—T ($r = -0.54$) et NT—NO₃ ($r = -0.41$).

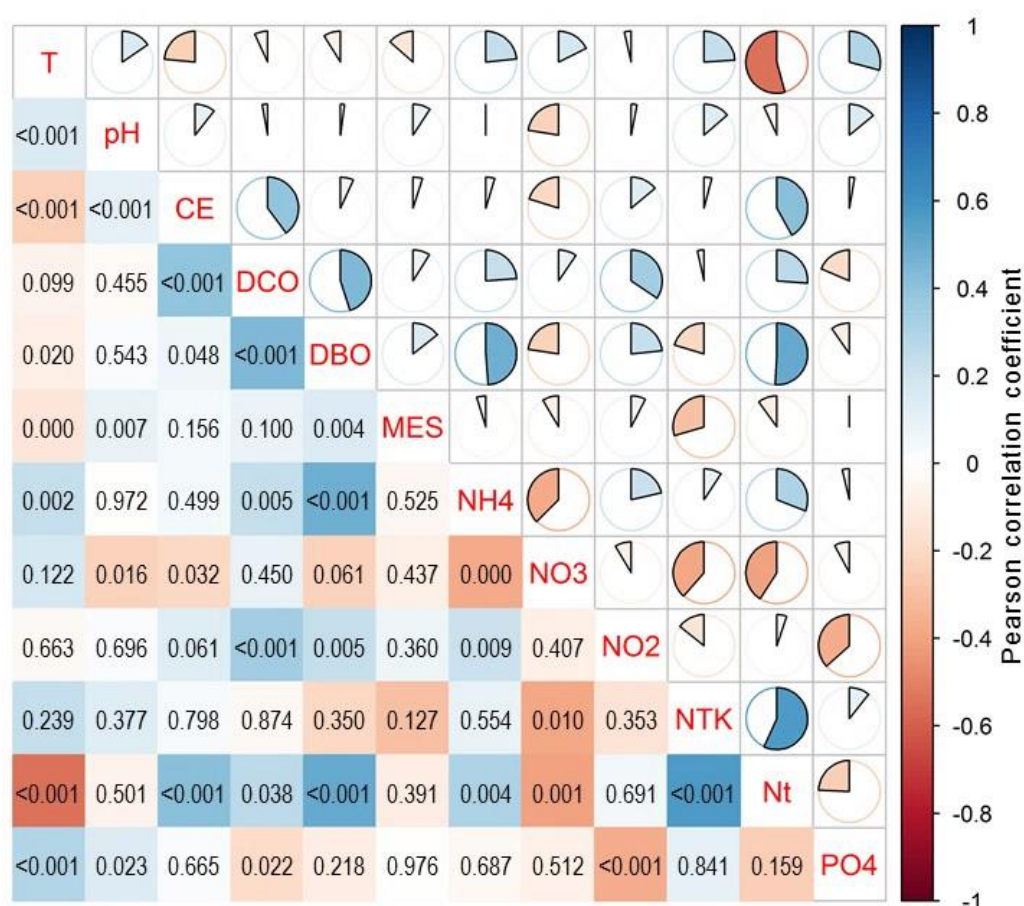


Figure 47. Matrice de corrélation entre les paramètres physicochimiques des eaux usées traitées par la station d’épuration d’Ain Beida (Oum El Bouaghi). Les valeurs en bas de la diagonale indiquent les probabilités du test de corrélation. Les coefficients de Pearson sont représentés dans les secteurs et proportionnellement à l’intensité de la couleur

3. Évaluation des rendements épuratoires

3.1. Rendement de la DCO

Le tableau (8) montre les variations de la DCO qui s'étend entre 25.83–100% avec une moyenne 86.44 ± 6.38 . Le rendement épuratoire de la DCO le plus faible a été enregistré en 2018 avec $89.3 \pm 8.7\%$ et en 2021 avec $89.9 \pm 10.3\%$. La valeur la plus élevée a été enregistrée en 2016 avec $95.2 \pm 1.5\%$ puis en 2015 avec $94.4 \pm 2.5\%$ (Fig. 48). Selon les mois, le pourcentage du rendement épuratoire de la DCO le plus faible ($90.6 \pm 7.3\%$) est enregistré pendant le mois d'août et la plus haut est noté durant le mois d'avril ($94.9 \pm 2.5\%$). Selon l'ANOVA, les variations des valeurs de ce rendement épuratoire entre les années ($F_{(7;646)} = 25.38$), les mois ($F_{(11;646)} = 7.16$) les interactions "années \times mois" ($F_{(47;646)} = 9.62$) sont statistiquement significatives ($p < 0.001$) (Tableau 9).

Tableau 8. Statistiques descriptives des rendements épuratoires et du ratio DCO/DBO₅ de la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

Variables	n	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Rendement de DCO (%)	2161	25.83	100	86.44	6.38
Rendement de DBO ₅ (%)	1550	42.66	100	92.94	5.98
Rendement des MES (%)	2169	4.17	100	88.98	10.59
Ratio DCO/DBO ₅	1067	78.01	100	95.54	2.03

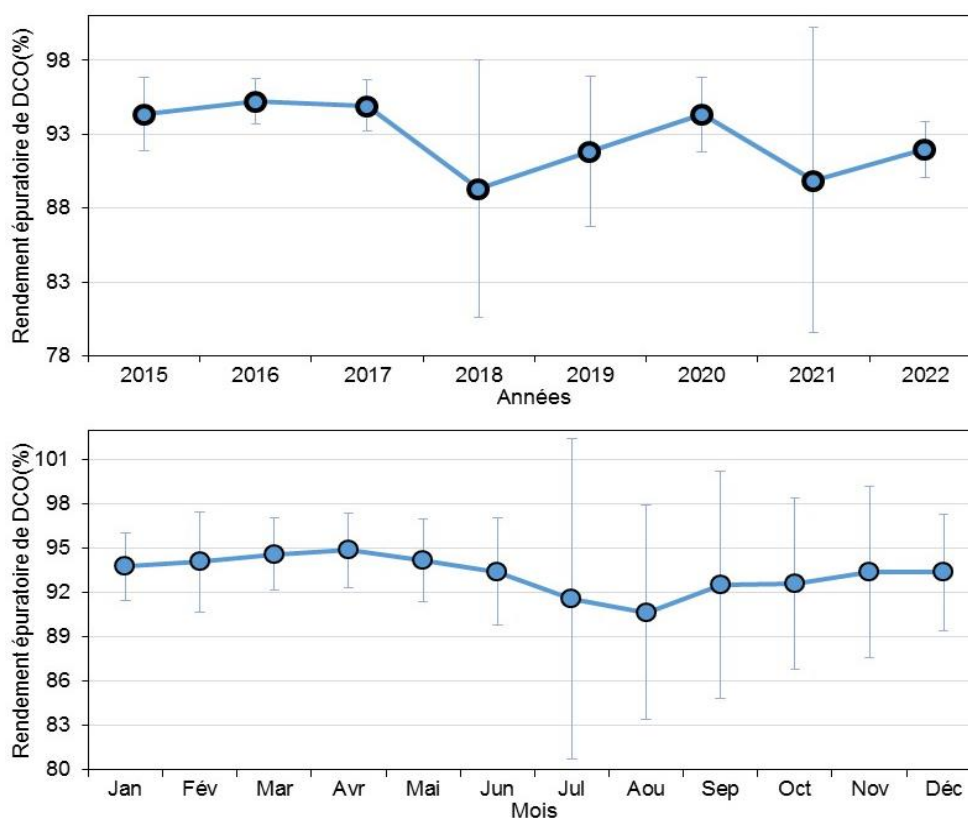


Figure 48. Évaluation des performances épuratoires de la DCO dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

Tableau 9. ANOVA à deux critères de classification testant la variation annuelle et mensuelle du rendement épuratoire de la DCO dans la STEP d'Ain Beida

Source de variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Prob.
Années	7	2992.85	427.55	25.38	< 0.001
Mois	11	1327.17	120.65	7.16	< 0.001
Années*Mois	47	7616.58	162.05	9.62	< 0.001
Modèle	65	11936.61	183.64	10.90	< 0.001
Erreur	646	10883.44	16.85		
Total	711	22820.05			

3.2. Rendement de la DBO₅

La moyenne du rendement épuratoire de la DBO₅ est $92.94 \pm 5.98\%$ avec une étendue de 42.66–100% (Tableau 8). Le maximum du rendement épuratoire de la DBO₅ ($99.4 \pm 0.6\%$) est observé en 2020, et le minimum est noté en 2022 (Fig. 49). Selon les mois, les valeurs les plus faibles sont observées pendant les mois de janvier ($97.6 \pm 4\%$) et mai ($97.6 \pm 4.5\%$). Les mois où la valeur maximale est observée sont avril ($99.1 \pm 0.6\%$), août ($99 \pm 1.5\%$) et décembre ($99.1 \pm 0.7\%$). L'ANOVA a révélé des variations hautement significatives ($p < 0.001$) des valeurs de ce rendement entre les années ($F_{(7;760)} = 22.27$), les mois ($F_{(11;760)} = 6.13$), les interactions "années × mois" ($F_{(58;760)} = 7.91$) (Tableau 10).

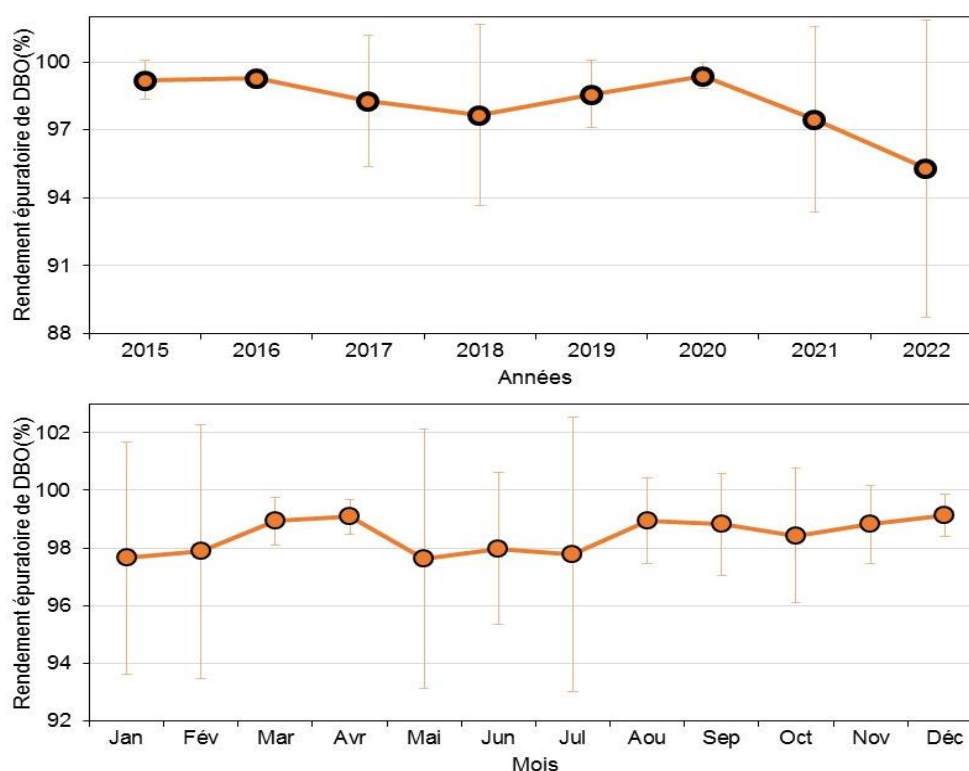


Figure 49. Évaluation des performances épuratoires de la DBO₅ dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

Tableau 10. Two-way ANOVA testant la variation annuelle et mensuelle du rendement épuratoire de la DBO₅ dans la STEP d'Ain Beida

Source de variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Prob.
Années	7	769.17	109.88	22.27	< 0.001
Mois	11	332.86	30.26	6.13	< 0.001
Années*Mois	58	2264.67	39.05	7.91	< 0.001
Modèle	76	3366.70	44.30	8.98	< 0.001
Erreur	760	3749.27	4.93		
Total	836	7115.98			

3.3. Rendement des MES

Les valeurs du rendement épuratoire des MES oscillent entre 4.17–100% avec la moyenne de 88.98 ± 10.59 (Tableau 8). Le minimum du rendement épuratoire des MES ($95.1 \pm 3.4\%$) est observé en 2022 et la valeur maximale est notée en 2016 et 2020 avec 96.8 ± 1.3 et $96.8 \pm 1.8\%$, respectivement (Fig. 50). Selon les mois, le pourcentage le plus bas de ce rendement ($95.7 \pm 2.1\%$) a été enregistré durant le mois de novembre et le plus haut ($96.8 \pm 1.3\%$) a été observé pendant le mois de juillet. L'ANOVA montre que la variation du rendement épuratoire des MES est significative que ce soit entre les années ($F_{(7;805)} = 4.88$, $P < 0.001$), entre les mois ($F_{(11;805)} = 2.63$, $p = 0.003$), ou pour leur interactions 'années \times mois' ($F_{(58;805)} = 3.25$, $p < 0.001$) (Tableau 11).

