

Département des Sciences de la Terre

Mémoire présenté pour obtenir
Licence Sciences et Techniques
En
Eau & Environnement

Comparaison des performances des stations d'épuration des eaux usées dans la région de Tensift Al Haouz.

Cas d'étude : Asni, Amzmiz et Chouiter

Réalisé par :

Ouissal TAOUSSI
Khadija OUISSAADEN
Hasna AIT ALI OUAKRIM

Encadrent externe : Rabia BEN ADDI

Soutenu le 19 juin 2023 devant le Jury composé de:

- Pr. Nadia KHAMLI, Encadrante interne, FST Marrakech
- Pr. Ali RHOUJJATI, Examinateur, FST Marrakech

Dédicaces

Nous souhaitons dédier ce travail avec respect, gratitude et reconnaissance à :

Nos parents et nos frères et sœurs, qui méritent notre plus profond respect et notre amour sincère pour tous les sacrifices qu'ils ont consentis pour nous élever dignement et nous offrir une éducation dans les meilleures conditions possibles.

À nos meilleurs amis, pour leur aide, leur temps, leurs encouragements et leur soutien indéfectible. Merci d'avoir toujours été là pour nous, en soutenant nos décisions. Nous vous aimons énormément.

Remerciements

Avant de présenter notre travail, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les enseignants du département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. Leur expertise et leur dévouement nous ont grandement aidés tout au long de notre projet.

Nous exprimons notre gratitude à notre encadrante Madame Nadia KHAMLI, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques, pour ses précieux conseils, sa coopération inestimable et son encadrement attentif. Ses orientations avisées ont été essentielles à notre réussite.

Nous aimerions adresser un énorme merci à notre encadrant à ABHT, Monsieur Rabiaa BEN ADDI. Sa guidance précieuse, ses conseils éclairés et son soutien constant ont été d'une valeur inestimable tout au long de notre stage.

Nos remerciements sont adressés à nos familles et nos proches pour leur soutien indéfectible tout au long de notre parcours universitaire. Leur amour, leurs encouragements et leur compréhension nous ont permis de surmonter les obstacles et de nous épanouir dans nos études.

Finalement, nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

Merci à toutes et à tous du fond du cœur.

Abstract

This report focuses on analyzing the operation of three different types of wastewater treatment plants : Asni (Reed Bed Filtration), Amizmiz (Natural Lagooning) and Chouiter (UASB + Activated Sludge). By comparing the performance parameters of these plants. Visits were conducted to these plants to have a better understanding of their respective treatment processes. The analysis focuses on the capacity of these plants to remove key parameters such as TSS (Total Suspended Solids), BOD5 (Biochemical Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand), phosphates, nitrates, and bacteriology.

The results of this study have revealed that each plant has specific strengths. Asni plant, that uses a reed bed filtration system, is exemplary in terms of Environmental conformance, but it is mainly suitable for rural areas. While Chouiter plant with activated sludge stands out for its efficiency in wastewater treatment, it has the highest cost. Amizmiz plant is the simplest among the three, with the least complex purification steps and the lowest cost.

Résumé

Ce rapport porte sur l'analyse du fonctionnement de trois stations d'épuration des eaux usées de types différents : Asni (Filtre planté à roseaux), Amizmiz (Lagunage naturel) et Chouiter (UASB + Boue activée). Tout en comparant les paramètres de performance de ces STEP. Des visites ont été réalisées à ces stations, pour mieux comprendre leur mode de traitement respectif. L'analyse se concentre sur la capacité de ces stations à éliminer des paramètres clés tels que les MES, la DBO5, la DCO, les phosphates, les nitrates et la bactériologie.

Les résultats de cette étude ont révélé que chaque station présente des points forts spécifiques. Ainsi, la station d'Asni qui utilise un filtre planté est exemplaire en termes de respect de l'environnement, mais elle est adaptée principalement aux zones rurales. Si la station de Chouiter à boue activée se distingue par son efficacité dans le traitement des eaux usées, elle présente cependant le coût le plus élevé. La station d'Amizmiz est la plus simple parmi les trois, avec les étapes d'épuration les moins complexes et le coût le moins élevé.

Liste des figures :

Figure 1: Bassin versant de Tensift.....	4
Figure 2 : Situation géographique de la STEP d'Asni.....	18
Figure 3 : Carte géologique du bassin Tensift.....	19
Figure 4 : Carte hydrogéographique du bassin versant de Tensift.....	20
Figure 5 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Tensift.....	20
Figure 6: La moyenne annuelle des précipitations et de la température.....	21
Figure 7 : (a) Bassin à siphon auto-amorçant, (b) Regard de décompression.....	22
Figure 8 : Regard de répartition.....	22
Figure 9: Les 3 bassins de filtre planté à roseaux (a, b et c).....	23
Figure 10 : (a) Bassin de lagunage ; (b) Bassin de stockage.....	23
Figure 11 : (a et b) Bâche de pompage écologique.....	24
Figure 12 : Diagramme du débit pendant 24h.....	26
Figure 13 : Situation géographique de la STEP d'Amizmiz.....	27
Figure 14 : La moyenne annuelle des précipitations et de la température.....	28
Figure 15 : Canal dégrilleur-dessableur.....	29
Figure 16 : Les deux bassins anaérobies.....	29
Figure 17 : (a et b) les deux bassins aérobies.....	30
Figure 18 : les bassins de maturation.....	30
Figure 19 : (a et b) Opération de curage.....	31
Figure 20 : (a) Boue fraîche, (b) boue séchée.....	31
Figure 21 : Diagramme du débit pendant 24h.....	33
Figure 22 : Situation géographique de la STEP de Chouiter.....	34
Figure 23 : La moyenne annuelle des précipitations et de la température.....	35
Figure 24 : dégrilleur-dessableur-déshuileur automatique (a) et manuel (b).....	36
Figure 25 : (a) dispositif d'absorption d'odeur, (b) tamis rotatif.....	37
Figure 26 : Bassin tampon.....	37
Figure 27 : (a) Bassin de traitement UASB ; (b) Plaques de zinc.....	38
Figure 28 : (a) Bassin aérobie, (b) surpresseur.....	38
Figure 29 : Bassin clarificateur.....	39
Figure 30 : installation du traitement UV.....	39
Figure 31 : (a) Citerne cimentée, (b) Machine presse a boue.....	40
Figure 32 : Analyses du débit.....	42
Figure 33 : diagramme comparatif de la capacité épurative des 3 STEP.....	45
Figure 34 : diagramme de comparaison de TKN, TP et coliformes de 3 STEP.....	46

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Origine des substances polluantes et leurs effets sur l'homme, les animaux et les espaces verts.....	12
Tableau 2 : Limites spécifiques nouvelles des rejets domestiques applicables aux déversements d'eaux usées des agglomérations urbaines.	14
Tableau 3: Limites spécifiques anciennes des rejets domestiques applicables aux déversements existants d'eaux usées des agglomérations urbaines.	14
Tableau 4 : Conditions de la délivrance des autorisations d'utilisation des eaux usées.....	15
Tableau 5 : Analyses physico-chimiques de l'échantillon moyen (EM).	24
Tableau 6 : Résultat d'analyse moyenne des nitrates, phosphate et bactériologie entre l'entrée et la sortie du STEP.....	25
Tableau 7 : La charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP.	27
Tableau 8 : Analyses physico-chimiques de l'échantillon moyen.	31
Tableau 9 : Résultat d'analyse moyenne des nitrates, phosphates et bactériologie entre l'entrée et la sortie du STEP.	33
Tableau 10: la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	34
Tableau 11 : Analyses physico-chimiques de l'échantillon moyen.....	40
Tableau 12 : Résultat d'analyse moyenne des nitrates, phosphates et bactériologie entre l'entrée et la sortie du STEP.	41
Tableau 13 : la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP.....	42
Tableau 14 : Comparaison des résultats des STEP avec les normes marocaines.	47

Liste des abréviations :

STEP : Station d'Épuration des eaux usées.

ABHT : Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.

ONEE : Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable.

AMSED : Association Marocaine de Solidarité Et de Développement.

JICA : Japan International Cooperation Agency.

CT : Commune Territoriale.

MO : Matière Organique.

MES : Matière En Suspension.

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant cinq jours.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

UASB : Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

UV : Ultra-Violet.

pH : potentiel d'Hydrogène.

TKN : Total Kjeldahl Nitrogen.

TP : Total Phosphorus.

CO2 : Dioxyde de carbone.

H2S : Sulfure d'hydrogène.

EH : Equivalent Habitant.

Table des matières:

I. Zone d'étude :	4
I.1. Niveau piézométrique et qualité des eaux :	5
I.1.1 Niveau piézométrique :	5
I.1.2. Qualité des eaux :	5
I.2. Enjeux de l'ABHT :	5
II. Généralités sur les eaux usées :	6
II.1. Définition de l'eau usée :	6
II.2. Types des eaux usées :	6
II.2.1. Les eaux usées domestiques :	6
II.2.2. Les eaux usées industrielles :	7
II.2.3. Les eaux pluviales :	7
III. Caractéristiques des eaux usées :	7
III.1. Paramètres Organoleptiques :	7
III.1.1. La turbidité :	7
III.1.2. La couleur :	8
III.2. Paramètres physico-chimique :	8
III.2.1. La température :	8
III.2.2. La matière en suspension (MES) :	8
III.2.3. Le potentiel Hydrogène (pH) :	8
III.2.4. La conductivité :	8
III.2.5. L'oxygène dissous :	9
III.2.6. La demande chimique en Oxygène (DCO) :	9
III.2.7. La demande biochimique en Oxygène (DBO5) :	9
III.2.8. Les matières azotées :	9
III.2.9. Les matières phosphorées :	9
III.3. Paramètres biologiques :	9
III.3.1. Coliformes :	9
III.3.2. Virus :	10
III.3.3. Streptocoques :	10
III.3.4. Les protozoaires :	10
III.3.5. Salmonelles :	11
IV. Origine des polluants des eaux usées :	11
V. Réglementation des eaux :	12
V.1. Normes de rejets des eaux usées traitées :	13