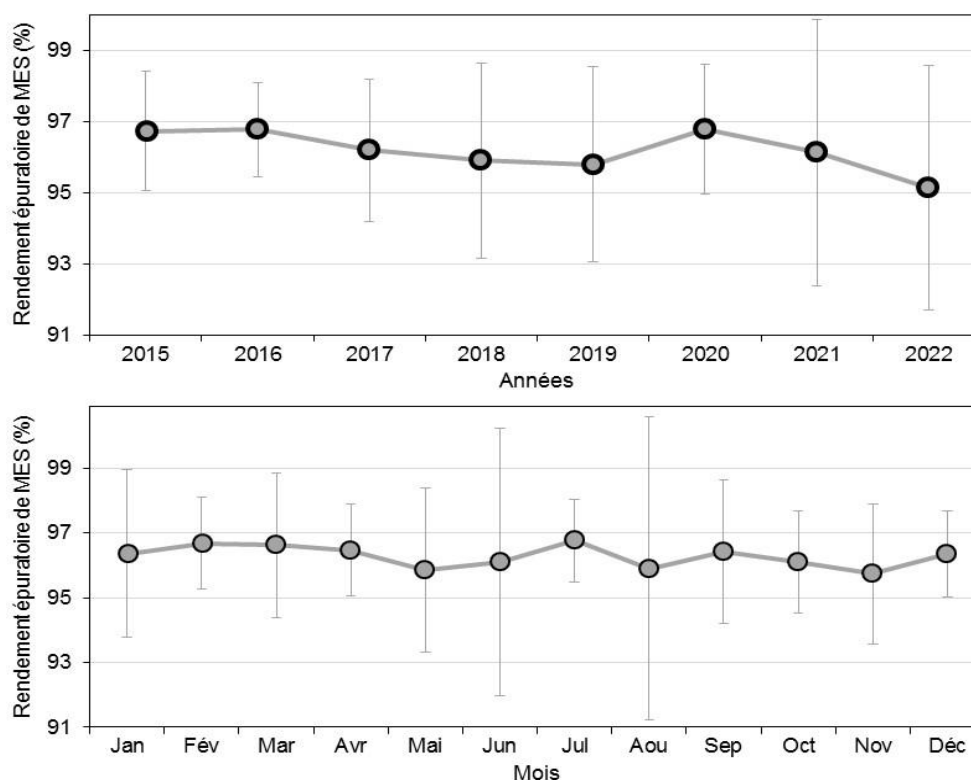
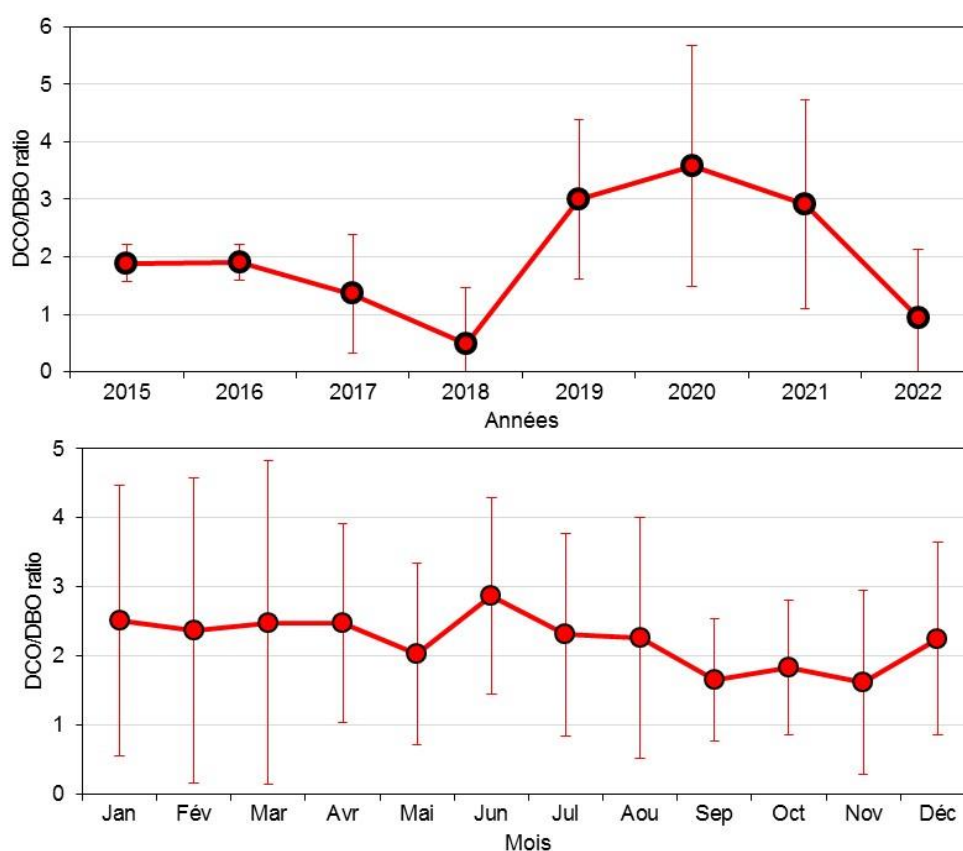
**Figure 50.** Évaluation des performances épuratoires des MES dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

Tableau 11. Two-way ANOVA testant la variation annuelle et mensuelle du rendement épuratoire des MES dans la STEP d'Ain Beida

Source de variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Prob.
Années	7	178.36	25.48	4.88	< 0.001
Mois	11	151.20	13.75	2.63	0.003
Années*Mois	58	986.53	17.01	3.25	< 0.001
Modèle	76	1316.09	17.32	3.31	< 0.001
Erreur	805	4206.89	5.23		
Total	881	5522.98			

4. Biodégradabilité de l'effluent (rapport DCO/DBO₅)

La moyenne de la réduction du ratio DCO/DBO₅ dans le eaux de sortie par rapport à l'entrée est d'ordre $95.54 \pm 2.03\%$ et s'étend entre 78–100 (Tableau 8). La figure (51) illustre la variation des moyennes annuelles du ratio DCO/DBO₅ ; dont la valeur la plus basse est remarquée en (0.5±1) et la plus élevée est constatée en 2020 (3.6±2.1). Quant à la variation mensuelle, la valeur maximale est observée en juin (2.9±1.4), et la valeur minimale est observée pendant le mois de novembre avec 1.6±1.3.

**Figure 51.** Variation annuelle et mensuelle du ratio DCO/DBO₅ dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015–2022

Selon l'ANOVA du tableau (12), les variations temporelles du rendement épuratoire du rapport DCO/DBO₅ entre les années, les mois et leur interaction sont hautement significatives ($p < 0.001$).

Tableau 12. ANOVA à deux critères de classification testant la variation de la biodégradabilité (ratio DCO/DBO₅) entre les années et les mois

Source de variation	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Prob.
Années	7	780.39	111.48	100.95	< 0.001
Mois	11	166.28	15.12	13.69	< 0.001
Années*Mois	58	525.24	9.06	8.20	< 0.001
Modèle	76	1471.91	19.37	17.54	< 0.001
Erreur	762	841.54	1.10		
Total	838	2313.45			

6. Classification des eaux de sortie de la STEP d'Ain Beida

La figure 52 montre les classes principaux d'indice de qualité des eaux de sortie. On remarque que la majorité d'IQE de la STEP sont excellente avec une pourcentage 96.04% ou 1381 échantillons de classe excellent sur le totale des échantillons 1438 et 2.92% 42/1438 classer bonne et 0.14% 2 échantillon sur 1438 mauvaise et seulement 0.90% 13/1438 très mauvaise (Fig. 52).

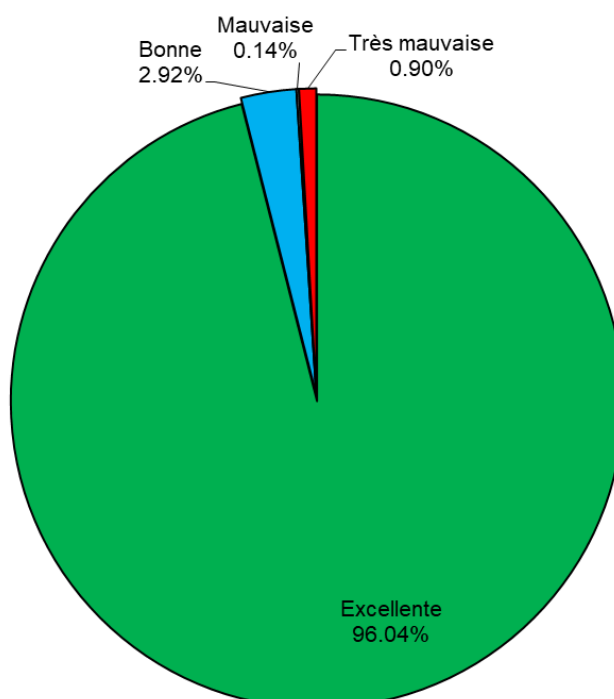


Figure. 52 les classes des indices de qualité des eaux de sortie de la STEP d'Ain Beida pendant la période (2015-2022)

Les nombre d'échantillons d'indice de qualité de classe mauvaise est constater l'année 2021 avec 9 échantillons dans la même année le nombre d'échantillon excellente classe a était remarquée pour 218 échantillons. L'année 2017 c'est l'année ou on a observé les nombres d'échantillon le plus élevée de classe excellente (Fig. 53).

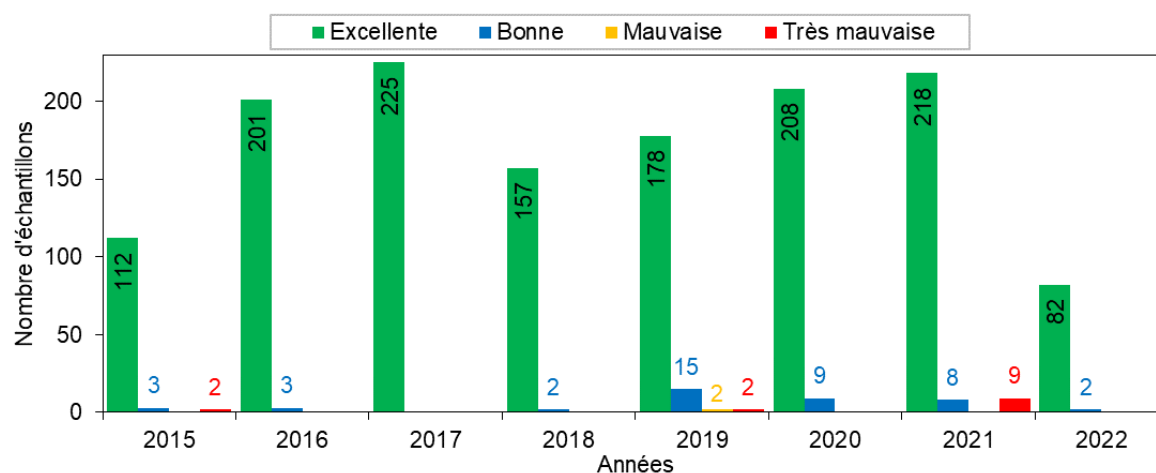


Figure. 53 L'évaluation des classification d'indice de qualité de l'eau durant la période (2015-2022)

7. Effets des paramètres climatiques sur l'indice de qualité de l'eau

Les graphiques de la figure (54) illustrent les relations entre les valeurs de l'IQE de la STEP d'Ain Beida en fonction des événements météorologiques extrêmes représentés par les températures minimales, les températures maximales, les précipitations, les jours de pluie et les jours de neige. Les nuages des points de tous les graphes montrent une dispersion élevée révélant une faible tendance linéaire des relations liant les événements météorologiques étudiés avec l'IQE.

Le nombre des jours où les températures minimales dépassaient les 90% était de 232 et les échantillons analysés durant cette période étaient de 155 échantillons avec une moyenne d'IQE de 5.21 ± 7.58 . Ces températures minimales montraient un effet positif sur la variabilité de l'IQE mais statistiquement non significatif ($P=0.837$). L'équation du modèle s'écrit : $IQE = 5.31 + 0.096 \times Tm (>90\%)$. Les jours où les températures minimales dépassent 95% étaient de 119 mais seulement 88 qui ont été analysés avec une moyenne d'IQE de 5.22 ± 6.87 . Ces températures minimales avaient un effet négatif sur l'IQE mais qui reste non significatif ($P=0.828$). L'équation du modèle s'écrit : $IQE = 4.89 - 0.16 \times Tm (>95\%)$.