V.2. Normes de réutilisation des eaux usées :	14
VI. Infractions environnementales des eaux usées :	16
Chapitre II : Etude du fonctionnement des STEP choisies	17
I. Introduction :	18
II. STEP d'Asni :	18
II.1. Données sur la région :	18
II.2. Généralités sur la station :	21
II.3. Principe du fonctionnement :	21
II.4. Bilan d'analyses :	24
II.4.1. Analyses physico-chimiques :	24
II.4.1.1. Calcul de la performance :	24
II.4.1.2. Analyse des nitrates, phosphates et la bactériologie :	25
II.4.2. Analyses du débit :	26
II.4.3. Calcul de la charge polluante :	26
III. STEP d'Amzmiz:	27
III.1. Données sur la région :	27
III.2. Généralités sur la station :	29
III.3. Principe du fonctionnement :	29
III.4. Bilan d'analyse :	31
III.4.1. Analyses physico-chimiques :	31
III.4.1.1. Calcul de la performance :	32
III.4.1.2. Analyse des nitrates, phosphates et de la bactériologie :	32
III.5.2. Analyses du débit :	33
III.5.4 Calcul de la Charge polluante :	34
IV. STEP de Chouiter :	34
IV.1. Données sur la région :	34
IV.2. Généralité de la station :	36
IV.3. Principe du fonctionnement :	36
IV.4. Bilan d'analyse :	40
IV.4.1. Analyses physico-chimiques :	40
IV.4.1.1. Calcul de la performance :	40
IV.4.1.2. Analyse des nitrates, phosphates et de la bactériologie :	41
IV.4.2. Analyses du débit :	42
IV.4.5. Calcul de la charge polluante :	42
Chapitre III : Résultats et discussion	44
I. Introduction :	45

II. Comparaison de l'efficacité des STEP étudiées :	45
II.1. Capacité de purification des 3 STEP :	45
II.1.1 Réduction de MES, DCO et du DBO5 :	45
II.1.2. Réduction des nitrates, phosphates et de la bactériologie :	46
II.2. Conformité aux normes de rejets marocaines :	47
II.4. Dimensionnement, consommation énergétique et coût :	47
II.5. Empreinte carbone et effets atmosphérique :	48
III. Discussion des résultats :	48
Conclusion générale	50

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour la survie de toutes les formes de vie sur notre planète. Cependant, la croissance démographique, l'urbanisation et l'industrialisation ont entraîné une augmentation considérable de la demande en eau, mettant ainsi une pression accrue sur nos précieuses ressources hydriques. Après son utilisation, l'eau initialement claire et potable se transforme en une eau grisâtre et usée (Niang, 1995).

Grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques, les stations d'épuration ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux usées sous forme de résidus appelés boues, valorisables en agriculture, et de rejeter une eau épurée répondant à des normes bien précises. Cette eau épurée trouve ensuite une réutilisation dans des domaines tels que l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux (Pearson, 2005).

Problématique du présent travail

Pour notre cas au Maroc, chaque année, environ 550 millions de mètres cubes d'eaux usées sont rejetées dans le milieu naturel, avec seulement 45% de ce volume est traité grâce à 117 stations d'épuration. Parmi ces stations, la méthode de la lagune naturelle est le processus le plus largement utilisé (77% des stations), 15% utilisent d'autres techniques (lagunage aéré, filtres plantés...) et 8% utilisent la boue activée.

Toutefois, ces dernières années, les organismes responsables prennent des mesures encourageantes en intégrant les eaux traitées dans des projets de réutilisation. Notamment dans le cas de Tensift, l'ABHT intègre ces eaux traitées dans l'irrigation des golfs et des jardins de la ville de Marrakech.

Si les performances de la STEP de la ville de Marrakech ont atteint un stade très avancé, qui permet la réutilisation des eaux usées traitées, nous nous posons la question à propos des STEP des autres petites villes et localités dans la région de Tensift-Al Haouz. Quelles sont les degrés de performances des STEP qui entourent la ville de Marrakech ? C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif de notre travail.

Objectifs du présent travail

L'objectif de notre projet de fin d'étude est d'analyser les paramètres de performance de trois stations d'épuration dans la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift

(ABHT) et de les comparer sur le plan efficacité. Il s'agit des STEP d'Asni, d'Amizmiz et celle de Chouiter.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons opté pour la démarche suivante :

Organisation du présent mémoire

Ce mémoire qui contient trois chapitres, débute par une introduction générale qui présente la problématique des eaux usées, l'objectif du travail et la démarche suivie.

Le premier chapitre comporte une présentation de l'ABHT et des généralités sur les eaux usées. Le deuxième chapitre expose l'étude des paramètres de traitement des trois STEP. Le troisième chapitre présente les résultats et les interprétations de la comparaison de l'efficacité des STEP étudiées. Le mémoire est achevé par une conclusion générale.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude et
généralités sur les eaux usées

I. Zone d'étude :

La zone d'étude fait partie de la zone d'action de l'ABHT. En effet, l'ABHT s'étend sur une superficie d'ordre 24800 qui inclue les bassins hydrauliques suivants (Figure 1) :

- Bassin de l'Oued Tensift : Cette zone couvre la région du Tensift, comprenant les provinces d'Essaouira, Marrakech, Chichaoua, et Al Haouz.
- Bassin de l'Oued N'fis : Cette zone est située au sud-est de Marrakech et englobe les territoires de plusieurs communes rurales.
- Bassin de l'Oued Chichaoua : Il couvre principalement la province de Chichaoua.
- Bassin de l'Oued Ourika : Cette zone comprend la vallée de l'Ourika, une région montagneuse située au sud de Marrakech, connue pour son potentiel agricole et touristique.
- Bassin de l'Oued Rdat : Il englobe la partie nord-est du Haut Atlas occidental, couvrant une superficie montagneuse comprenant des vallées et des rivières.

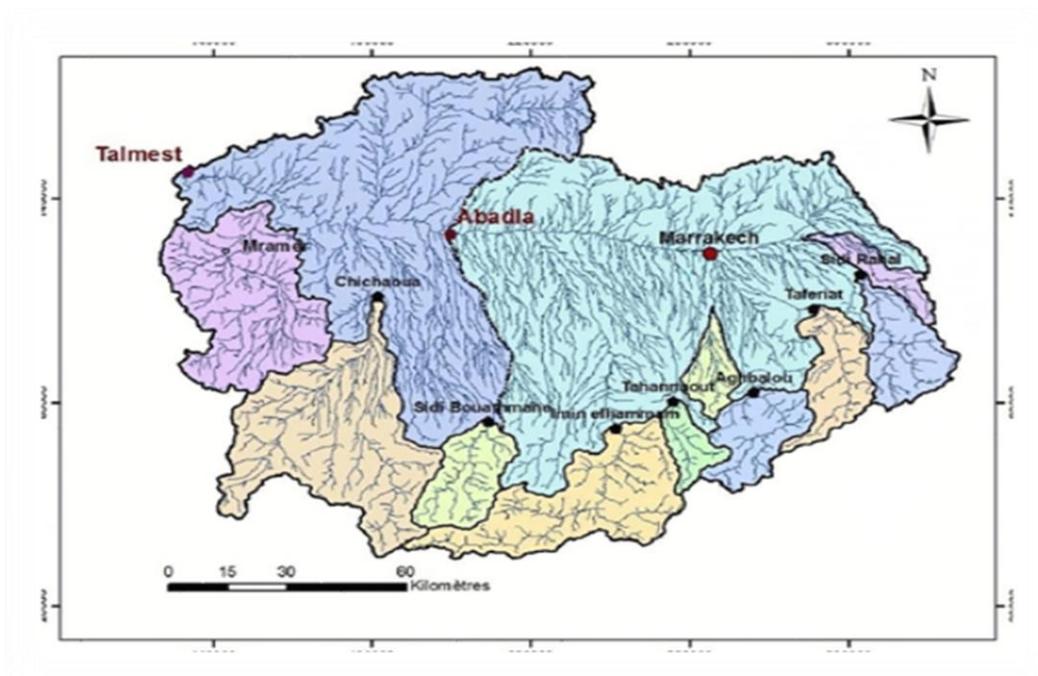


Figure 1 : Bassin versant de Tensift (Saidi et al ,2014)

I.1. Niveau piézométrique et qualité des eaux :

I.1.1 Niveau piézométrique :

Les résultats de la surveillance et des études de l'évolution du niveau piézométrique de l'aquifère de la plaine du Haouz ont montré, une forte influence par les taux de recharge et l'évapotranspiration réelle en surface, ainsi, la diminution de tête piézométrique au cours des dernières décennies qui est due à une augmentation de l'extraction d'eau et à une augmentation minimale des précipitations. (Abourida, et al., 2004).

I.1.2. Qualité des eaux :

Les eaux de surface, telles que celles des oueds côtiers atlantiques Ksob et Igouzoulen, sont généralement de bonne qualité. Cependant, l'oued de Tensift, qui reçoit les eaux usées de Marrakech, affiche une qualité médiocre en raison de cette influence urbaine. En ce qui concerne les eaux souterraines, celles de Meskala-Akermoud et du Haouz-Mejjate, à l'exception des zones proches de l'oued de Tensift et au nord de R'dat, sont de bonne qualité et peuvent être utilisées sans contraintes majeures. Cependant, certaines nappes comme celle du Haouz-Mejjate (Bas Tensift), de la Bahira et du bassin d'Essaouira présentent une qualité moyenne à mauvaise. Des zones spécifiques de la nappe de la Bahira présentent une qualité très mauvaise en raison de niveaux élevés de nitrates et d'une salinité supérieure à 4 g/l. De même, certains secteurs de la nappe du Haouz en aval de Marrakech sont également affectés par ces problèmes de qualité.

I.2. Enjeux de l'ABHT :

Les agences des bassins hydrauliques sont créées au niveau de chaque bassin hydraulique ou ensemble de bassins hydrauliques et constituent l'organisme exécutif de la gestion des eaux dans leurs zones d'actions avec un nombre de 10 au territoire marocain. Notre agence accueillante ABHT est responsable à la région de Tensift située au centre ouest du Maroc qui s'étend de la ligne de partage des eaux de surface de l'Oum Er-Rbia au Nord et à l'Est, aux crêtes du Haut Atlas au Sud et de l'océan Atlantique à l'Ouest, avec une superficie de plus de 26 035 km (Fig. 1). L'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift est chargée de :

- Élaborer et appliquer un plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau dans sa zone d'action.
- Délivrer des autorisations et concessions d'utilisation du domaine public hydraulique conformément au plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau de sa zone d'action.

- Fournir une assistance financière et technique aux demandeurs publics ou privés pour prévenir la pollution des ressources en eau ou faciliter l'aménagement et l'utilisation du domaine public hydraulique.
- Réaliser des mesures piézométriques, des jaugeages et des études hydrologiques et hydrogéologiques pour la planification et la gestion quantitatives et qualitatives de l'eau.
- Assurer la surveillance de la qualité de l'eau, mettre en œuvre les dispositions légales pour la protection et la restauration de la qualité des ressources en eau, en collaboration avec l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement.
- Proposer et mettre en œuvre des mesures réglementaires appropriées pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie déclarée ou pour prévenir les risques d'inondation.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus, des concessions et des autorisations de prélèvement d'eau accordées. (Loi36-15)

II. Généralités sur les eaux usées :

II.1. Définition de l'eau usée :

Les eaux résiduaires urbaines, ou eaux usées, sont des eaux chargées de polluants, solubles, dispersés ou dissous, provenant essentiellement de l'activité humaine suite à une utilisation domestique, industrielle ou agricole. Donc sous la terminologie d'eau résiduaire, on groupe des eaux d'origines très diverses qui ont perdu leur pureté ; c'est-à-dire leurs propriétés naturelles par l'effet des polluants après avoir utilisées dans les activités humaines (domestique, industrielles ou agricoles) (Chenini et al, 2016).

II.2. Types des eaux usées :

On distingue trois grandes catégories d'eau usées :

II.2.1. Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques, etc. Et en eaux "vannes"; il s'agit des rejets des

toilettes, chargés des diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (Bessedik, 2012).

II.2.2. Les eaux usées industrielles :

Ces eaux sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures. Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industries avant d'être rejetées dans les réseaux d'assainissement. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de dépollution. Les grandes entreprises sont toutes équipées d'unités de traitement interne (Bessedik, 2012).

II.2.3. Les eaux pluviales :

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur toitures, les cours, les jardines, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux et toute sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents ...etc) (Bessedik, 2012).

III. Caractéristiques des eaux usées :

L'eau usée contient plusieurs substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux microorganismes. Ces eaux peuvent être classées en fonction de leurs caractéristiques : chimiques, physiques, organoleptiques et biologiques.

III.1. Paramètres Organoleptiques :

III.1.1. La turbidité :

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes et des matières en suspension fines, comme les argiles, les limons, les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale (Zeghoud et al, 2014).

III.1.2. La couleur :

Une eau pure observée sous une lumière transmise sur une profondeur de plusieurs mètres émet une couleur bleu clair car les longueurs d'ondes courtes sont peu absorbées. Alors que les grandes longueurs d'onde (rouge) sont très absorbées (Chenini et Chaouche, 2016). Cette coloration due à la présence des matières organique dissoute ou des colloïdes par des composés chimiques solubles qui sont coloré (Ouartelli et al, 2013).

III.2. Paramètres physico-chimique :

III.2.1. La température :

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH et pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels (Chenini et al , 2016).

III.2.2. La matière en suspension (MES) :

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES, en fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieure à 100 μ m) et des matières colloïdales. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, un mauvais goût et une mauvaise odeur (Zeghoud, 2014).

III.2.3. Le potentiel Hydrogène (pH) :

L'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en ions H_3O^+ autrement dit le pH. Les eaux usées domestiques sont généralement neutres ou basique (Ben Chechem et al, 2014).

III.2.4. La conductivité :

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² distant de 1 cm (Ben Chechem et al, 2014).

III.2.5. L'oxygène dissous :

C'est un composé essentiel de l'eau car il permet la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu (Chenini et al, 2016).

III.2.6. La demande chimique en Oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau aux conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières chimiquement oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale, elle exprime l'oxygène nécessaire pour leurs dégradations (Rodier.J, 1996).

III.2.7. La demande biochimique en Oxygène (DBO5) :

C'est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes vivants pour assurer l'oxydation et la stabilisation de l'ensemble des matières organiques biodégradables (assimilables) en 5 jours à l'obscurité et à 20 C° (Thomas, 1995).

III.2.8. Les matières azotées :

L'azote total correspond à l'azote organique et à l'azote minéral. L'azote organique transformé en ion ammonium, est ensuite oxydé en nitrites puis en nitrates par les bactéries (Mazzoulil et al, 2012).

III.2.9. Les matières phosphorées :

Le phosphore est présent dans les eaux usées sous forme de sels minéraux (ortho phosphate et poly phosphate) provenant surtout des lessives et sous forme organique d'origine industrielle ou biologique. Ces différents composés se trouvent soit à l'état dissous, soit fixés sur les matières en suspension et colloïdales (Bechak et al, 1983).

III.3. Paramètres biologiques :

III.3.1. Coliformes :

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes qui ne s'apparentent pas à la famille des entérobactéries. La définition suivante a été adoptée par l'Organisation Internationale de Standardisation (ISO) : « Bacille à Gram négatif, non sporogène, oxydase négative, facultativement anaérobie, capable de croître en présence de sels biliaries ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance

similaire, et capable de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48h, à des températures de 35 à 37°C. Les coliformes comprennent 5 genres : Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia et Serratia. Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes-tolérantes » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés (caractéristiques de coliformes) après incubation à la température de 44°C (Saadi et al, 2018).

III.3.2. Virus :

Ce sont des micro-organismes infectieux de très petite taille (10 à 350nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte. Les virus ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Ils sont présents soit intentionnellement (après une vaccination contre la poliomyélite, par exemple), soit chez un individu infecté accidentellement. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation (Zeghoud, 2014).

III.3.3. Streptocoques :

Sont des bactéries à gram positif sphériques à ovoïde formant de chainettes, non sporulées se cultivant en anaérobiose à 44°C et à pH 9,6. La recherche des streptocoques fécaux ne doit être considérée que comme un complément à celle des coliformes thermo-tolérants pour être le signe d'une contamination fécale. Le genre streptococcus est vaste et divers, de sorte qu'il est difficile de classer ces bactéries de façon satisfaisante. Les 29 espèces du genre streptococcus sont subdivisées en 4 groupes principaux (Saadi et al, 2018) :

- Les streptocoques pyogènes hémolytiques.
- Les streptocoques oraux.
- Les entérocoques.
- Les streptocoques lactiliques.

III.3.4. Les protozoaires :

Sont des micro-organismes unicellulaires munis d'un noyau, ils sont plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance, appelée Kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il faut citer Entamoebahistolytica, responsable de la dysenterie amibienne et giadialamblia (Zeghoud, 2014).

III.3.5. Salmonelles :

La classification et la nomenclature des salmonelles sont très évolutives et complexes, il existe presque 13 nomenclatures des salmonelles, elles sont des bactéries parasites intestinales des vertébrées. Les salmonelles sont des parasites intestinaux des animaux, qui se retrouve dans les eaux usées, toutes les salmonelles sont potentiellement pathogènes pour l'homme (Brocket et al, 2007).

IV. Origine des polluants des eaux usées :

Selon les eaux usées rejetées par l'homme et ses activités, on distingue la nature des polluants, et leurs impacts sur l'homme et le milieu naturel comme le montre le tableau 1 (Libe, 2019).

Tableau 1 : Origine des substances polluantes et leurs effets sur l'homme, les animaux et les espaces verts.

Substances	Origines	Effets
Hydrocarbures Essences Huiles Fioul	Transports routiers, Industries, accidents pétroliers, fuites lors des déchargements des pétroliers, lessivage par la pluie des zones urbaines (parking, route)	Altération des mécanismes physiologiques de tous les organismes vivants
Métaux Lourds	Transports routiers, industries métallurgiques et pétrochimiques, peinture et carénage des bateaux	Affectent surtout les animaux : ralentissement de la croissance, altération des organes, classement par ordre de nocivité croissante : Co < Ni
Pesticides et Insecticides	Utilisation domestiques et agriculture	Trouble du métabolisme et du système neurologique et altération des processus enzymatiques
Composés azotés et Composés phosphaté	Agriculture, aquaculture, industries, agroalimentaires, eaux usées domestiques	Phénomène d'anoxie et d'eutrophisation
Détergents	Utilisation domestiques, Industries	Affectent les plantes et les algues, effet amplifié si combinaison avec des hydrocarbures
Matières en suspension	Utilisation domestiques, lessivages des sols, industries	Diminution de l'apport de lumière

V. Réglementation des eaux :

Au Maroc, la planification des ressources en eaux a été amorcée dès les années 1980 et améliorée en 1995 à travers le décret de la loi de l'eau 10-95 relative à l'eau qui a été une réalisation majeure dans le secteur de l'eau au Maroc ces dernières décennies. Son objectif était de réformer le secteur sur les plans institutionnel et juridique afin de moderniser la gestion des ressources en eau et de relever les défis auxquels les autorités sont confrontées.

La loi a établi les bases d'une gestion intégrée, concertée, participative et décentralisée des ressources en eau. Elle a institué le conseil supérieur de l'eau et du climat pour orienter la politique nationale de l'eau, créé neuf agences des bassins hydrauliques dotées de pouvoirs de gestion et de protection des ressources en eau, et mis en place des commissions de l'eau au niveau provincial et préfectoral pour promouvoir l'économie d'eau et sensibiliser à la

protection des ressources en eau. Sur le plan juridique, la loi a établi des règles pour la planification et la gestion intégrée de l'eau, la lutte contre la pollution et la surexploitation des ressources en eau, l'utilisation du domaine public hydraulique, ainsi que les principes préleveur-payeur et pollueur-payeur. Cependant, un diagnostic réalisé par l'autorité gouvernementale chargée de l'eau a montré que la loi n'était plus adaptée aux évolutions du secteur de l'eau suite aux changements socio-économiques, à la promulgation de la constitution de 2011 et à la publication de la loi-cadre n°99.12 sur l'environnement et le développement durable. Il était donc nécessaire de réviser la loi pour l'adapter au développement durable et aux effets de la désertification et des changements climatiques.

La nouvelle loi n°36.15 relative à l'eau a été élaborée dans le but de consolider les acquis de la loi précédente et d'améliorer la gouvernance du secteur de l'eau. Elle introduit des modifications importantes et des ajouts significatifs, tels que la création des conseils des bassins hydrauliques, un cadre juridique pour le dessalement de l'eau de mer, l'obligation de maintenir un débit minimum à l'aval des ouvrages hydrauliques, et des exigences pour les agglomérations urbaines en matière d'assainissement liquide.

La nouvelle loi repose sur des principes fondamentaux tels que la domanialité publique de l'eau, le droit à l'accès à l'eau et à un environnement sain, la gestion selon les pratiques de bonne gouvernance, la protection du milieu naturel, la promotion du développement durable et l'intégration de l'approche genre.

La révision de la loi a été réalisée suite à de larges consultations nationales et régionales, et la nouvelle loi comprend 163 articles répartis en 12 chapitres. Elle vise à améliorer la gestion des ressources en eau, simplifier les procédures, renforcer la protection et la préservation des ressources, prévenir les inondations et intégrer les aspects liés aux changements climatiques.

V.1. Normes de rejets des eaux usées traitées :

Les normes de rejets des eaux usées sont des réglementations établies pour contrôler la qualité des eaux usées rejetées dans l'environnement. Elles sont mises en place pour prévenir la pollution de l'eau et protéger la santé publique en spécifiant des limites maximales de divers polluants présents dans les eaux usées. Au Maroc ces normes se basent sur les paramètres suivants : la demande biochimique en oxygène durant cinq jours (DBO5), les matières en suspension (MES) et la demande chimique en oxygène (DCO) (Tableaux 2 et 3).