Pour les températures maximales supérieures à 90%, on a pris en considération seulement 129/240 où l'IQE a noté une moyenne de 8.48 ± 21.62 . Ces $TM (>90\%)$ avaient un effet positif sur la variation de l'IQE mais qui n'était pas significatif ($P=0.085$). L'équation du modèle s'écrit : $IQE = -69.76 + 2.07 \times TM (>90\%)$. Concernant les valeurs des TM dépassant 95%, elles présentaient 117 à

partir desquelles 59 jours ont été pris pour des analyses physicochimiques de l'eau donc de l'IQE qui a présenté une moyenne de 10.02 ± 25.83 . Ces $TM_{(>95\%)}$ avaient un effet positif sur l'IQE mais un effet non significatif ($P=0.095$). L'équation du modèle s'écrit : $IQE = -227,35 + 6,05 \times TM_{(>95\%)}$.

Les valeurs extrêmes des précipitations dépassent 90% étaient de 267, mais seulement 148 des valeurs ont été associées avec l'IQE. La moyenne de ce dernier était de 11.45 ± 44.16 . L'effet des $PP_{(>90\%)}$ sur la variation de l'IQE était négatif mais non significatif ($P=0.522$). L'équation du modèle s'écrit : $IQE = 13.59 - 0.29 \times PP_{(>90\%)}$. Les précipitations extrêmes supérieures à 95% des mesures comprenaient 142 valeurs détectées durant la période (2015-2022) mais seulement 76 jours ont été retenus avec des valeurs de l'IQE qui a enregistré une moyenne de 8.20 ± 40.97 . Ces valeurs extrêmes montraient un effet négatif sur l'IQE et non significatif ($P=0.832$) (Fig. 54). L'équation du modèle s'écrit : $IQE = 9.43 - 0.10 \times PP_{(>95\%)}$.

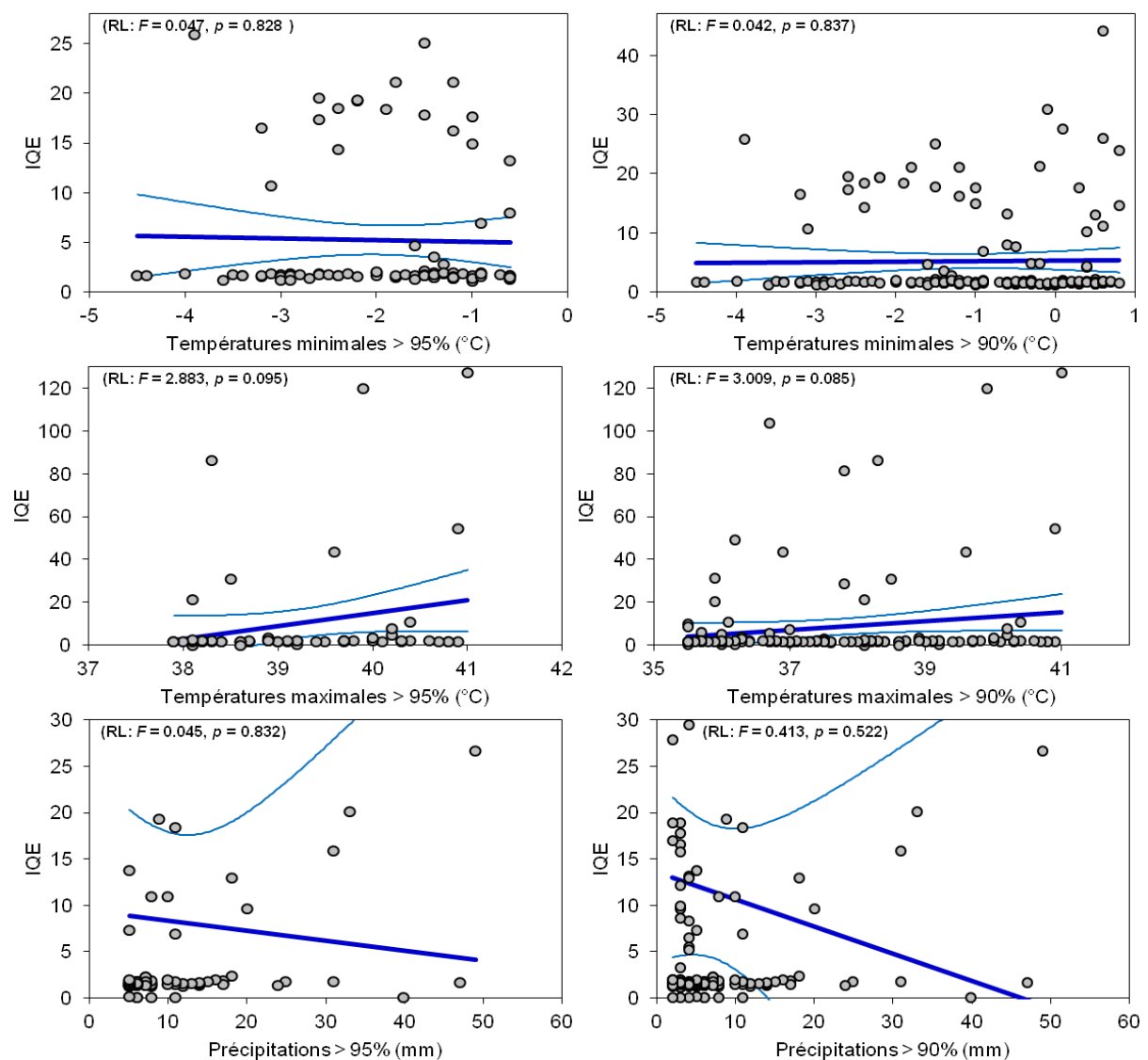


Figure 54. Effets des événements météorologiques extrêmes liés à la température minimale, température maximale et précipitations sur l'indice de la qualité de l'eau traitée dans la STEP d'Ain Beida durant la période 2015-2022.

La figure (55) représente la variation de l'IQE en fonction des classes des paramètres météorologiques. Pour les températures et les précipitations, trois classes ont été retenues : deux pour les événements extrêmes supérieurs à 95% et à 90%, respectivement, et une pour les valeurs inférieures à 90%. Pour les indicateurs de la pluie et de la neige, deux classes ont été étudiées. Les classes des températures minimas inférieures à 90% ainsi que les Tm inférieures à 95% montraient des valeurs de l'IQE inférieures à celle des Tm supérieures à 90%. L'ANOVA montrait que la variation des valeurs de l'IQE entre les trois classes des températures minimales était non significative ($F_{(2;1319)}=0.226, P = 0.798$).

La qualité de l'eau se détériore avec l'augmentation des températures maximales. La valeur de l'IQE était plus élevée dans la classe $TM_{(<90\%)}$. L'ANOVA indiquait que l'effet des températures maximales était non significatif sur la variation de l'IQE ($F_{(2;1319)} = 0.702, P = 0.496$). Toutefois, la variation de l'IQE entre les classes des précipitations était significative ($F_{(2;1338)} = 4.935, P = 0.007$). La qualité de l'eau semblait être un peu meilleure quand il y a des pluies, mais elle se détériorait un peu quand il neige. Les ANOVAs révélèrent que la variation de l'IQE était non significative selon les indicateurs des jours de pluie ($F_{(1;1338)} = 1.376, P = 0.241$) et de neige ($F_{(1;1338)} = 0.042, P = 0.837$) (Tableau 13, Fig. 55).

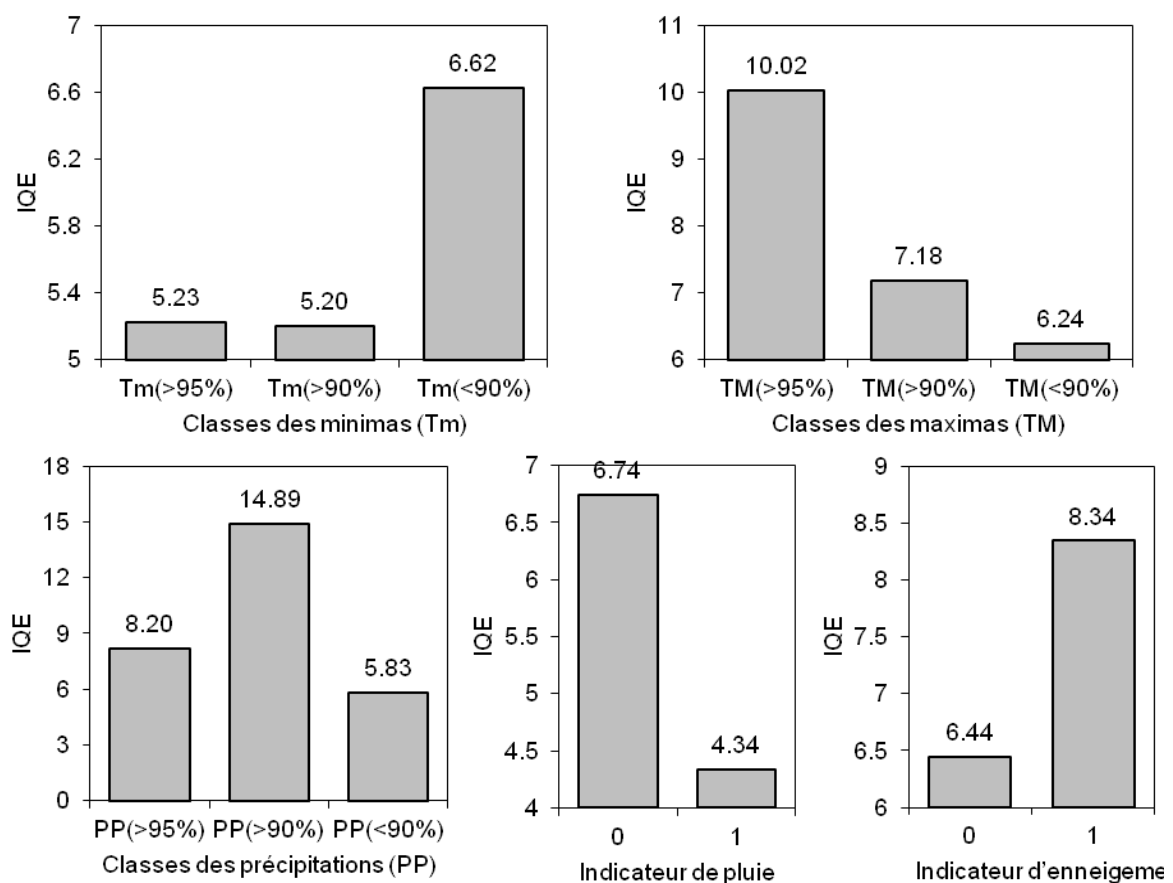


Figure 55. Variation des valeurs moyennes de l'indice de la qualité de l'eau traitée dans la STEP d'Ain Beida selon les classes des paramètres climatiques pour la période 2015-2022.

Tableau 13. ANOVA à un seul critère de classification testant la variation de l'indice de la qualité de l'eau entre les classes des paramètres climatiques

Source de variations	DDL	Somme des carrés	Carré moyen	Fisher	P-value
Températures minimales (n = 1320)					
Entre les classes	2	271.9	136.0	0.226	0.798
Erreur résiduelle	1317	791866.4	601.3		
Total	1319	792138.4			
Températures maximales (n = 1320)					
Entre les classes	2	844.0	422.0	0.702	0.496
Erreur résiduelle	1317	791294.3	600.8		
Total	1319	792138.4			
Précipitations (n = 1339)					
Entre les classes	2	5819.7	2909.9	4.935	0.007
Erreur résiduelle	1336	787765.4	589.6		
Total	1338	793585.1			
Indicateur de jour de pluie (n = 1339)					
Entre les classes	1	815.8	815.8	1.376	0.241
Erreur résiduelle	1337	792769.4	592.9		
Total	1338	793585.1			
Indicateur de jour de neige (n = 1339)					
Entre les classes	1	25.2	25.2	0.042	0.837
Erreur résiduelle	1337	793559.9	593.5		
Total	1338	793585.1			

Chapitre 4

“ ”
Discussion

Chapitre 4 — Discussion

L'analyse des paramètres de pollution (T, pH, CE, MES, MVS, DCO, DBO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , NTK, NT, PO_4) est faite selon les normes en vigueur par OMS, 2001 ; ONA, 2015 ; JORA, 2012. Notre étude a montré que les valeurs trouvées respectent les normes de rejet (eau traitée) de la STEP. Plusieurs études sur les eaux usées urbaines municipales et industrielles ont été réalisées à travers le monde et ont montré une très grande variabilité d'un pays à un autre (Yapo *et al.*, 2009 ; Akoteyon & Soladoye, 2011 ; Devi *et al.*, 2011 ; Bengherbia, 2014 ; Wijaya & Soedjono, 2018 ; Balanica *et al.*, 2020). À cet effet, il est clair, que le fonctionnement de la STEP d'Ain Beida a bien été maîtrisé pendant la période considérée et les eaux recueillies n'ont pas été perturbées par des effluents toxiques qui pourraient perturber le bon fonctionnement du processus biologique d'épuration. Les paramètres physico chimiques ont été étudiée individuellement pour déterminer leur variation au cours du temps.