Tableau 2 : Limites spécifiques nouvelles des rejets domestiques applicables aux déversements d'eaux usées des agglomérations urbaines.

Paramètres	Valeurs limites spécifiques des rejets domestiques
DBO5 mg O2/1	120
DCO mg O2/1	250
MES mg/1	150

Tableau 3 : Limites spécifiques anciennes des rejets domestiques applicables aux déversements existants d'eaux usées des agglomérations urbaines.

Paramètres	Valeurs limites spécifiques des rejets domestiques
DBO5 mg O2/1	300
DCO mg O2/1	600
MES mg/1	250

Lorsque ces normes de rejets ne sont pas respectées, les stations d'épuration peuvent avoir un effet significatif sur l'environnement.

V.2. Normes de réutilisation des eaux usées :

La réutilisation des eaux usées (Tableau 4) et des boues d'épuration au Maroc est réglementée par les lois suivantes :

- Les eaux usées réutilisées doivent respecter les normes de qualité fixées
- Si un traitement complémentaire est nécessaire, il incombe à l'utilisateur ou à l'exploiteur des installations de traitement de le réaliser, avec des frais convenus entre les parties concernées.
- Les eaux usées épurées ne peuvent pas être utilisées pour la consommation humaine ou pour des activités liées à l'alimentation.
- Toute réutilisation des eaux usées doit être autorisée par l'agence de bassin hydraulique, sauf pour le recyclage interne des eaux usées par le titulaire d'une autorisation de prélèvement d'eau.
- L'autorisation de réutilisation des eaux usées précise la durée, les prescriptions techniques, le volume, l'usage, les mesures de protection de l'environnement, ainsi que les conditions de suivi et de surveillance. L'autorisation peut être suspendue ou révoquée en cas d'utilisation non autorisée, d'arrêt du traitement des eaux usées ou de détérioration de leur qualité.

- Les boues d'épuration doivent être traitées selon des modes définis par voie réglementaire.
- Les gestionnaires des stations d'épuration peuvent bénéficier d'une assistance financière pour le traitement et la valorisation des boues.

Tableau 4 : Conditions de la délivrance des autorisations d'utilisation des eaux usées.

Catégorie	Conditions de réalisation	Groupe exposé	Nemathodes intestinaux (a) [moyennes arithmétique du nombre d'oeufs par litre (b)]	Coliformes fécaux [moyenne géométrique du nombre par 100 ml (b)]	Procédés de traitement des eaux usées susceptibles d'assurer la qualité microbiologique voulu
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics (c)	Ouvriers agricoles, Consommateurs Public	Absence	<1000 (d)	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre traitement équivalent.
B	Irrigation de cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbres (d)	Ouvriers agricoles	Absence	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassin de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé permettant une élimination équivalente des helminthes et des coliformes fécaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Aucun	Absence	Aucune norme n'est recommandée	Traitement en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins une décantation primaire

(a) Ascaris, trichuris et ankylostomes.

(b) Durant la période d'irrigation.

(c) Une directive stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour les pelouses avec lesquelles le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(d) Dans le cas des arbres fruitiers, l'irrigation doit cesser deux semaines avant la cueillette et aucun fruit tombé ne doit être ramassé. L'irrigation par aspersion est interdite.

VI. Infractions environnementales des eaux usées :

Les infractions environnementales liées aux eaux usées peuvent prendre plusieurs formes à savoir :

- Le non-respect des normes de rejets par le dépassement des limites de concentration de polluants, la non-conformité aux exigences de pH ou de température, ou toute autre violation des paramètres établis.
- Le déversement illégal des eaux usées, directement dans l'environnement sans autorisation appropriée ou en dehors des points de rejet (les lacs, les océans ou les sols) sans se conformer aux réglementations environnementales.
- L'utilisation des eaux usées traitées à des fins non autorisées, telles que l'irrigation des cultures non approuvées, la consommation humaine ou la préparation d'aliments
- Le non-respect des procédures de demande d'autorisation et l'utilisation des eaux usées traitées sans obtenir préalablement l'autorisation requise des autorités compétentes et sans suivre les procédures établies.
- La falsification ou la manipulation des données relatives à la qualité des eaux usées traitées dans le but de dissimuler des non-conformités ou de tromper les autorités de réglementation (Loi36.15).

Chapitre II : Etude du fonctionnement des STEP **choisies**

I. Introduction :

Ce chapitre est consacré à l'étude du fonctionnement des trois stations d'épuration (Asni, Amizmiz et Chouiter), mettant en évidence les différents processus du traitement utilisés pour éliminer les contaminants présents dans les eaux usées. Dans un premier temps, nous abordons des données générales sur la région où se situent les STEP. Ensuite, nous examinons leur principe de fonctionnement suivi par une détermination de l'efficacité de ces traitements en analysant les paramètres physico-chimiques, le débit et la charge polluante.

II. STEP d'Asni :

II.1. Données sur la région :

- **Données géographiques :**

La STEP se situe à Asselda qui fait face à Asni dans la vallée de Ghighaya, à environ 50 km au Sud de Marrakech sur le versant Nord du haut Atlas à plus de 1000m d'altitude (Figure 2).

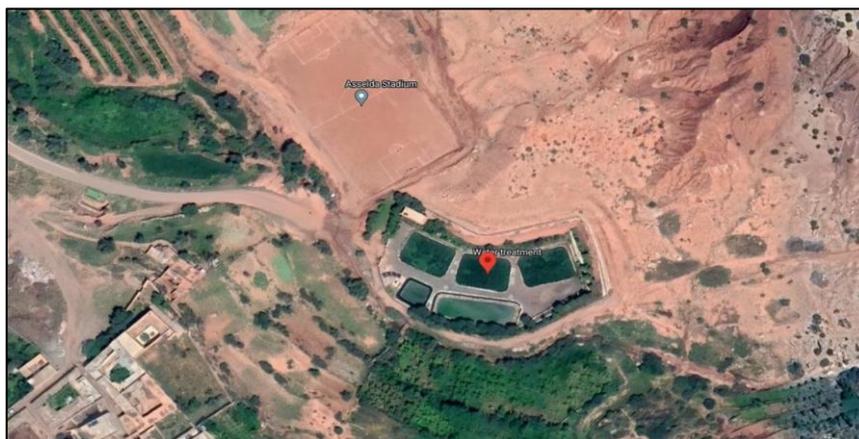


Figure 2 : Situation géographique de la STEP d'Asni

- **Données géologiques :**

La région d'Asni présente un cadre géologique diversifié. Les formations rocheuses principales sont les schistes, les grès et les calcaires de l'Atlas moyen. Les schistes sont des roches métamorphiques dérivées de sédiments argileux, tandis que les grès sont formés à partir de grains de sable consolidés et les calcaires résultent de dépôts marins riches en carbonate de calcium. L'érosion de ces formations a sculpté des paysages montagneux avec des vallées profondes et des sommets escarpés (Figure 3).

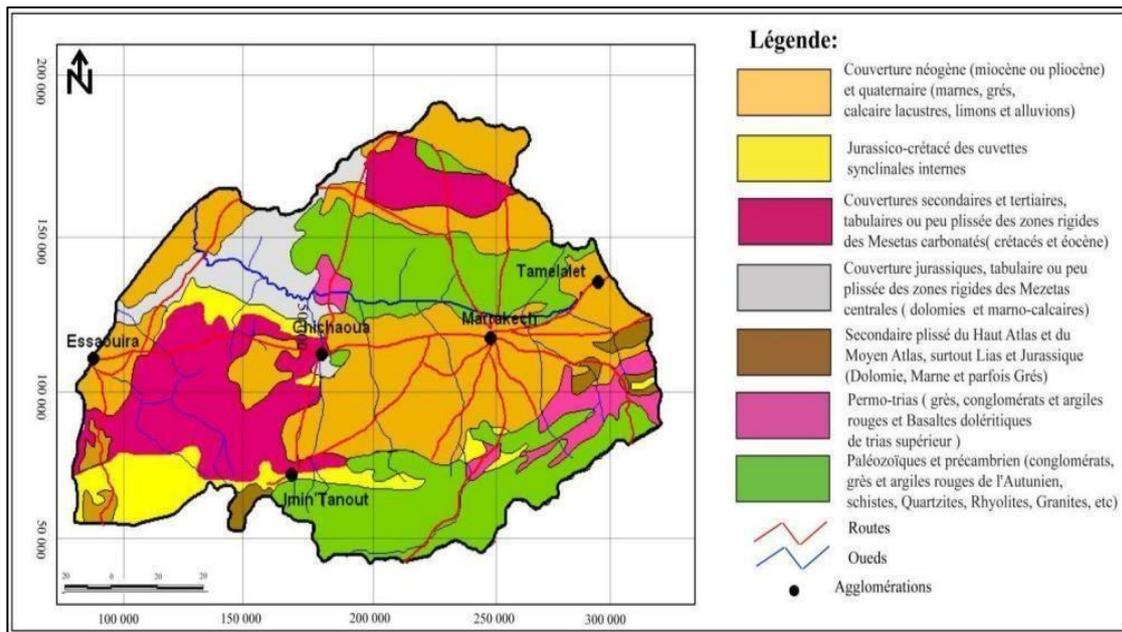


Figure 3 : Carte géologique du bassin Tensift (Saidi.ma)

- **Données hydrogéologiques et hydrographiques :**

La région d'Asni est caractérisée par une importante présence de ressources en eau souterraine, alimentées par les montagnes environnantes, telles que le Haut Atlas. Les précipitations abondantes contribuent à recharger les aquifères constitués de schistes, de grès et de calcaires, favorisant le stockage et la circulation de l'eau. De plus, la région est traversée par des cours d'eau importants tels que l'oued Nfis, alimentés par la fonte des neiges et les précipitations des montagnes (Figures 4 et 5).

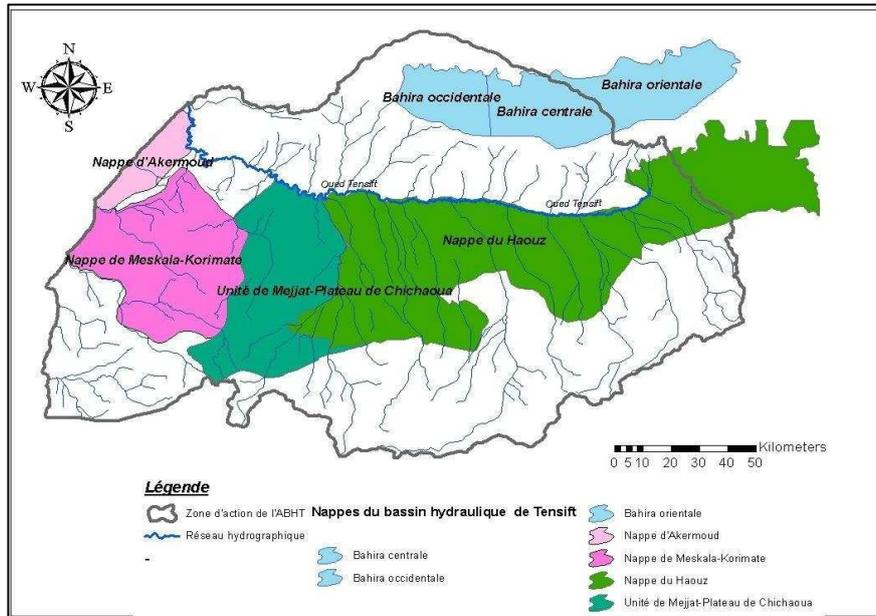


Figure 4 : Carte hydrogéographique du bassin versant de Tensift (Saidi.ma)

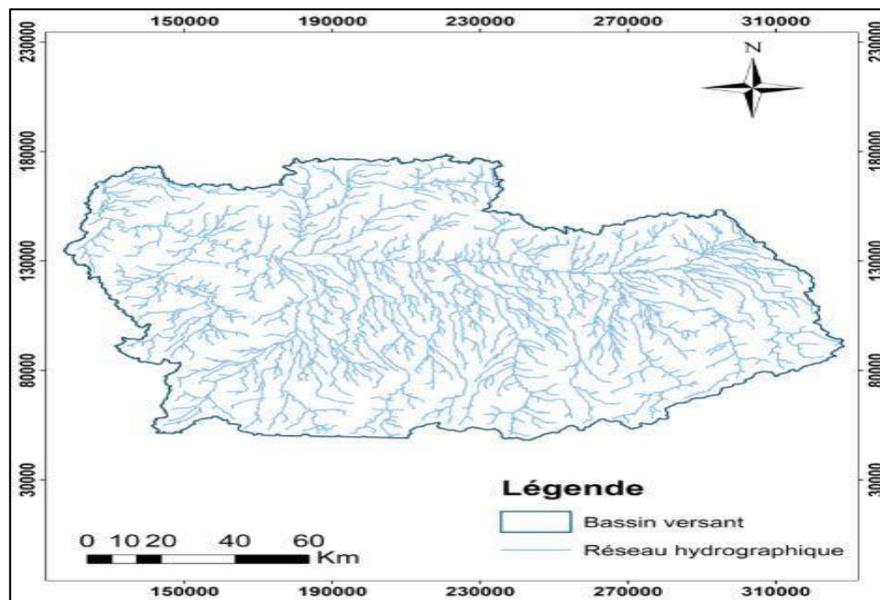


Figure 5 : Carte du réseau hydrographique du bassin versant de Tensift (Saidi.ma)

- **Données climatiques et pluviométriques :**

La commune d'Asni bénéficie d'un climat chaud et tempéré. Les pluies sont moins abondantes en été par rapport à l'hiver. Selon la classification climatique de Köppen-Geiger, le climat d'Asni est de type Csa. La température moyenne annuelle est de 13,5 °C, et les précipitations annuelles avoisinent les 475 mm (Figure 6).

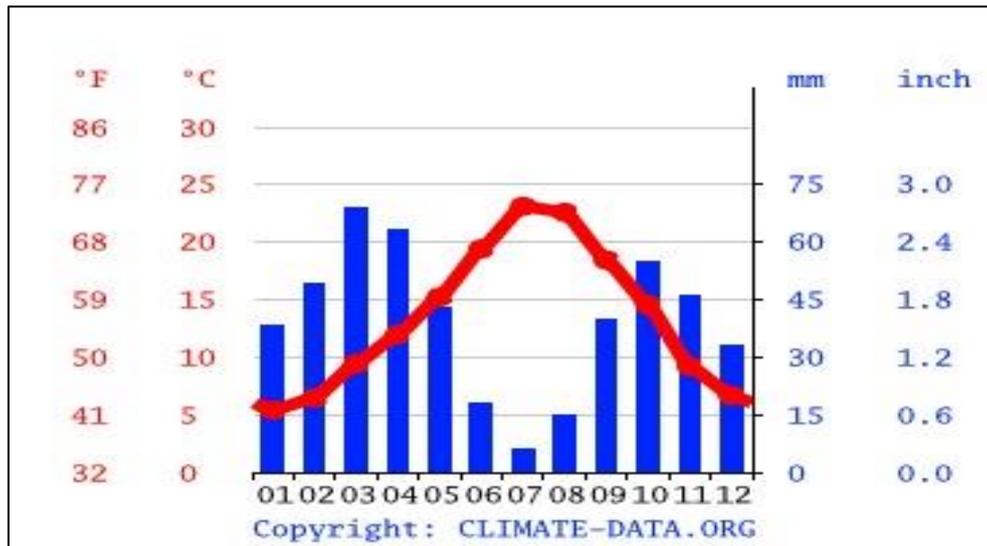


Figure 6 : La moyenne annuelle des précipitations et de la température (Climate-Data.org)

Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 6 mm. Une moyenne de 69 mm fait du mois de Mars le mois ayant le plus haut taux de précipitation.

Au mois de Juillet, la température moyenne est de 23.1 °C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. 5.4 °C font du mois de Janvier le plus froid de l'année.

II.2. Généralités sur la station :

Le principe de traitement est assuré par des filtres plantés de roseaux, la station a été réalisée avec un coût de 14,54 millions de DHs. C'est le fruit d'une collaboration entre plusieurs partenaires, dont l'AMSED (Association Marocaine de Solidarité et de Développement), l'Association Asselda (Douar Asselda), la province d'Al Haouz et la Commune de Tahanaout Asni. Les travaux de construction ont débuté en 2012 et la mise en service de la station a eu lieu en 2014. Ce système de traitement des eaux usées assure un niveau de traitement secondaire, permettant d'obtenir une qualité d'eau à la sortie de classe B (voir tableau 4). La station est conçue pour traiter les eaux usées d'une charge de 2000 habitants, avec un volume traité quotidien de 63 m³ au maximum. L'opérateur responsable de l'exploitation et de la maintenance du réseau d'assainissement de la station d'épuration du Douar Asselda est l'association Asselda, conformément à la convention signée entre le ministère de l'Intérieur, la CT Asni et l'association Asselda.

II.3. Principe du fonctionnement :

Le traitement est divisé en 3 étapes :

- **Pré-traitement et traitement primaire :**

Dans un premier temps les eaux usées arrivent au bassin à siphon auto-amorçant qui contient à son entrée un dégrilleur-dessableur à fonction d'éliminer les gros déchets et les sables. Dans le bassin de stockage et lorsque le niveau des eaux atteint 60cm, le siphon auto-amorçant pousse l'eau vers le regard de décompression qui alimente la STEP automatiquement en permettant la régularisation du débit arrivant sur filtre sous forme de bûchées (Figure 7).



Figure 7 : (a) Bassin à siphon auto-amorçant, (b) Regard de décompression

- **Traitement secondaire :**

Pour y faire, la station est équipée de trois bassins à roseaux en parallèle, deux fonctionnant et un en repos. Chaque bassin est planté par des roseaux avec une superficie de 204 m². À l'aide des canaux l'eau arrivée est distribuée sur toute la surface du bassin. L'approvisionnement des 3 bassins des eaux usées est assuré par un répartisseur (Figure 8).



Figure 8 : Regard de répartition

Chaque bassin est pourvu d'une masse filtrante composée des sables, des graviers et des cailloux, à travers lesquels les effluents bruts prétraités transitent (Figure 9). La pollution organique est naturellement dégradée en profondeur par les bactéries qui se fixent sur les massifs et les macrophytes qui leur servent de support. La présence des roseaux joue un rôle

très important dans l'élimination des contaminants (nitrate, phosphate...), ils facilitent également la diffusion de l'oxygène en profondeur qui nécessite pour le fonctionnement des bactéries.

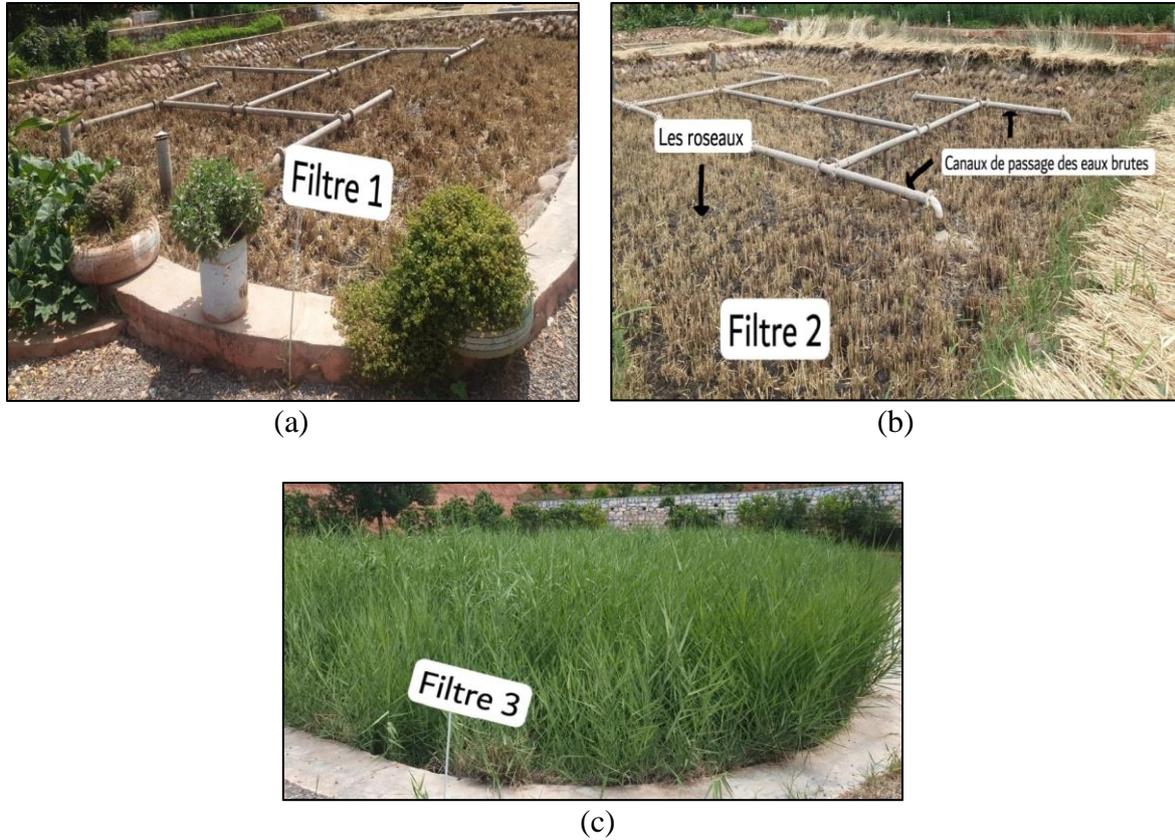


Figure 9 : Les 3 bassins de filtre planté à roseaux (a, b et c)

En suite les eaux filtrées sont ensoleillées dans un bassin de lagunage naturelle de 300 m² pendant plusieurs jours, ce qui permet une meilleure décantation des boues et l'abattement de la charge bactérienne. Après ces eaux rejoint un bassin de stockage de 100 m² (Figure 6) pour qu'ils seront à la fin pompée vers l'oued grâce à l'énergie solaire (Figure 10).