Tout d'abord, La température est l'une des caractéristiques écologiques les plus importantes (Lokhande *et al.*, 2011). Elle joue un grand rôle dans le métabolisme général et la solubilité des gaz y compris l'oxygène dissous (Qasim & Zhu, 2017). La disponibilité de l'oxygène, quant à elle, dépend de la température puisque la solubilité de l'oxygène dans l'eau augmente avec la diminution de la température (Wittgren & Maehlum, 1997). Une élévation de la température peut perturber drastiquement le fonctionnement écologique du milieu récepteur, c'est ce qu'on entend par la pollution thermique (Dongo *et al.*, 2013). Celle-ci entraîne la mortalité de certaines espèces et favorise la prolifération d'autres (Diagne *et al.*, 2017). La température de l'eau est un indicateur important de la qualité de l'eau qui régule plusieurs processus biologiques dans les cours d'eau. Elle influence particulièrement la période de reproduction, les taux de croissance et les taux de mortalité des organismes aquatique, spécialement les organismes qui ne peuvent pas prospérer que dans leur température favorable (Harvey *et al.*, 2011). Elle favorise également l'autoépuration et augmente les taux de sédimentation, ce qui présente un intérêt dans les stations d'épuration (Djermakoye, 2005). La température moyenne de l'air de la ville d'Ain Beida est d'ordre 17.7 °C elle varie entre 0.2 et 37 °C. La température de l'air est un bon prédicteur des températures des cours d'eau (Mackey & Berrie, 1991 ; Ben charada, 1992) qui suit aussi des variations saisonnières (Bengherbia *et al.*, 2014) ainsi que d'autres paramètres météorologiques (Stefan & Preud'homme, 1993). La température moyenne des eaux brutes des rejets urbains et traités d'Ain Beida est presque similaire avec des valeurs minimales et maximales qui varient entre 5.2 et 27 °C pour les eaux brutes et entre 1.9 et 28°C pour les eaux traitées. Ces valeurs sont inférieures à la norme de 30 °C

préconisée par OMS (2001), JORA (2012) et ONA (2015) (Tableau 7). La température des eaux usées de la ville de Sidi Yahia El Gharb au Maroc qui est située dans un étage bioclimatique subhumide à hiver tempéré est marquée par une température moyenne dépassant le seuil 30 °C avec 47°C en été et 41°C en hiver (Fathallah *et al.*, 2014). Les variations de la température de l'eau en dehors de ce seuil thermique (30 °C) peuvent nuire à la santé globale de l'écosystème aquatique (Harvey *et al.*, 2011).

Les résultats des moyennes du pH (7.9 ± 0.3) révèlent que le pH des effluents d'Ain Beida pour toute la période d'étude est relativement basique. Cette alcalinité légère est attribuée à la présence de carbonates associés principalement au calcium et dans une moindre mesure au magnésium, sodium et potassium (Khan *et al.*, 2012 ; Guemmaz *et al.*, 2019). Le pH alcalin a un effet positif sur l'efficacité du traitement (Boczka & Fernandes, 2017). Les études ont montré que le CO₂ pouvait être utilisé comme un agent acidifiant pour diminuer le pH des eaux usées alcalines (Rao *et al.*, 2007). Le pH minimum des eaux brutes (7.1) a été enregistré en octobre 2020 et le maximum (9.3) au mois de mai 2018. La variation du pH peut être expliquée par les rejets de déchets agricoles et domestiques qui entraînent des changements importants du pH (Addy, 2004). D'après Khan *et al.* (2012), les organismes aquatiques peuvent mourir si le pH s'éloigne de sa plage optimale. Les valeurs moyennes du pH de l'eau d'entrée et de la sortie sont parfaitement en accord avec les normes algériennes des rejets (6.5-8.5). Il est à noter que les valeurs du pH sont très voisines (8 et 7.9) avec une légère diminution pour les eaux de sortie due à la minéralisation de la matière organique (Achak *et al.*, 2011). Les valeurs du pH des eaux usées brutes et traitées par la STEP d'Ain Beida sont presque semblables à celles de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou (Babou & M'zyene 2018), la STEP de la ville de Jijel (Boudenne & Lebsir, 2012) et celles de la STEP de Sidi Bel Abbas (Amar, 2015).

La conductivité électrique est une expression numérique de la capacité d'une solution aqueuse à transporter un courant électrique (Kouassi *et al.*, 2013). Elle mesure les teneurs de la salinité dans l'eau (Gupta & Hanks 1972). Autrement dit, elle permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (El-Fadeli *et al.*, 2015) et renseigne ainsi sur le degré de la minéralisation d'une eau (Adviento-Borbe *et al.*, 2006 ; Salgot *et al.*, 2006). La conductivité électrique des eaux de la STEP Ain Beida décroît considérablement de 1.9 à 1.5 mS/cm du point d'entrée jusqu'à la sortie de la station, respectivement. Ces valeurs obtenues ne dépassent pas la conductivité de l'eau admissible pour les normes OMS (0.4-1.5 mS/cm), et restent nettement inférieures à la norme fixée par JORA (2012) qui est de 3 mS/cm. la valeur maximale obtenue avec une valeur de 2.6 mS/cm c'est peut-être dû à la sédimentation des éléments minéraux.

Les valeurs élevées du DCO dans les eaux brutes est due la surcharge des effluents par la matière organique et minérale (Dubber & Gray, 2010), et les valeurs moyennes de DCO sont toujours supérieures aux valeurs moyennes de DBO₅ car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement, mais ne peuvent pas être oxydées biologiquement (Khan *et al.*, 2011). Les valeurs observées de la DCO des eaux traitées sont compatibles avec les normes à l'échelle nationale et mondiale. Elles sont nettement inférieures à celles obtenues à la ville d'Oujda au Maroc (Rassam & Chaouch, 2012), à Kénitra au Maroc (El Guamri & Belghyti, 2007) et à Valencia en Espagne (Sonnenberg & Holmes, 1998). La valeur maximale de la DCO des eaux traitées a été enregistrée en mi-août 2020 avec une valeur de 145 mg/L ; ceci peut être dû à l'augmentation de la température (26 °C) qui affecte l'oxydation de la matière organique (Wittgren & Maehlum, 1997). Ainsi que cette variation est due probablement à l'effet de la dilution provoquée par les précipitations enregistrées surtout durant la période hivernale, la minéralisation de la matière organique est forte mais les valeurs les plus faibles ont été enregistrées pendant les périodes des crues, à cause du phénomène de dilution des eaux (Hamsatou, 2005).

L'oxydation de la matière organique (DBO₅) est l'un des processus de traitement microbiologique les plus importants directement affectés par la température (Wittgren & Maehlum, 1997). La valeur moyenne de la DBO₅ enregistrée pour les eaux épurées (6.5±1 mg/L) est beaucoup plus faible par rapport aux eaux brutes (312.0±121.4 mg/L). Cette baisse de la concentration est due à la consommation d'oxygène par les micro-organismes pour la dégradation de la matière organique. En comparaison avec les normes de rejets rapportées par le journal officiel de la république algérienne (JORA, 2012) qui fixe un seuil de DBO₅ d'ordre de 30mg/L, la DBO₅ moyenne de la STEP étudiée rester inférieure à celle de la norme, ceci montre l'efficacité du fonctionnement de la STEP d'Ain Beida, et ceux depuis son inauguration jusqu'à ce jour.

D'après le coefficient de biodégradabilité des effluents, les eaux usées des rejets sont généralement biodégradables (DCO/DBO₅< 3), ces valeurs témoignent l'absence des rejets industriels dans le réseau d'assainissement urbain (Lakhlifi *et al.*, 2017 ; Rodrigues *et al.*, 2008). Les valeurs du ratio enregistrées dans la STEP montrent une bonne efficacité pour l'élimination de la pollution organique biodégradable, avec un rendement moyen de 84.68%. Il est à signalé qu'en juin et septembre 2018, la station est restée non fonctionnelle pour raison de panne du décanteur. Durant cette période, les eaux résiduaires étaient directement rejetées dans l'oued.

D'autre part, les normes nationales (JORA, 2012) et internationales (OMS, 2001) fixent comme valeur limite pour les MES une concentration de 30-35 mg/L. Les résultats des MES des eaux de sortie présentés sur le Tableau (7) révèlent une conformité par rapport aux normes des rejets des eaux usées urbaines (inférieur à 35 mg/L), mais parfois des valeurs la dépassent

(par exemple le 05/01/2020 la valeur maximale a atteint le 50 mg/L). Mais par rapport à la STEP d'Ain Beida qui ne fonctionne pas avec le traitement primaire qui élimine la matière en suspension cela explique le bon fonctionnement quant à l'élimination de MES par la STEP. Autrement dit, ces résultats dénotent que le processus de la floculation coagulation manquante dans la STEP d'Ain Beida qui est nécessaire pour l'élimination de la matière en suspension, n'a présenté aucun effet en son absence. En effet, les effluents urbains d'Oran présentaient des MES (moyenne de 47 mg/L) dépassant souvent la norme (Remili, 2013). En revanche, à Mostaganem, les rejets avaient des MES qui s'approchent de la norme avec la valeur 29 mg/L. En comparant les valeurs des MES de la STEP d'Ain Beida avec celles de trois sites de Chechar, Nsigha et El Hamma à Khenchela (Guessoum, 2018), les valeurs des MES dépassent largement les normes. Par ailleurs, les MVS représentent la fraction organique des MES susceptibles d'être volatilisées dans une température déterminée (Wolkoff, 1995). La moyenne des MVS est 266.5 ± 124.7 mg/L. Ce paramètre est mesuré seulement pour les eaux brutes. Les MVS est utile pour déterminer les niveaux relatifs de biomasse dans les boues activées traitant les eaux usées contenant différents solides en suspension inorganiques et pour les boues activées exploitées à un large éventail de charges organiques (Jenkins, 2008).

Par surcroît, la diminution de l'ammonium dans les eaux d'entrée explique l'augmentation des teneurs des nitrates dans les eaux de sortie. À l'entrée de la station d'épuration, la faible teneur en nitrates est due au fait que l'azote est sous une forme organique ammoniacale, fortement présente dans les eaux usées domestiques et progressivement au cours du traitement (Karef *et al.*, 2018) et qu'il est oxydé par nitrification dans le bassin d'aération, ce qui explique la proportionnalité inverse ($r=-0.3$) entre l'ammonium et le nitrate (Nakib *et al.*, 2016). Les résultats de la STEP étudiée reste faible quad elles sont comparées avec l'étude faite sur les eaux usées de Hann à Dakar (Diagne, 2017) qui a révélé une moyenne très élevée (108.33 ± 7.33 mg/L).

Nous constatons que la concentration des eaux brutes en nitrate augmente de manière significative de l'amont en aval (Tableau 7). Ces teneurs moyennes (22 ± 8.6 mg/L) en nitrates qui sont similairement à celles de l'étude de Diab (2018) sont supérieures à la valeur limite fixée par l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau d'irrigation (< 1 mg/L), et elle est proche à la norme algérienne (JORA, 2012 : 30 mg/L). La concentration élevée en nitrate pourrait être attribuée aux effluents domestiques, et des rejets industriels, des rejets provenant des produits d'élevage, à l'utilisation excessive de fertilisants employés en agriculture tels que les engrais azotés (Idrissi, 2006 ; Diab, 2018 ; Loucif *et al.*, 2020). En outre, les valeurs moyennes des nitrites des eaux de sortie (0.2 ± 0.7 mg/L) sont admissibles par rapport à la norme de l'OMS (1 mg/L). Les nitrites sont transformés en nitrates (nitratation) en présence d'oxygène en excès qui explique la

diminution des teneurs des nitrites pour les eaux brutes. La concentration des nitrates est généralement 100 fois supérieure à celle des nitrites. Nos résultats sont largement inférieurs à ceux trouvés par Diab (2016) qui a signalé des teneurs moyennes des nitrites de l'ordre de 21.2 mg/L dans le site Deir Zanoun à Baalbek Liban. Des concentrations élevées en nitrates ou d'autres composés azotés dans les hydro systèmes recevant les eaux usées traitées constituent une pollution majeure et un grand risque pour les êtres vivants aquatiques (Ghafari *et al.*, 2008).

Les conditions climatiques affectent le potentiel de minéralisation de l'azote (N'Dayegamiye *et al.*, 2007). Lors du traitement biologique des eaux usées, l'azote ammoniacal est transformé en nitrite puis en nitrate du fait de l'apport d'oxygène. Cependant, les micro-organismes responsables de la nitrification (Nitrosomonas et Nitrobacter) nécessitent une température constante (jamais en dessous de 12 °C). D'ailleurs, l'azote totale comprend les trois formes d'azote (azote total Kjeldhal plus nitrate et le nitrite). On constate que la teneur moyenne de l'azote total qui était de 34.1 ± 9.0 mg/L dépasse la norme algérienne (JORA, 2012).

La concentration élevée et en excès des orthophosphates mène à l'eutrophisation des cours d'eau et la croissance des microorganismes tels que les algues (Rodier, 1984 ; Potelon & Zysman, 1998). La diminution des PO_4 (déphosphatation) dans les eaux de sortie (8.4 ± 3.2 à 3.9 ± 2) en raison de leur consommation par les bactéries se déroule dans le bassin biologique et dans le bassin de dégazage par des processus physico-chimiques basés sur la précipitation des PO_4^{3-} par l'utilisation des sels ferreux (Youcef & Achour, 2005). La valeur maximale des PO_4 qui a été enregistrée le 08/05/2019 avec 11.4 mg/L est peut-être due à l'augmentation du pH (8.2) (Benzizoune *et al.*, 2004). Une perturbation du processus biologique responsable de la dégradation de phosphore peut-être une des causes de cette augmentation qui s'expliquerait aussi par l'arrivée excessive de phosphates dans la station d'épuration, du moment qu'il n'y pas de traitement tertiaire (Colibaly, 2000). Cette quantité très élevée du phosphore peuvent causer le phénomène de bulking ou foisonnement qui signifie la prolifération des bactéries qui ont un aspect filamenteux en présence des nutriments en excès (phosphore) donc le gonflement des organismes filamenteux gêne la décantation des boues (Turtin *et al.*, 2006 ; Li *et al.*, 2020). En comparant les valeurs moyennes d'orthophosphates des eaux brutes avec celles de la STEP de Guelma (Diane, 2014) qui a montré des valeurs variant entre 0.2-1.5 mg/L, ces teneurs sont plus faibles par rapport aux résultats de la STEP étudiée. Le phosphore est alors pour l'essentiel retenu dans la boue par des réactions d'adsorption et de précipitation. Cette rétention est d'autant plus effective que la boue contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes (Yin, 2011).

La forte corrélation observée entre l'azote total Kjeldahl et azote total des eaux brutes et traitées

($r = 0.95$, $r = 0.57$) respectivement semble logique car l'azote totale rassemble l'ensemble de l'azote Kjeldahl, les nitrates et les nitrites. L'azote apparaît dans les eaux usées municipales sous forme d'ammoniac (NH_4), de nitrates (NO_3) et de nitrites (NO_2), l'azote organique est décomposé en ammoniac et l'azote organique est converti en azote ammoniacal total dans des conditions anaérobiques et en raison de la faible présence d'oxygène ; une quantité de celui-ci est convertie en nitrates (Wijaya & Soedjono, 2018). Ceci explique aussi les corrélations fortes entre l'azote et ses dérivées. D'autre part, la relation entre la DCO et le phosphore est liée à l'état de l'orthophosphate qui se trouve au cours de sa décomposition par les deux voies biologique et chimique qui consomment l'oxygène.

Les rendements épuratoires ont révélé des moyennes de $95.54 \pm 2.03\%$, $92.94 \pm 5.98\%$, $88.98 \pm 10.59\%$, et $86.44 \pm 6.38\%$ pour le ratio DCO/DBO₅, DBO₅, MES et DCO, respectivement. Ces valeurs témoignent la bonne performance épuratoire de la STEP d'Ain Beida pour les composantes organiques et particulaires. Des résultats similaires de la DBO₅ ont été obtenus par Ama-Cauphys & Kouamé (2021) avec une moyenne de rendement 92.96% et ses pourcentages concernant les MES et la DCO ne s'éloigne pas beaucoup de celle obtenue par la STEP d'Ain Beida pendant les 8 ans qui étaient respectivement de l'ordre de 77.16% et 89.75%.

Finalement, Cette étude a révélé que les fortes averses affectent inversement les valeurs de l'IQE. Quand les précipitations augmentent l'indice de qualité diminue ce qui signifie la bonne qualité des eaux lors des fortes précipitations. Ceci peut être expliqué par la dilution des eaux usées (Lucas, 2018).

D'autre part, un des intérêts des réseaux unitaires est de collecter les eaux pluviales avec les autres sources, donc la quantité d'eau acheminée à travers les réseaux d'assainissement sera importante par rapport aux polluants. Il est possible d'envisager qu'une diminution ou augmentation des températures hors l'intervalle optimal conduit à une élévation de l'IQE. Toutefois, ce paramètre climatique n'avait pas une influence significative sur l'efficacité de traitement de la station d'Ain Beida de façon générale pendant la période étudiée.

L'indice de qualité associé avec les événements météorologiques dépassant 90% des précipitations (Fig. 55) était plus élevé par rapport aux valeurs de l'indice observées lors des extrêmes des précipitations qui dépassent 95%. Ceci est dû aux interférences de quelques échantillons ou certains paramètres physicochimiques analysés avaient des valeurs les classant dans classe mauvaise ; ce qui a induit une hausse aberrante de la valeur de l'IQE. Dans notre analyse, l'influence des jours de neige sur l'IQE n'était pas significative. La neige pourrait avoir des influences sur l'activité microbienne dans l'eau en réduisant la température d'une part et en contribuant à la dilution de celle-ci une fois la neige est fondue d'autre part (Harvey *et al.*, 2011).

Conclusion

Conclusion

Afin d'évaluer la qualité de l'eau de la STEP d'Ain Beida, les paramètres physicochimiques ont été étudiés et analysés durant la période du juillet 2015 jusqu'à mai 2022. La variation temporelle de divers paramètres physicochimiques (température, pH, conductivité électrique, DCO, DBO₅, MES, MVS, composés azotés, phosphates), a été explorée. Les résultats révèlent que la majorité de ces paramètres des eaux traitées sont compatibles avec les normes nationales et internationales à l'exception de quelques événements pour la NT, NH₄ et PO₄. Au terme de la présente étude, et selon les résultats des analyses effectuées dans le laboratoire de la STEP durant la période étalée sur huit ans (2015-2022), une large grande différence est remarquée entre les valeurs des eaux traitées par rapport à celles des eaux brutes. Ce qui explique le bon fonctionnement et l'efficacité du traitement des eaux usées par la STEP d'Ain Beida. Les tests de corrélations ont permis de distinguer des paires de corrélations significatives positives et négatives entre les paramètres physicochimiques des eaux brutes ainsi que des eaux traitées.

Par ailleurs, les résultats des rendements épuratoires ont mis en évidence l'efficacité des eaux traitées par la STEP pendant la durée étudiée. Les rendements moyens du ratio DCO/DBO₅, DBO, MES et DCO étaient respectivement $95.54 \pm 2.03\%$, $92.94 \pm 5.98\%$, $88.98 \pm 10.59\%$, et $86.44 \pm 6.38\%$). Par conséquent, les performances épuratoires de la STEP étudiée sont globalement bonnes et très satisfaisantes. D'autre part, la partie consacrée à la classification des échantillons selon l'indice de qualité de l'eau a révélé que la quasi-totalité (96%) des échantillons des eaux traitées appartient à la classe de qualité excellente et 2.9% des échantillons ont une qualité bonne.

Finalement, les régressions linéaires établies afin de tester les effets des événements météorologiques extrêmes étudiées sur la variation de l'IQE ont montré que la qualité de l'eau traitée n'est pas influencée quels que soit le temps quant aux températures minimales, températures maximales, précipitations, jours de pluie et jours d'enneigement. En outre, l'analyse de la variance montre un effet significatif seulement pour les fortes averses par rapport aux jours sans pluies. Par contre, les ANOVAs ont révélé des effets non significatifs pour les autres événements extrêmes étudiées. Les résultats obtenus indiquent clairement que l'efficacité du traitement des eaux usées de la STEP d'Ain Beida est généralement bonne même dans les conditions météorologiques extrêmes. L'acquisition des données analytiques a permis de rejeter l'hypothèse qu'il y a une influence significative des événements extrêmes sur la qualité de l'eau traitée à l'exception des pluies qui a induit une dilution des polluants dans les eaux usées ce qui a amélioré la qualité de cette eau.

A l'instar de cette étude, il est recommandé d'analyser l'influence de la microbiologie des eaux de sortie de la STEP sur la vie aquatique ainsi que l'influence des fortes averses ou inondations sur l'efficacité du traitement des eaux usées. En outre, la qualité des eaux traitées sera mieux cernée et maîtrisée si les concentrations des métaux lourds, des composés sulfates et des dérivés chlorés sont mesurés régulièrement au niveau de la STEP.

Références

Références

- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(23), 2097-2167.
- Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2012). *Water Quality Indices*. Elsevier
- Achak, M., Ouazzani, N., & Mandi, L. (2011). Élimination des polluants organiques des effluents de l'industrie oléicole par combinaison d'un filtre à sable et un lit planté. *Journal of Water Science*, 24(1), 35-51.
- Addy, K., Green, L., & Herron, E. (2004). pH and Alkalinity. *URI Watershed Watch*, 3, 1-4.
- Adviento-Borbe, M. A. A., Doran, J. W., Drijber, R. A., & Dobermann, A. (2006). Soil electrical conductivity and water content affect nitrous oxide and carbon dioxide emissions in intensively managed soils. *Journal of Environmental Quality*, 35(6), 1999-2010.
- Agarwal, S.K., (2009). *Heavy Metal Pollution*. Vol. 4. APH Publ. Corp., Delhi, India.
- Agus, E., Zhang, L., & Sedlak, D. L. (2012). A framework for identifying characteristic odor compounds in municipal wastewater effluent. *Water Research*, 46(18), 5970-5980.
- Aher, D. N., Kele, V. D., Malwade, K. D., & Shelke, M. D. (2016). Lake Water Quality Indexing to Identify Suitable Sites for Household Utility: A Case Study Jambhulwadi Lake; Pune (MS). *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 6(5), 16-21.
- Ahmed, S. F., Mofijur, M., Nuzhat, S., Chowdhury, A. T., Rafa, N., Uddin, M. A., et al. (2021). Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125912.
- Ahmed, S. F., Mofijur, M., Parisa, T. A., Islam, N., Kusumo, F., Inayat, A., et al. (2022). Progress and challenges of contaminant removal from wastewater using microalgae biomass. *Chemosphere*, 286, 131656.
- Akoteyon, I. S., & Soladoye, O. (2011). Statistical Study of Physicochemical Characteristics of Wastewater in Odogunyan, Lagos, Nigeria. *E-Journal of Chemistry*, 8(4), 2010-2015.
- Albrecht, R. (2007). *Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique*. Thèse de doctorat, Université Marseille.
- Ama-Cauphys, B. A., Kouamé, A. K., Messou, A., & Coulibaly, L. (2021). Influence de la hauteur du massif filtrant sur l'élimination des polluants organiques dans un filtre à sable à alimentation intermittente. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(5), 2233-2246.
- Amar, S.B. (2015). *Étude du fonctionnement de la station d'épuration et la réutilisation de ses eaux : Cas de la STEP de Sidi Bel Abbes*. Mémoire Magister, Univ. Sidi Bel Abbes, Algérie.
- Amosa, M. K., Jami, M. S., Alkhatib, M.A.F.R., Tajari, T., Jimat, D. N., & Owolabi, R. U. (2016). Turbidity and suspended solids removal from high-strength wastewater using high surface area adsorbent: Mechanistic pathway and statistical analysis. *Cogent Engineering*, 3(1), 1162384.