Figure 10 : (a) Bassin de lagunage ; (b) Bassin de stockage



(a)



(b)

Figure 11 : (a et b) Bâche de pompage écologique

II.4. Bilan d'analyses :

II.4.1. Analyses physico-chimiques :

Les analyses sur les prélèvements réalisés à l'entrée et la sortie du STEP ont permis d'avoir les résultats suivants :

Tableau 5 : Analyses physico-chimiques de l'échantillon moyen (EM).

	Température eau (°C)	O2 dissous	pH	Conductivité à 20°C (µm/cm)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	DBO5 (mgO2/l)	DCO (mgO2/l)
Entrée STEP	26.0	0.0	7.8	2038	504	752	736	1467
Sortie STEP	25.0	3.2	7.7	2790	62.0	102	77.1	307

L'analyse des résultats trouvés a montré que les eaux usées de la commune d'Asni sont très polluées. En effet les valeurs de DCO atteignent 1500 mg/l, et les valeurs de MES et DBO5 dépassent les 700 mg/l. Le suivi de ces paramètres à la sortie de cette STEP a montré un abattement significatif de la pollution avec des valeurs de DBO5, MES et DCO qui ne dépassent pas 77.1mg/l, 102mg/l et 307mg/l respectivement.

II.4.1.1. Calcul de la performance :

- **Abattement de MES :**

$$\%MES = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%MES = \frac{752 - 105}{752} \times 100$$

$$\%MES = 86,1\%$$

- **Abattement de DBO5 :**

$$\%DBO5 = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%DBO5 = \frac{736 - 77,1}{736} \times 100$$

$$\%DBO5 = 89,6\%$$

- **Abattement de DCO :**

$$\%DCO = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%DCO = \frac{1467 - 307}{1467} \times 100$$

$$\%DCO = 79,1\%$$

II.4.1.2. Analyse des nitrates, phosphates et la bactériologie :

Pour évaluer la qualité des eaux, il est indispensable d'effectuer une analyse des nitrates, des phosphates et de la bactériologie. Ces analyses permettent de déterminer le niveau de contamination des eaux à leur point d'entrée, ainsi d'évaluer l'efficacité des traitements pour réduire cette contamination, en se basant sur les valeurs obtenues pour les eaux à leur point de sortie. Le tableau ci-dessous (tableau 6) présente les résultats de ces analyses :

Tableau 6 : Résultat d'analyse moyenne des nitrates, phosphate et bactériologie entre l'entrée et la sortie du STEP.

Paramètre	TKN	TP	Coliformes fécaux
Unité	mg/L	mg/L	UFC/100 ml
Entrée STEP	120	18	340000000
Sortie STEP	80	12	600000
Performance (%)	33,33	33,33	99,82

TKN : "Azote Totale sous forme de Kjeldahl", il englobe l'Azote organique et L'Azote ammoniacal. Son analyse permet de déterminer le degré de contamination des eaux usées par les nitrates (Nitrates : des composés contenant L'azote et l'oxygène).

TP : "Total des Phosphores" une mesure qui englobe l'ensemble des formes de phosphore présentes dans l'eau. Son analyse permet de quantifier la concentration totale de phosphore (inorganique et organique) dans un échantillon d'eau.

L'analyse des données suggère une réduction de la concentration pour tous les paramètres entre l'entrée et la sortie du processus STEP. La performance indiquée représente la réduction en pourcentage pour chaque paramètre. Par exemple, la réduction du TKN et du TP est d'environ 33,33%, tandis que la réduction des coliformes fécaux est d'environ 99,82%.

II.4.2. Analyses du débit :

Les débitmètres sont implantés à l'entrée et à la sortie de la STEP et programmées d'une façon à mesurer le débit chaque heure pour une durée de 24 heures. Le diagramme ci-dessous résume les résultats obtenus :

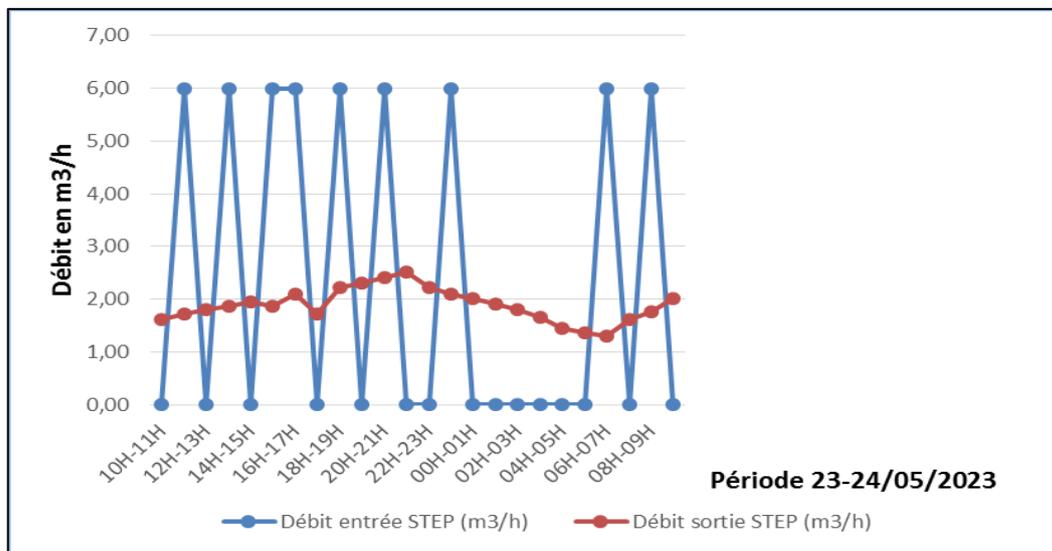


Figure 12 : Diagramme du débit pendant 24h

La figure 12 a montré un débit journalier obtenu par les relations suivantes :

- Débit journalier d'entrée** : $\Sigma \text{Débits d'entrée pendant 24H}$

$$\text{Débit journalier d'entrée} = 54m^3$$
- Débit journalier de sortie** : $\Sigma \text{Débits de sortie pendant 24H}$

$$\text{Débit journalier de sortie} = 45,3m^3$$

II.4.3. Calcul de la charge polluante :

Le calcul de la charge polluante à l'aide des paramètres MES, DBO5 et DCO permet de quantifier la performance de la STEP en mesurant la réduction de la pollution des eaux usées. Le tableau 7 présente les valeurs de la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP obtenues par la relation suivante :

$$\text{charge polluante (kg/j)} = \text{débit(m3/j)} \times \text{concentration(mg/l)}$$

Tableau 7 : La charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Paramètres	Charges polluantes		
	MES (kg/j)	DBO5 (kgO2/j)	DCO (kgO2/j)
Entrée	40,6	39,7	79,2
Sortie	4,6	3,5	13,9

Selon les données du tableau, on peut observer une réduction de la charge polluante entre l'entrée et la sortie de la station d'épuration, ce qui témoigne de l'efficacité du traitement.

III. STEP d'Amzmiz:

III.1. Données sur la région :

- **Données géographiques:**

La STEP se situe à Amizmiz qui est une petite ville de la province d'Al Haouz au Maroc située à 55 kilomètres au sud-ouest de Marrakech. Elle se dresse au pied du Haut Atlas (Figure 13).



Figure 13 : Situation géographique de la STEP d'Amizmiz

- **Données géologiques :**

La région d'Amzmiz présente un cadre géologique complexe et diversifié avec une variété de formations rocheuses, incluant des schistes, des grès, des calcaires et des quartzites. Ces roches témoignent d'une histoire géologique marquée par des événements tectoniques et sédimentaires. L'érosion a joué un rôle clé dans la formation des paysages d'Amzmiz tout en créant des vallées profondes et des gorges pittoresques. Ainsi une activité volcanique passée marquée par des indices comme les coulées basaltiques (Voir la figure 3).

- **Données hydrogéologiques et hydrographiques :**

La région d'Amizmiz est caractérisée par la présence de multiples nappes aquifères qui sont principalement alimentées par l'infiltration des eaux de pluie dans les formations géologiques environnantes. La qualité de l'eau dans la région est généralement considérée comme bonne. De plus, la région est traversée par plusieurs cours d'eau importants, dont la rivière Amizmiz (également appelée Oued Amizmiz). Cette rivière prend sa source dans les montagnes de l'Atlas et traverse la vallée d'Amizmiz, fournissant ainsi une source d'eau essentielle pour l'irrigation des terres agricoles et la vie quotidienne des habitants (Voir la figure 4 et 5).

- **Données climatiques et pluviométriques :**

La région est disposée d'un climat de steppe (climat destiné aux régions tempérées et tropicales), caractérisé par des faibles précipitations tout au long de l'année. Selon la classification de Köppen-Geiger, le climat d'Amizmiz est de type BSk. La température annuelle moyenne est de 15,2 °C, et les précipitations moyennes atteignent environ 431 mm par an (Figure 14).

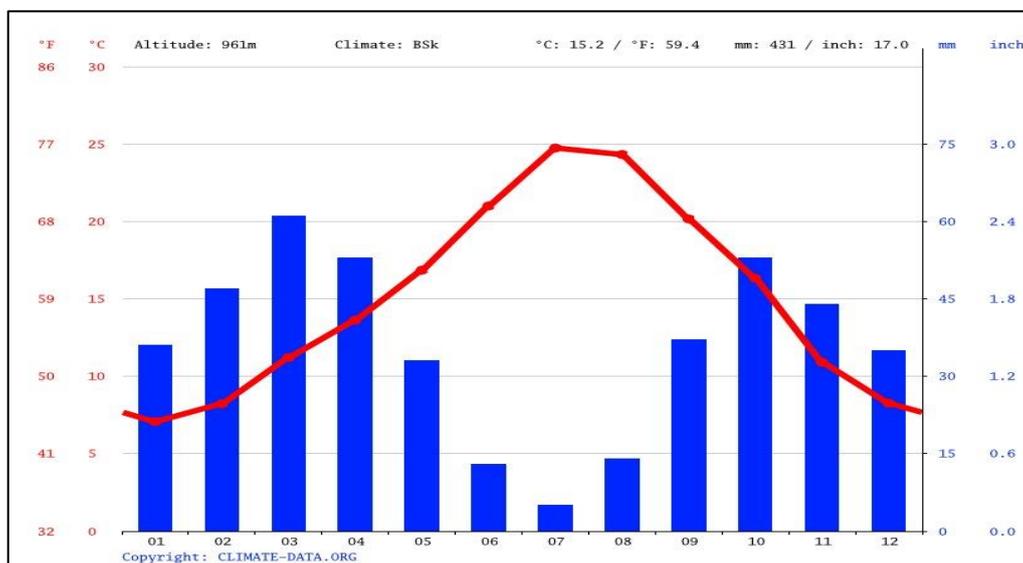


Figure 14 : La moyenne annuelle des précipitations et de la température (Climate-Data.org)

Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 5 mm seulement. Les précipitations records sont enregistrées en Mars avec une moyenne de 61 mm.