- Amuda, O. S., & Amoo, I. A. (2007). Coagulation/flocculation process and sludge conditioning in beverage industrial wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 778-783.
- Andoniaina, T., & Violette, R. V. (2013). Etude et traitement des boues d'une station d'épuration. Mémoire de licence. Antananarivo. Madagascar. URL : http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/tsiorifitiavanaAndoniaina_PC_Lic_13.pdf.
- Angelakis, A. N., Zaccaria, D., Krasilnikoff, J., Salgot, M., Bazza, M., Roccaro, P., et al. (2020). Irrigation of world agricultural lands: Evolution through the millennia. *Water*, 12(5), 1285.
- Anonyme, (2017). Conventional Water Treatment: Coagulation and Filtration).URL : <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/conventional-water-treatment> .Consulter le 25/04/2022.
- Anonyme. (2022). Le dégrillage -ac-versailles.fr. (n.d.). URL : https://svt.ac-versailles.fr/IMG/pdf/pac2a1_-_exercices_experts.pdf. Consulter le 15/04/ 2022.
- Asiwal, R. S., Sar, S. K., Singh, S., & Sahu, M. (2016). Wastewater treatment by effluent treatment plants. *SSRG Int. J. Civil Eng.*, 3, 12.
- Ataro, A., Wondimu, T., & Chandravanshi, B. S. (2003). Trace metals in selected fish species from lakes Awassa and Ziway, Ethiopia. *SINET : Ethiopian Journal of Science*, 26(2), 103-114.
- Babou, L., & M'zyene, N. (2018). Suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques des eaux brutes et traitées de la STEP Est de Tizi-Ouzou. Mémoire de master. Université de Tizi-Ouzou.
- Bajsa, O., Nair, J., Mathew, K., & Ho, G. E. (2004). Vermiculture as a tool for domestic wastewater management. *Water science and technology*, 48(11-12), 125-132.
- Balanica, C. D., Muntenita, Cristian., Zeca, D. E., & Stoica, Maricica. (2020). Statistical analysis of the physicochemical characteristics of urban wastewater treatment plants from Romania. *Rev. Chim*, 71(10), 100-107.
- Bassompierre, C. (2007). Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modeles. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France.
- Ben Charada, R. B. C. (1992). Paramètres physico-chimiques de l'eau et relation avec la croissance des macroalgues. *Marine life*, 1(7), 29-44.
- Benchaabane, S. (2019). Inventaire et écologie des oiseaux urbains de la ville d'Ain-Beida (Wilaya d'Oum El-Bouaghi). Thèse, Univ. Oum El-Bouaghi. <http://hdl.handle.net/123456789/9114>
- Bengherbia, A., Hamaidi, F., Zahraoui, R., Hamaidi, M. S., & Megateli, S. (2014). Impact des rejets des eaux usées sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'Oued Beni Aza (Blida, Algérie). *Lebanese Science Journal*, 15(2), 39-51.
- Benit, N., & Roslin, A. S. (2015). Physicochemical properties of wastewater collected from different sewage sources. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(11), 691-696.
- Bensmail, L., & Touzi, A. (2010). Valorisation de la biomasse à des fins énergétiques : Contribution de la production de biogaz au développement durable. *Journal of Science Research*, (3), 19-23.

- benzizoune s., nassali h., srhiri A. (2004). Étude de la cinétique d'adsorption du phosphore en solution sur les sédiments du lac Fouarat du Maroc, *Larhyss Journal*, 3, 171-184.
- Bihaoui, B., Rihani, M., Mountadar, M., Malamis, D., Loizidou, M., & Assobhei, O. (2010). Valorisation des boues de traitement des eaux usées d'une unité laitière par compostage aérobie. *Déchets Sciences et Techniques*, 58, 16-21.
- Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water research*, 42(12), 2849-2861.
- Bilotta, G. S., Burnside, N. G., Cheek, L., Dunbar, M. J., Grove, M. K., Harrison, C., et al. (2012). Developing environment-specific water quality guidelines for suspended particulate matter. *Water Research*, 46(7), 2324-2332.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater Microbiology*. John Wiley & Sons.
- Boczka, G., & Fernandes, A. (2017). Wastewater treatment by means of advanced oxidation processes at basic pH conditions: a review. *Chemical Engineering Journal*, 320, 608-633.
- Bouenne, A., & Lebsir, W. (2012). Étude des paramètres physico-chimiques des eaux usées urbaines de la ville de Jijel : cas de la station d'épuration d'El-Rabta. *Mémoires d'Ingénierat, Université de Jijel*.
- Bourbon, B., Lapalus, G., LE Daheron, V., Louvet, C., Marais, J., Pages, M., & Bouyer, D. (2015). Les traitements tertiaires : Pour quoi faire ? 14^e Séminaire Eau, 30.
- Boutin, C., Héduit, A., & Helmer, J. M. (2009). Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). *Doctoral dissertation, IRSTEA*.
- Brown, E. C., & Weinstock, N. (1980). Legal issues in implementing water reuse in California. *Ecology LQ*, 9, 243.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & O'Connor, M.F. (1972). A water quality index-crashing the psychological barrier. In *Indicators of environmental quality* (pp. 173-182). Springer, Boston, MA.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & Tozer, R. G. (1970). A water quality index-do we dare. *Water and sewage works*, 117(10).
- Bueno, I., Verdugo, C., Jimenez-Lopez, O., Alvarez, P. P., Gonzalez-Rocha, G., Lima, C. A., et al. (2020). Role of wastewater treatment plants on environmental abundance of Antimicrobial Resistance Genes in Chilean rivers. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 223(1), 56-64.
- Camacho, P. & Prévot C. (2011). Méthanisation des boues. In : *La méthanisation*. 2^e éd. France : Lavoisier, pp. 87-113.
- Chai, W. S., Cheun, J. Y., Kumar, P. S., Mubashir, M., Majeed, Z., Banat, F., et al. (2021). A review on conventional and novel materials towards heavy metal adsorption in wastewater treatment application. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126589.
- Charre, J. (1997). Dessine-moi un climat. Que penser du diagramme ombrothermique. *Mappemonde*, 2(97), 29-31.
- Chatterji, C., Raziuddin, M. (2002). Determination of water quality index of a degraded river in Asanol Industrial area, Raniganj, Burdwan, West Bengal. *Nature, Environment and Pollution Technology*, 1(2), 181-189.

- Cisneros, B. J., Drechsel, P., Koné, D., Bahri, A., Raschid-Sally, L., & Qadir, M. (2011). Utilisation des eaux usées, des boues et des excréta dans les pays en développement. L'irrigation avec des eaux usées et la santé.
- Colibaly, K. (2000). La contribution à l'analyse des eaux usées urbaines de la nouvelle station d'épuration Est Tizi-Ouzou. Mémoire d'Ingénieur, Univ. Tizi-Ouzou
- Corse, M. (2012). Méthanisation des boues de stations : Règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, France.
- Cotterill, S. E., Dolfing, J., Jones, C., Curtis, T. P., & Heidrich, E. S. (2017). Low Temperature Domestic Wastewater Treatment in a Microbial Electrolysis Cell with 1 m² Anodes: Towards System Scale-Up. *Fuel Cells*, 17(5), 584-592.
- Dagba, E. Y., Kouandote Doko, V., & Agbelele, J. K. (2022). Etude hydrologique, hydraulique et dimensionnement d'ouvrages d'assainissement des infrastructures de transport rural dans la commune de Za-kpota : Cas du collecteur de la piste Attedjogon-Hounzahito-Dotan-houngomè. Mémoire de fin de Formation d'Ingénieur, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi.
- Dajoz R. (1982). Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris.
- Dajoz, R. (1985). Linné, un précurseur de l'écologie. Publications de la Société Linnéenne de Lyon, 54(8), 53-64.
- De Sol J. Arceivala, Shyam R. Asolekar (2008, Wastewater Treatment for Pollution Control and Reuse, Tata McGraw-Hill Publishing.
- Decol, L. T., López-Gálvez, F., Truchado, P., Tondo, E. C., Gil, M. I., & Allende, A. (2019). Suitability of chlorine dioxide as a tertiary treatment for municipal wastewater and use of reclaimed water for overhead irrigation of baby lettuce. *Food Control*, 96, 186-193.
- Defaut, B. (1990). Un climagramme et un système d'étages phytoclimatiques utilisables simultanément en Afrique du Nord et en Europe Occidentale. *Vie et Milieu-Life & Environment*, 40(1), 67-78.
- Deronzier, G., & Choubert, J. M. (2004). Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées. *Document technique FNDAE*, 29.
- Derwich E, Benaabidate L, Zian A, Sadki O, Belghity, D. (2010). Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du Haut Sebou en aval de sa confluence avec Oued Fes. *Larhyss Journal*, 8, 101-112.
- Devi, N. L., Yadav, I. C., Shihua, Q. I., Singh, S., & Belagali, S. L. (2011). Physicochemical characteristics of paper industry effluents—a case study of South India Paper Mill (SIPM). *Environmental Monitoring and Assessment*, 177(1), 23-33.
- Dhaouadi, H., & Marrot, B. (2010). Olive mill wastewater treatment in a membrane bioreactor: process stability and fouling aspects. *Environmental Technology*, 31(7), 761-770.
- Dhimni, S., Qlihaa, A., Melrhaka, F., Chebabe, D., Dermaj, A., & Hajjaji, N. (2015). Characterization of liquid waste of packaging industry. *J Mater Environ Sci*, 6(11), 3197-320.
- Diab, W. (2018). Étude des propriétés physico-chimiques et colloïdales du bassin de la rivière Litani. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.

- Diagne, I., Ndiaye, M., Ndiaye, B., Dione, C. T., Cisse, D., Hane, M., & Diop, A. (2017). Répartition des paramètres physico-chimiques et métalliques des eaux usées de Hann (Dakar) avec le milieu marin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(6), 3100-3109.
- Diane, A. (2014). La modélisation de la teneur en nitrates à l'aide des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Guelma. Mémoire de Master, Univ. Guelma.
- Djermakoye M. 2005. Caractéristiques Physico-chimiques, Bactériologiques et Impact sur les Eaux de Surface et les Eaux Souterraines. Thèse de Doctorat, Université de Bamako, 135 p.
- Dongo, K. R., Niamke, B. F., Adje, A. F., Britton, B. G. H., Nama, L. A., Anoh, K. P., et al. (2013). Impacts des effluents liquides industriels sur l'environnement urbain d'Abidjan-Côte D'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(1), 404-420.
- Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M., & Bahri, A. (Eds.). (2010). *Wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries*. IWMI.
- Drechsel, P., Scott, C. A., Raschid-Sally, L., Redwood, M., & Bahri, A. (Eds.). (2011). *L'irrigation avec des eaux usées et la santé : Évaluer et atténuer les risques dans les pays à faible revenu* (1st ed.). Presses de l'Université du Québec. <https://doi.org/10.2307/j.ctv18pgj60>
- Du Vachat, R. J. (2019). Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique. Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC). URL: https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-03/onerc_rapport_2018_evenements_meteorologiques_extremes.pdf.
- Dubber, D., & Gray, N. F. (2010). Replacement of chemical oxygen demand (COD) with total organic carbon (TOC) for monitoring wastewater treatment performance to minimize disposal of toxic analytical waste. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 45(12), 1595-1600.
- Dwivedi, A. K. (2017). Researches in water pollution: A review. *International Research Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(1), 118-142.
- Edwards, J., Othman, M., Crossin, E., & Burn, S. (2017). Anaerobic co-digestion of municipal food waste and sewage sludge: A comparative life cycle assessment in the context of a waste service provision. *Bioresource Technology*, 223, 237-249.
- El Guamri, Y., Belghyti, D., Cisse, M., El Kharrim, K., Sylla, I., Raweh, S., et al. (2007). Etude physico-chimique et parasitologique des eaux usées destinées à l'irrigation du périmètre péri-urbain de Fouarat (Kénitra, Maroc). *Agronomie Africaine*, 19(3), 251-261.
- El-Fadeli, S., Bouhouch, R. R., Benmazhar, H., Barkouch, Y., Zimmermann, M. B., & Sedki, A. (2015). Caractérisation de la qualité physico-chimique et minéralogique de l'eau de consommation de quatre zones de la ville de Marrakech-Maroc. *Environ. Sci.* (9), 6, 2437-2445.
- Evans, A. E., Mateo-Sagasta, J., Qadir, M., Boelee, E., & Ippolito, A. (2019). Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current opinion in environmental sustainability*, 36, 20-27.
- Faour-Klingbeil, D., & Todd, E. C. (2020). Impact of climate change on raw and untreated wastewater use for agriculture, especially in arid regions. *Desalination and Water Treatment*, 176, 437-437.