Au mois de Juillet, la température moyenne est de 24.7 °C. Juillet est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Le mois le plus froid de l'année est celui de Janvier avec une température moyenne de 7.1 °C.

III.2. Généralités sur la station :

Le principe de traitement de la STEP est assuré par un procédé de lagunage naturel qui offre un niveau de traitement tertiaire, elle a été réalisée par un coût global de 17.8 millions dirhams. Son objectif principal est de répondre aux besoins de la population, qui compte environ 14 364 habitants. La station traite chaque jour un volume considérable de 850 m³ d'eaux usées. L'ONEE est l'organisme responsable de sa gestion en collaboration avec l'ABHT et une société japonaise (JICA).

III.3. Principe du fonctionnement :

Le traitement s'effectue en 4 étapes :

- **Pré-traitement :**

Les eaux usées domestiques sont acheminées à travers un canal équipé d'un dégrilleur-dessableur (figure15). Ces dispositifs permettent l'élimination des déchets et des sables.



Figure 15 : Canal dégrilleur-dessableur

- **Traitement primaire :**

Lorsque les eaux sont acheminées par le canal, elles sont dirigées vers deux bassins parallèles anaérobies (Figure 16) d'une superficie de 1187,51 m² qui assurent le même fonctionnement : La décantation des boues.



Figure 16 : Les deux bassins anaérobies

- **Traitement secondaire :**

Par la suite, l'eau est dirigée vers deux bassins aérobies (52.42*122m) d'une profondeur d'un mètre (Figure 17) où se trouvent les bactéries dont le fonctionnement est favorisé par la présence de l'oxygène (O₂). Ces bactéries se nourrissent à la matière organique pour se gonfler et se déposer sous forme des boues.



(a)

(b)

Figure 17 : (a et b) les deux bassins aérobies

- **Traitement tertiaire :**

La dernière phase du traitement implique l'utilisation de trois bassins de maturation d'une superficie de 6497,89 m² et une profondeur d'un mètre pour chaque bassin (Figure18). Ces bassins sont moins profonds que les précédents, ce qui permet à la lumière solaire de pénétrer jusqu'au fond, où l'eau subit un traitement supplémentaire.



Figure 18 : Les bassins de maturation

- **Filière de traitement de la boue :**

Le traitement de la boue est nécessaire lorsque les boues s'accumulent en grande quantité dans les bassins (pendant notre visite, nous avons assisté à cette opération de curage). Il se fait par vidange des bassins et puis curage par une hydrocureuse (figure 19).



(a)



(b)

Figure 19 : (a et b) Opération de curage

Les boues collectées sont ensuite réparties sur des lits de séchage de 774.18 m². L'excès d'eau décantée revient aux bassins du traitement primaire. La matière séchée peut être réutilisée par la suite comme composte dans le domaine d'agriculture (figure 20).



(a)



(b)

Figure 20 : (a) Boue fraîche, (b) boue séchée

III.4. Bilan d'analyse :

III.4.1. Analyses physico-chimiques :

Les prélèvements effectués à l'arrivée et au départ du système de traitement des eaux usées (STEP) ont été soumis à des analyses, fournissant les résultats suivants :

Tableau 8 : Analyses physico-chimiques de l'échantillon moyen.

	Température eau (°C)	O2 dissous (mgO2/l)	pH	Conductivité à 20°C (µm/cm)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	DBO5 (mgO2/l)	DCO (mgO2/l)
Entrée STEP	29.0	0.0	7.85	1533	329	460	423	891
Sortie STEP	28.0	2.4	8.40	1726	133	107	50.9	324

Les eaux d'Amizmiz souffrent d'une pollution caractérisée par des niveaux de MES et de DBO5 dépassant 400mg/l, ainsi qu'une valeur de DCO qui dépasse 800mg/l. Le suivi de ces paramètres à la sortie de la station d'épuration a révélé une nette réduction de la pollution, avec des valeurs de MES, DBO5 et DCO ne dépassent pas respectivement 107mg/l, 50,9mg/l et 324mg/l.

III.4.1.1. Calcul de la performance :

- **Abattement de MES :**

$$\%MES = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%MES = \frac{460 - 107}{460} \times 100$$

$$\%MES = 76,8\%$$

- **Abattement de DBO5 :**

$$\%DBO5 = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%DBO5 = \frac{423 - 50,9}{423} \times 100$$

$$\%DBO5 = 88\%$$

- **Abattement de DCO :**

$$\%DCO = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%DCO = \frac{891 - 324}{891} \times 100$$

$$\%DCO = 63,7\%$$

III.4.1.2. Analyse des nitrates, phosphates et de la bactériologie :

Pour évaluer la qualité des eaux, il est indispensable d'effectuer une analyse des nitrates, des phosphates et de la bactériologie. Ces analyses permettent de déterminer le niveau de contamination des eaux à leur point d'entrée, ainsi que d'évaluer l'efficacité des traitements pour réduire cette contamination, en se basant sur les valeurs obtenues pour les eaux à leur point de sortie. Le tableau ci-dessous (tableau 9) présente les résultats de ces analyses :

Tableau 9 : Résultat d'analyse moyenne des nitrates, phosphates et bactériologie entre l'entrée et la sortie du STEP.

Paramètre	TKN	TP	Coliformes fécaux
Unité	mg/L	mg/L	UFC/100 ml
Entrée STEP	140	16	10000000
Sortie STEP	57.1	10.4	570
Performance (%)	59.2	35	99.99

D'après les résultats du tableau, les analyses montrent l'efficacité du traitement de la STEP en diminution des concentrations des paramètres : TKN, TP et coliformes fécaux. Avec une performance de 99,99% en rabattement des coliformes fécaux et des diminutions significatives de TKN et TP (59,2% et 35% respectivement).

III.5.2. Analyses du débit :

En utilisant des débitmètres positionnés à l'entrée et à la sortie du système du traitement. Une programmation minutieuse a permis de mesurer le débit chaque heure pendant une période de 24 heures. Le schéma ci-dessous récapitule les résultats obtenus :

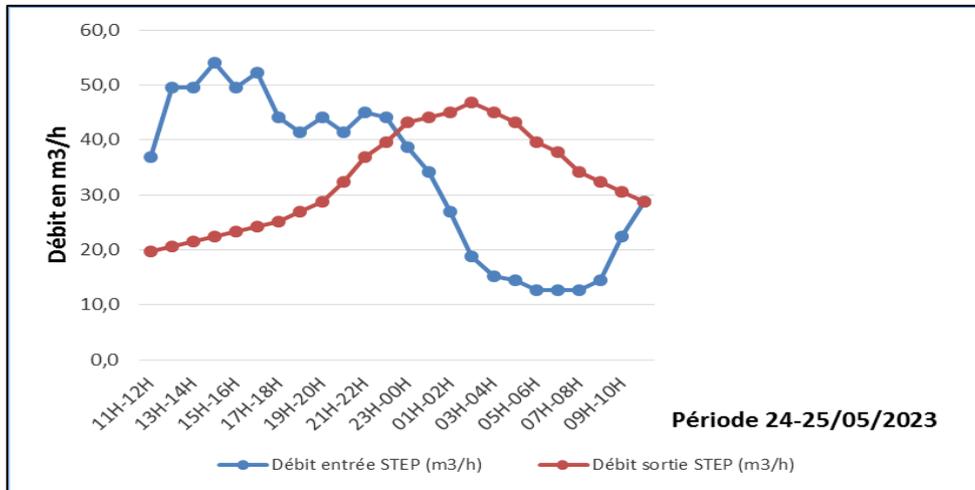


Figure 21 : Diagramme du débit pendant 24h

La figure 21 a montré un débit obtenu par les relations suivantes :

- Débit journalier d'entrée** : $\Sigma \text{Débits d'entrée pendant } 24H$
Débit journalier d'entrée = 804m³
- Débit journalier de sortie** : $\Sigma \text{Débits de sortie pendant } 24H$
Débit journalier de sortie = 793m³

III.5.4 Calcul de la Charge polluante :

Le tableau 10 présente les valeurs de la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP calculées par la relation suivante :

$$\text{charge polluante (kg/j)} = \text{débit(m}^3\text{/j)} \times \text{concentration(mg/l)}$$

Tableau 10 : la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Paramètres	Charges polluantes		
	MES (kg/j)	DBO5 (kgo2/j)	DCO (kgo2/j)
Entrée	369.8	340.1	716.4
Sortie	84.8	40.4	256.9

D'après le tableau, on constate que le degré de la charge polluante diminue entre l'entrée et sortie de la STEP ce qui rend à l'efficacité du traitement

IV. STEP de Chouiter :

IV.1. Données sur la région :

- **Données géographiques :**

La station traite les eaux usées issues du pôle urbain de Chouiter qui fait partie de la commune Sidi Ghat province El Haouz, et se situe à la commune de Ouled Hassoune appartenant à la région Marrakech-Safi à environ 15 kilomètres au sud-est de Marrakech, le long de la RN9 (Figure 22).



Figure 22 : Situation géographique de la STEP de Chouiter

- **Données géologiques :**

La région se distingue par la présence de différentes formations rocheuses, telles que des grès, des calcaires et des quartzites. Ces roches témoignent d'une histoire géologique

complexe marquée par des processus tectoniques et sédimentaires. L'érosion a joué un rôle crucial dans la configuration des paysages locaux, donnant naissance à des vallées, des gorges et une grande variété de reliefs (Voir la figure 3).

- **Données hydrogéologiques et hydrographiques :**

La région présente des formations aquifères souterraines constituées de diverses roches, telles que des calcaires, des grès ou des alluvions, qui peuvent stocker et fournir de l'eau souterraine. De plus, la commune est traversée par des cours d'eau, des ruisseaux et des rivières, qui peuvent être saisonniers et dont le débit peut fluctuer en fonction des précipitations. Ces caractéristiques hydrogéographiques et hydrographiques sont essentielles pour l'approvisionnement en eau et l'irrigation des terres de la région (Voir la figure 4 et 5).