- Fathallah Z., Elkharrim K., Fathallah R., Hbaiz E.M., Hamid C., Ayyach A., Elkhadmaoui A., & Belghyti D. (2014). Étude physico-chimique des eaux usées de l'unité industrielle papetière (CDM) à Sidi Yahia El Gharb (Maroc). *Larhyss Journal*, 20, 57-69.
- Feigin, A., Ravina, I., & Shalhevet, J. (2012). *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection* (Vol. 17). Springer Science & Business Media.
- Feng, L., Luo, J., & Chen, Y. (2015). Dilemma of sewage sludge treatment and disposal in China. *Environ. Sci. Technol.*, 49(8), 4781–4782.
- Fidele, M. K. (2020). Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes:«Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge/Angla». Thèse de Doctorat, Université Côte d'Azur.
- Floret-Miguet, E., & Barraque, B. (1994). Grande-Bretagne la pollution pluviale en question. *La Houille Blanche*, 1-2, 235-238
- Gaussen, H., & Lauer, W. (1961). À propos des Diagrammes climatiques [with Entgegnung]. *Erdkunde*, 73-75.
- Ghafari, S., Hasan, M., & Aroua, M.K. (2008). Bio-electrochemical removal of nitrate from water and wastewater—a review. *Bioresour. Technol.* 99, 3965–3974.
- Goel, P. K. (2006). *Water Pollution: Causes, Effects and control* (2nd ed.). New Age International (P) Limited Publishers, New Delhi.
- Guemmaz, F., Neffar, S., & Chenchouni, H. (2019). Physicochemical and bacteriological quality of surface water resources receiving common wastewater effluents in drylands of Algeria. In: Negm et al. (eds.), *Water Resources in Algeria-Part II*. Cham : Springer, pp. 117-148.
- Guerram, R. (2020). Quelles actions et stratégies de développement économique local pour la ville d'Ain Beida ? Mémoire de master, Université Oum El Bouaghi, Algérie.
- Guessoum, A. (2018). Caractérisation et aptitude à l'irrigation des eaux usées de quelques agglomérations de la willaya de Khenchela. Mémoire Master, Université Khenchela.
- Gupta, S. C., & Hanks, R. J. (1972). Influence of water content on electrical conductivity of the soil. *Soil Science Society of America Journal*, 36(6), 855-857.
- Hamsatou, M. M. D. (2005). Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Université de Bamako.
- Hannachi, A., Gharzouli, R., Tabet, Y. D., & Daoud, A. (2016). Wastewater reuse in agriculture in the outskirts of the city Batna (Algeria). *Journal of Fundamentals and Applied Sciences*, 8(3), 919-944.
- Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., & Joannis, C. (2011). Relation entre la turbidité et les matières en suspension en réseau d'assainissement unitaire. *Techniques Sciences Methodes-Genie Urbain Genie Rural*, (10), 42.
- Härtel, L., & Pöpel, H. J. (1992). A dynamic secondary clarifier model including processes of sludge thickening. *Water science and technology*, 25(6), 267-284.
- Harvey, R., Lye, L., Khan, A., & Paterson, R. (2011). The influence of air temperature on water temperature and the concentration of dissolved oxygen in Newfoundland Rivers. *Canadian Water Resources Journal*, 36(2), 171-192.

- Hospido, A., Moreira, T., Martín, M., Rigola, M., & Feijoo, G. (2005). Environmental evaluation of different treatment processes for sludge from urban wastewater treatments: Anaerobic digestion versus thermal processes (10 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 10(5), 336-345.
- Hudson, J. A., & Lowe, P. (1996). Current technologies for sludge treatment and disposal. *Water and Environment Journal*, 10(6), 436-441.
- Hussain, A. A., & Al-Rawajfeh, A. E. (2009). Recent patents of nanofiltration applications in oil processing, desalination, wastewater and food industries. *Recent Patents on Chemical Engineering*, 2(1), 51-66.
- Idrissi, L. (2006). Nitrates et nitrites Polluants qui menacent la santé et l'environnement. *Les Technologies De Laboratoire*, 1(1).
- Idrissi, Y. A., Alemad, A., Aboubaker, S., Daifi, H., Elkharrim, K., & Belghyti, D. (2015). Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal-Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11(3), 556.
- Ikehata, K. (2013). Hazardous agents in wastewater: public health impacts and treatment options for safe disposal and reuse. In: Sharma, S.K., Sanghi, R. (eds.), *Wastewater Reuse and Management*. Springer, Dordrecht, pp. 165-191.
- Ilyas, M., Ahmad, W., Khan, H., Yousaf, S., Yasir, M., & Khan, A. (2019). Environmental and health impacts of industrial wastewater effluents in Pakistan: a review. *Reviews on Environmental Health*, 34(2), 171-186.
- INBW. (2018). Comment fonctionne une station d'épuration. Url : <https://www.inbw.be/comment-fonctionne-une-station-depuration> . Consulter le 23/04/2022.
- Iram, S., Kanwal, S., Ahmad, I., Tabassam, T., Suthar, V., & Mahmood-ul-Hassan, M. (2013). Assessment of physicochemical parameters of wastewater samples. *Environmental monitoring and assessment*, 185(3), 2503-2515.
- Jamshidzadeh, Z., & Tavangari Barzi, M. (2020). Wastewater quality index (WWQI) as an assessment tool of treated wastewater quality for agriculture: a case of North Wastewater Treatment Plant effluent of Isfahan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(7), 7366-7378.
- Javaid, M. S. (Ed.). (2015). *Irrigation and Drainage: Sustainable Strategies and Systems*. Chap2. BoD—Books on Demand.
- Jenkins, D. (2008). From total suspended solids to molecular biology tools—a personal view of biological wastewater treatment process population dynamics. *Water environment research*, 80(8), 677-687.
- Jining, C., & Yi, Q. (2009). Point sources of pollution: Local effects and control. *Encyclopedia of Life Support System*, Tsinghua.
- JORA "Journal Officiel de la République Algérienne". (2012). *Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire : conventions et accords internationaux - lois et décrets arrêtes, décisions, avis, communications et annonces*. N° 41, p. 27.
- Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijałkowski, K., Grobelak, A., Grosser, A., Worwag, M., et al. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*, 156, 39-46.

- Kambiré, O., Adingra, A. A., Eblin, S. G., Aka, N., Kakou, A. C., & Koffi-Nevry, R. (2014). Caractérisation des eaux d'une lagune estuarienne de la Côte d'Ivoire : la lagune Aby. *Larhyss Journal*, 20, 2521-9782.
- Kemamine, A., Tayebi, A., & Abbada, A. (2017). Epuration des eaux résiduaires domestiques par filtre plantés de roseaux-cas de station de M'raguen-Adrar. Master dissertation, Université Adrar, Algérie.
- Karef, S., Boughalem, M., Aitnouh, F., Batana, F. Z., Boujelben, N., Achak, M., et al. (2018). Évaluation de la qualité des sous-produits de l'épuration pour usage en agriculture dans une région semi-aride en Algérie. *Proceedings des JIC2017-Proceedings of the JIC2017*, 1, 12-20.
- Khalil, F., Bouaouine, O., Chtioui, H., Souabi, S., Aboulhassan, M. A., & Ouammou, A. (2015). Treatment of Landfill Leachate by coagulation-flocculation. *J. Mater. Environmen. Sci*, 6(5), 1337-1342.
- Khan, R. M., Jadhav, M. J., & Ustad, I. R. (2012). Physicochemical analysis of triveni lake water of Amravati district in (MS) India. *Bioscience discovery*, 3(1), 64-66.
- Kherroubi S., (2008). Caractérisation de la faune Orthoptérique dans la région de Draa Benkhedda. Thèse magistère, Inst. Nat. Agro. El Harrach, 182p.
- Koop, S. H., & van Leeuwen, C. J. (2017). The challenges of water, waste and climate change in cities. *Environment, Development and Sustainability*, 19(2), 385-418.
- Kouassi, A. M., Mamadou, A., Ahoussi, K. E., & Biemi, J. (2013). Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques : cas de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 21, 138-166.
- Lakhlifi, M., Elatmani, A., Elhammoumi, T., Elrhaouat, O., Sibari, M., Elguamri, Y., ... & El Kharrim, K. (2017). Prediction of biodegradability ratios in wastewater treatment plant of Skhirat Morocco. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, 3(12), 1-6.
- Lalami, A. E. O., Zanibou, A., Bekhti, K., Zerrouq, F., & Merzouki, M. (2014). Contrôle de la qualité microbiologique des eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Fès au Maroc. *Journal of Materials and Environmental Science*, 5, 2325-2332.
- Li, W. M., Liao, X. W., Guo, J. S., Zhang, Y. X., Chen, Y. P., Fang, F., & Yan, P. (2020). New insights into filamentous sludge bulking: The potential role of extracellular polymeric substances in sludge bulking in the activated sludge process. *Chemosphere*, 248, 126012.
- Lipczynska-Kochany, E. (2018). Humic substances, their microbial interactions and effects on biological transformations of organic pollutants in water and soil: a review. *Chemosphere*, 202, 420-437.
- Lofrano, G., & Brown, J. (2010). Wastewater management through the ages: A history of mankind. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5254-5264.
- Lokhande, R. S., Singare, P. U., & Pimple, D. S. (2011). Study on physico-chemical parameters of waste water effluents from Talaja industrial area of Mumbai, India. *International Journal of Ecosystem*, 1(1), 1-9.
- Lucas, F., Roguet, A., & Thériat, C. (2018). Utilité du séquençage à haut débit pour évaluer la variabilité de la qualité microbiologique des eaux usées brutes. *Eau, Santé et Environnement*. Evry, France. <https://hal-enpc.archives-ouvertes.fr/hal-01711718>
- Mackey, A. P., & Berrie, A. D. (1991). The prediction of water temperatures in chalk streams from air temperatures. *Hydrobiologia*, 210(3), 183-189.

- Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van Clooster M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, 9, 149-169.
- Mandal, H. K. (2014). *Organoleptic Properties of Water Reservoir in Phagwara City (Punjab). Environmental Sustainability: Concepts, Principles, Evidences and Innovations*, 109. Excellent Publishing House, New Delhi.
- Margot, J., Magnet, A., Thonney, D., Chèvre, N., De Alencastro, F., & Rossi, L. (2011). *Traitement des micropolluants dans les eaux usées : rapport final sur les essais pilotes à la STEP de Vidy (Lausanne). Ville de Lausanne*. url: https://serval.unil.ch/resource/serval:bib_e7ea08f947a3.p001/ref.pdf
- Mateo-Sagasta, J., Zadeh, S. M., Turrall, H., & Burke, J. (2017). *Water pollution from agriculture: a global review. Executive summary*.
- Matsodoum, P., Djumyom, G., Letah, W., Soh, E., & CISSE, I. K. S. August 07-08, (2014). *Co-compostage des plantes et des boues d'une station d'épuration des eaux usées par filtres plantés à Echinochloa pyramidalis (Lam.) Hitchc. & Chase., Fourth Life Sciences Conference (JSV2014). University of Dschang*.
- Mazouz, T. (2018). *Etalement urbain et stratégies de développement durable : cas d'une ville intermédiaire Ain Beida. Thèse de Doctorat, Université Oum El Bouaghi*. <http://hdl.handle.net/123456789/9190>
- Mikkelsen, L. H., & Keiding, K. (2002). Physico-chemical characteristics of full scale sewage sludges with implications to dewatering. *Water Research*, 36(10), 2451-2462.
- Mishra, G. C. (Ed.). (2014). *Environmental Sustainability: Concepts, Principles, Evidences and Innovations*. Excellent Publishing House, New Delhi, India.
- Moletta, R. (2015). *La méthanisation (2e éd.)*. Lavoisier. Paris.
- Moulin, S., Rechels, D. R., & Stankovic, M. (2013). *Traitement des eaux usées. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société*.
- Muga, H. E., & Mihelcic, J. R. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 88(3), 437-447.
- N'Dayegamiye, A., Giroux, M., & Gasser, M. O. (2007). La contribution en azote du sol relié à la minéralisation de la MO : facteur climatique et régions agricoles influençant les taux de minéralisation d'azote. In : *Colloque sur l'azote, CRAAQ-OAQ*.
- Naidoo, S., & Olaniran, A. O. (2014). Treated wastewater effluent as a source of microbial pollution of surface water resources. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(1), 249-270.
- Nakib, M., Kettab, A., Berreksi, A., Tebbal, S., & Bouanani, H. (2016). Study of the fertilizing potential of the treated wastewater of the Koléa wastewater treatment plant (Algeria). *Desalination and Water Treatment*, 57(13), 5946-5950.
- OMS "Organisation Mondiale de la Santé". (2001). *Guidelines for drinking-water quality. Vol. 1*.
- Ongley, E. D. (1996). *Control of water pollution from agriculture (Vol. 55). Food & Agriculture Organisation (FAO), Rome*.
- Oron, G., Armon, R., Mandelbaum, R., Manor, Y., Campos, C., Gillerman, L., et al. (2001). Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks. *Water Science and Technology*, 43(10), 139-146.

- Patil, P. N., Sawant, D. V., & Deshmukh, R. N. (2012). Physico-chemical parameters for testing of water-a review. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(3), 1194.
- Peng, L., Dai, H., Wu, Y., Peng, Y., & Lu, X. (2018). A comprehensive review of phosphorus recovery from wastewater by crystallization processes. *Chemosphere*, 197, 768-781.
- Perulli, G. D., Gaggia, F., Sorrenti, G., Donati, I., Boini, A., Bresilla, K., et al. (2021). Treated wastewater as irrigation source: A microbiological and chemical evaluation in apple and nectarine trees. *Agricultural Water Management*, 244, 106403.
- Potelon j. L., Zysman K. (1998). *Le guide des analyses de l'eau potable*, Edition, La Lettre du Cadre Territorial, Voiron, France.
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2017). *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples*, Volume 2: Post-Treatment, Reuse, and Disposal. CRC Press.
- Rao, A. G., Reddy, T. S. K., Prakash, S. S., Vanajakshi, J., Joseph, J., & Sarma, P. N. (2007). pH regulation of alkaline wastewater with carbon dioxide: a case study of treatment of brewery wastewater in UASB reactor coupled with absorber. *Bioresource Technology*, 98(11), 2131-2136.
- Rashid, R., Shafiq, I., Akhter, P., Iqbal, M. J., & Hussain, M. (2021). A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 9050-9066. *Recommandations*, 3rd ed., World Health Organization, Geneva.
- Rassam, A., Chaouch, A., Bourkhiss, B., Ouhssine, M., Lakhlifi, T., Bourkhiss, M., & El Watik, L. (2012). Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes de la ville d'Oujda (Maroc). *Les technologies de laboratoire*, 7, 28.
- Remili, S., & Kerfouf, A. (2013). Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien). *Physio-Géo. Géographie Physique et Environnement*, 7, 165-182.
- Rodier J. (1984). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*, Ed. Dunod, Paris.
- Rodriguez, F., Andrieu, H., & Morena, F. (2008). A distributed hydrological model for urbanized areas—Model development and application to case studies. *Journal of Hydrology*, 351(3-4), 268-287.
- Romdhana, M. H. (2009). *Conception, modélisation et évaluation environnementale d'un procédé de valorisation de boues organiques en combustibles solides*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- Saleh, I. A., Zouari, N., & Al-Ghouti, M. A. (2020). Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 101026.
- Salgot, M., & Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 2, 64-74.
- Salgot, M., Huertas, E., Weber, S., Dott, W., & Hollender, J. (2006). Wastewater reuse and risk: definition of key objectives. *Desalination*, 187(1-3), 29-40.
- Savary, M. (2018). *Prévision de la turbidité par apprentissage statistique : application au captage AEP d'Yport (Normandie)*. Doctoral dissertation, Université Normandie.
- Scott, G. M., & Smith, A. (1995, May). Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry. In: *Tappi International Environmental Conference*. Tappi Press, pp. 269-269.

- Serinol. (2018). (SD) Tamis dégrilleur élévateur sertel. URL : <https://www.serinol.com/equipement-de-traitement-des-eaux/tamis-degrilleur/elevateur/sertel/>. Consulter le : 10/05/2022.
- Serra, T., Colomer, J., Pau, C., Marín, M., & Sala, L. (2014). Tertiary treatment for wastewater reuse based on the *Daphnia magna* filtration—comparison with conventional tertiary treatments. *Water Science and Technology*, 70(4), 705-711.
- Shuval, H. (2011). L'irrigation avec des eaux usées et la santé : Évaluer et atténuer les risques dans les pays à faible revenu. Presses de l'Université du Québec.
- Sibanda, T., Selvarajan, R., & Tekere, M. (2015). Urban effluent discharges as causes of public and environmental health concerns in South Africa's aquatic milieu. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18301-18317.
- Sikosana, M. L., Sikhwivhilu, K., Moutloali, R., & Madyira, D. M. (2019). Municipal wastewater treatment technologies: A review. *Procedia Manufacturing*, 35, 1018-1024.
- Singh, A., Sharma, R. K., Agrawal, M., & Marshall, F. (2009). Effects of wastewater irrigation on physicochemical properties of soil and availability of heavy metals in soil and vegetables. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(21-22), 3469-3490.
- Sonnenberg, L.B. & Holmes, J.C. (1998). Physicochemical characteristics of dissolved organic matter in untreated and treated pulp and paper mill wastewaters. *Proceedings 1998 TAPPI International Environmental Conference*, Vancouver, BC, April 1998.
- Sonune, A., & Ghate, R. (2004). Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55-63.
- Spellman, F.R. (2014). *Mathematics Manual for Water and Wastewater Treatment Plant Operators*. CRC Press.
- Šrámková, M. V., Diaz-Sosa, V., & Wanner, J. (2018). Experimental verification of tertiary treatment process in achieving effluent quality required by wastewater reuse standards. *Journal of Water Process Engineering*, 22, 41-45.
- Stefan, H. G., & Preud'homme, E. B. (1993). Stream temperature estimation from air temperature 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 29(1), 27-45.
- Summers, J. K. (Ed.). (2020). *Water Quality: Science, Assessments and Policy*. BoD—Books on Demand.
- Taghinia Hejabi, A., Basavarajappa, H. T., Karbassi, A. R., & Monavari, S. M. (2011). Heavy metal pollution in water and sediments in the Kabini River, Karnataka, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182(1), 1-13.
- Tillman, G. M. (1991). *Primary treatment at wastewater treatment plants*. CRC Press.
- Tjandraatmadja, G., & Diaper, C. (2006). Sources of Critical Contaminants in domestic wastewater: a literature review. CSIRO: *Water for a Healthy Country National Research Flagship*.
- Trenberth, K. E., Dai, A., Rasmussen, R. M., & Parsons, D. B. (2003). The changing character of precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84(9), 1205-1218.
- Turtin, I., Vatansever, A., & Sanin, F. D. (2006). Phosphorus deficiency and sludge bulking. *Environmental Technology*, 27(6), 613-621.
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., & Voicu, G. (2020). Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. *Sustainability*, 12(21), 9055.

- Veronesi, M., Chawla, F., Maurer, M., & Lienert, J. (2014). Climate change and the willingness to pay to reduce ecological and health risks from wastewater flooding in urban centers and the environment. *Ecological Economics*, 98, 1-10.
- Vicaud, A. (2008). Les besoins en eau de refroidissement des centrales thermiques de production d'électricité. *La Houille Blanche*, 94(6), 34-40.
- Villarreal, E. L., & Dixon, A. (2005). Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40(9), 1174-1184.
- Von Sperling, M. (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. IWA publishing.
- Wagner, G. H. (2000). Wastewater Treatment and the Role of Laboratory Professionals. *Laboratory Medicine*, 31(4), 206-209.
- Walshe, G. E., Pang, L., Flury, M., Close, M. E., & Flintoft, M. (2010). Effects of pH, ionic strength, dissolved organic matter, and flow rate on the co-transport of MS2 bacteriophages with kaolinite in gravel aquifer media. *Water Research*, 44(4), 1255-1269.
- Wei, T., & Simko, V. (2021). R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix. (Version 0.92). <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- Wijaya, I. M. W., & Soedjono, E. S. (2018). Physicochemical characteristic of municipal wastewater in tropical area: case study of Surabaya City, Indonesia. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 135, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Wittgren, H. B., & Maehlum, T. (1997). Wastewater treatment wetlands in cold climates. *Water Science and Technology*, 35(5), 45-53.
- Wolkoff, P. (1995). Volatile organic compounds. *Indoor Air, Suppl*, 3, 1-73.
- Yadav, R. K., Goyal, B., Sharma, R. K., Dubey, S. K., & Minhas, P. S. (2002). Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water—a case study. *Environment international*, 28(6), 481-486.
- Yapo, B. O., Mambo, V., Séka, A., Yapi, A. D., & Houenou, P. (2009). Caractérisation par fractionnement gravimétrique de la matière organique contenue dans les eaux usées : application à l'étude de la biodégradabilité. *Journal de la Société ouest-africaine de chimie*, 27, 21-37.
- Yin, H., Yun, Y., Zhang, Y., & Fan, C. (2011). Phosphate removal from wastewaters by a naturally occurring, calcium-rich sepiolite. *Journal of Hazardous Materials*, 198, 362-369.
- Youcef, L. Achour S. (2005). Élimination des phosphates par des procédés physico-chimiques. *Larhyss Journal*, 4, 129-140.
- Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J., Chang, Y., & Lee, Y. J. (2017). Sludge treatment: Current research trends. *Bioresource Technology*, 243, 1159-1172.
- Zouboulis, A., & Tolkou, A. (2015). Effect of climate change in wastewater treatment plants: reviewing the problems and solutions. In: Shrestha, S., et al. (eds.), *Managing water resources under climate uncertainty: Examples from Asia, Europe, Latin America, and Australia*. Springer, Cham, pp. 197-220.

RÉSUMÉ

Aujourd'hui les changements climatiques sont considérés comme une menace sérieuse pour la disponibilité, la quantité et qualité des eaux de surface et des nappes souterraines. Les pays des arides et semi-arides doivent planifier pour faire face aux pénuries de l'eau en exploitant durablement et efficacement les ressources hydriques. La réutilisation des eaux usées correctement traitées dans l'irrigation est une stratégie prometteuse. Au cours de leur traitement, les eaux usées sont exposées aux différents événements météorologiques qui peuvent altérer ses caractéristiques. Cette étude a évalué l'efficacité de traitement des eaux municipales par la station d'épuration des eaux usées de la ville d'Aïn Beida (W. Oum El Bouaghi) en se basant sur les données physicochimiques de la période 2015-2022. En exploitant les paramètres physicochimiques mesurés, l'indice de la qualité de l'eau (IQE) traitée a été calculée puis l'eau traitée est classée selon sa qualité et comparée avec les normes nationale et internationale. Les effets des événements météorologiques extrêmes (températures maximales et minimales, précipitations, indicateurs de pluie et de la neige) sur l'indice de qualité des eaux traitées ont été testés. La majorité des paramètres étudiés étaient compatibles avec les normes nationale et internationale. Avec des rendements épuratoires élevés, jusqu'à 100% pour MES, DCO, DBO₅ et le ratio DCO/DBO₅, les performances de la STEP sont parmi les meilleures au niveau national par rapport aux autres stations. Les valeurs d'IQE révèlent que 96% sont de qualité excellente. Les paramètres météorologiques extrêmes n'ont pas des effets significatifs sur la variation de la qualité, sauf pour les précipitations qui améliorent les eaux d'entrée par la dilution des polluants.

Mots-clés : traitement des eaux usées ; climat extrême ; efficacité épuratoire ; IQE ; qualité de l'eau.

ABSTRACT

Today climate change is considered a serious threat to the availability, quantity and quality of surface water and groundwater. Arid and semi-arid countries must plan to cope with water shortages by exploiting water resources sustainably and efficiently. Reusing properly treated wastewater in irrigation is a promising strategy. During treatment, wastewater is exposed to various meteorological events that can alter its characteristics. This study evaluated the purification performance of the wastewater treatment plant of the city of Aïn Beida (W. Oum El Bouaghi) based on physicochemical data for the period 2015-2022. By exploiting the physicochemical parameters measured, the treated water quality index was calculated and then the treated water is classified according to its quality and compared with national and international standards. The effects of extreme weather events (maximum and minimum temperatures, precipitation, rain and snow indicators) on the quality index of treated water were tested. The majority of the parameters studied were compatible with national and international standards. With high purification yields, up to 100% for suspended solids, COD, BOD₅ and the COD/BOD₅ ratio, the STEP's performance is among the best at the national level compared to other stations. The WQI values reveal that 96% are of excellent quality. Extreme meteorological parameters do not have significant effects on the variation in quality, except for precipitation, which improves inlet waters by diluting pollutants.

Keywords: Wastewater treatment; extreme climate; treatment efficiency; WQI; water quality.

الملخص

يعتبر تغير المناخ اليوم تهديدًا خطيرًا لتوفر وكمية ونوعية المياه السطحية والجوفية. يجب على البلدان القاحلة وشبه القاحلة التخطيط لمواجهة نقص المياه من خلال استغلال الموارد المائية على نحو مستدام وفعال. تعد إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة بشكل صحيح في الري استراتيجية واعدة. أثناء المعالجة، تتعرض المياه العادمة لأحداث أضرار جوية مختلفة يمكن أن تغير خصائصها. قيمت هذه الدراسة أداء التنقية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة عين البيضاء (ولاية أم البواقي) بالاعتماد على البيانات الفيزيائية والكيميائية للفترة 2015-2022. من خلال استغلال معطيات المعايير الفيزيائية والكيميائية المقاسة، تم حساب مؤشر جودة المياه المعالجة ومن ثم تصنيف المياه المعالجة حسب جودتها ومقارنتها بالمعايير الوطنية والدولية. تم اختبار آثار الظواهر الجوية الشديدة (درجات الحرارة القصوى والدنيا، مؤشرات هطول الأمطار والثلوج) على مؤشر جودة المياه المعالجة. كانت غالبية المعلمات المدروسة متوافقة مع المعايير الوطنية والدولية. مع مردودات عالية، تصل إلى 100% للمواد الصلبة العالقة، COD، BOD₅ ونسبة COD / BOD₅، يعد أداء محطة معالجة مياه الصرف الصحي من بين الأفضل على المستوى الوطني مقارنة بالمحطات الأخرى. تكشف قيم مؤشر جودة المياه المعالجة أن 96% من الجودة الممتازة. لا تؤثر معايير الأرصاء الجوية الشديدة على التباين في الجودة، باستثناء هطول الأمطار، الذي يحسن دخول المياه عن طريق تخفيف الملوثات.

كلمات المفتاحية: معالجة مياه الصرف الصحي؛ مناخ شديد؛ كفاءة مردود التنقية؛ جودة المياه.