- **Données climatiques et pluviométriques :**

Le climat de Chouiter est de type steppe, caractérisé par des faibles précipitations tout au long de l'année. Selon la classification de Köppen et Geiger, le climat de Chouiter est classé BSh. La température moyenne annuelle s'élève à 18,2 °C et les précipitations annuelles atteignent en moyenne 497 mm (Figure 23).

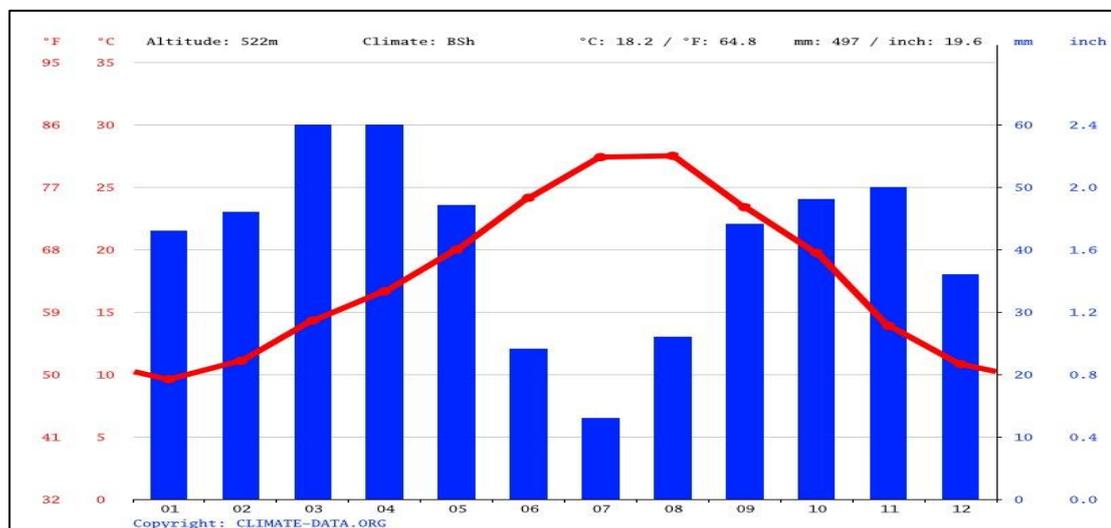


Figure 23 : La moyenne annuelle des précipitations et de la température (Climate-Data.org)

Juillet est le mois le plus sec, avec seulement 13 mm. En Mars, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 60 mm.

Avec une température moyenne de 27.5 °C, Aout est le mois le plus chaud de l'année et Janvier est le plus froid. La température moyenne est de 9.6 °C à cette période.

IV.2. Généralité de la station :

La station d'épuration est équipée d'un système de traitement connu sous le nom de l'UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) associé à la boue activée. Sa mise en service a eu lieu en 2019 afin de traiter les eaux d'une habitation estimée de 60000 EH, avec une capacité du traitement de 4320 m³/jour. La gestion de cette STEP est assurée par El Omran et l'ONEE.

IV.3. Principe du fonctionnement :

Le traitement est divisé en 5 étapes :

- **Prétraitement :**

Cette étape vise à éliminer les déchets par un dégrilleur-dessableur-déshuileur automatique et un autre manuelle qui travaillent en parallèle (Figure 24).



Figure 24 : dégrilleur-dessableur-déshuileur automatique (a) et manuel (b)

Les gros déchets sont récupérés dans une unité compacte et l'eau prétraitée passe par un absorbant d'odeur qui contient le charbon actif fonctionnant en diminution des mauvaises odeurs. Par la suite, cette étape se termine par le passage de l'eau par un tamis rotatif pour l'élimination de tous les restes des particules fines (Figure 25).



(a)



(b)

Figure 25 : (a) dispositif d'absorption d'odeur, (b) tamis rotatif

- **Réglage du pH :**

Se fait dans un bassin tampon en utilisant un système de dosage automatique qui ajuste automatiquement l'ajout des produits chimiques nécessaires pour la neutralisation du milieu (neutralisation entre 6,8 et 7,8) (Figure 26).



Figure 26 : Bassin tampon

- **Traitement secondaire par la technique de l'UASB :**

Le traitement est assuré par un réacteur anaérobie qui consiste à favoriser l'action des microorganismes anaérobies qui se nourrissent sur la MO et se fixent sur des plaques de zinc. L'action de ces microorganismes génère également la sécrétion du butane (Figure 27).



(a)



(b)

Figure 27 : (a) Bassin de traitement UASB ; (b) Plaques de zinc

- **Traitement biologique aérobie :**

Les micro-organismes présents dans ce bassin bénéficient d'une injection automatique d'oxygène grâce à des surpresseurs. Cette oxygénation garantit leur bon fonctionnement dans le processus de dégradation de la matière organique. Après avoir accompli leur tâche, ces micro-organismes se rassemblent et se déposent au fond du bassin, formant ainsi une boue qui sort par les éliminateurs de la boue et après elle se dirige vers la filière du traitement de la boue. Par ailleurs, l'oxygène disponible permet également de prévenir la stagnation de l'eau, éliminant ainsi les mauvaises odeurs. De plus, il favorise la dénitrification grâce à des bactéries dénitrifiantes qui convertissent les nitrates en azote gazeux (N_2), lequel est ensuite rejeté dans l'atmosphère (Figure 28).



(a)



(b)

Figure 28 : (a) Bassin aérobie, (b) Surpresseur

- **Coagulation-floculation :**

Après le traitement biologique aérobie, les effluents restants contenant des matières solides en suspension sont dirigés vers le bassin clarificateur où se déroulent deux processus : la coagulation, qui vise à déstabiliser les matières en suspension en ajoutant du chlorure ferrique ($FeCl_3$), et la floculation, réalisée à l'aide des polymères favorisant le contact entre les

particules afin d'augmenter leur poids et de les faire se déposer au fond du bassin. La mousse qui se forme à la surface de l'eau est éliminée à l'aide d'une raclette (Figure 29).



Figure 29 : Bassin clarificateur

- **Traitement de la bactériologie par UV :**

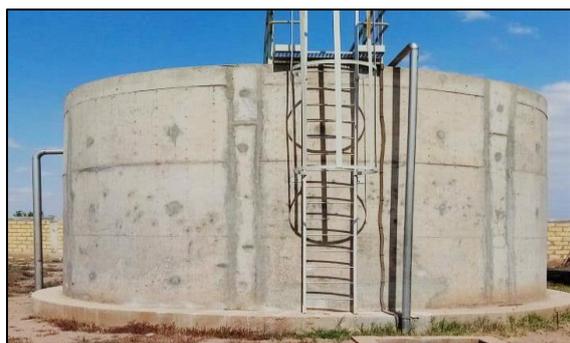
C'est une étape complémentaire où l'eau présente dans le bassin clarificateur est exposée aux rayons UV pour le but d'éliminer la bactériologie avant de les rejeter dans le milieu naturel (Figure 30).



Figure 30 : installation du traitement UV

- **Filière de traitement de la boue :**

Les boues sont acheminées vers une citerne cimentée où elles sont accumulées jusqu'à ce qu'elles forment des grandes quantités pour se diriger vers la machine de presse à boue (Figure 31).



(a)



(b)

Figure 31 : (a) Citerne cimentée, (b) Machine presse a boue

Par la suite, ces boues séchées sont prêtes pour être rejetées dans le milieu naturel où réutilisées dans l'agriculture.

IV.4. Bilan d'analyse :

IV.4.1. Analyses physico-chimiques :

Des analyses réalisées sur les échantillons prélevés à l'entrée et à la sortie du STEP ont permis d'obtenir les résultats suivants :

Tableau 11 : Analyses physico-chimiques de l'échantillon moyen.

	Température eau (°C)	O2 dissous (mgO2/l)	pH	Conductivité à 20°C (µm/cm)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	DBO5 (mgO2/l)	DCO (mgO2/l)
Entrée STEP	28.0	0.0	8.2	2074	142	165	160	422
Sortie STEP	27.0	5.76	7.9	1849	5.3	6.67	6.97	40.3

Les eaux de Chouitter sont contaminées, avec des valeurs de MES et DBO5 qui dépassent 160mg/l, ainsi qu'une valeur de DCO supérieure à 400mg/l. Le contrôle de ces paramètres à la sortie de la STEP a révélé une réduction significative de la pollution, les valeurs de MES, DBO5 et DCO ne dépassent pas respectivement 6,67mg/l, 6,97mg/l et 40,3mg/l. Cela démontre une amélioration considérable de la situation en termes de qualité de l'eau.

IV.4.1.1. Calcul de la performance :

- **Abattement de MES :**

$$\%MES = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%MES = \frac{165 - 6,67}{165} \times 100$$

$$\%MES = 95,9\%$$

- **Abatement de DBO5 :**

$$\%DBO5 = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%DBO5 = \frac{160 - 6,97}{160} \times 100$$

$$\%DBO5 = 95,6\%$$

- **Abatement de DCO :**

$$\%DCO = \frac{\text{Concentration entrée} - \text{Concentration sortie}}{\text{Concentration entrée}} \times 100$$

$$\%DCO = \frac{422 - 40,3}{422} \times 100$$

$$\%DCO = 90,4\%$$

IV.4.1.2. Analyse des nitrates, phosphates et de la bactériologie :

Ce sont des analyses qui permettent de déterminer le niveau de contamination des eaux à leur point d'entrée, ainsi que d'évaluer l'efficacité des traitements pour réduire cette contamination, en se basant sur les valeurs obtenues pour les eaux à leur point de sortie. Le tableau ci-dessous (tableau 12) présente les résultats:

Tableau 12 : Résultat d'analyse moyenne des nitrates, phosphates et bactériologie entre l'entrée et la sortie du STEP.

Paramètre	TKN	TP	Coliformes fécaux
Unité	mg/L	mg/L	UFC/100 ml
Entrée STEP	100	12	20000000
Sortie STEP	24	8.4	200000
Performance (%)	76	30	99

Les analyses suggèrent que la STEP parvient à réduire les concentrations de TKN, TP et des coliformes fécaux entre l'entrée et la sortie du processus, indiquant une performance du rabattement de TKN, TP et des coliformes fécaux de 33,33%, 33,33% et 99,82% respectivement.

IV.4.2. Analyses du débit :

Le diagramme ci-dessous présente les débits pendant 24 heures mesurés automatiquement par des machines spécialisées à calculer le débit à l'entrée et à la sortie du STEP.

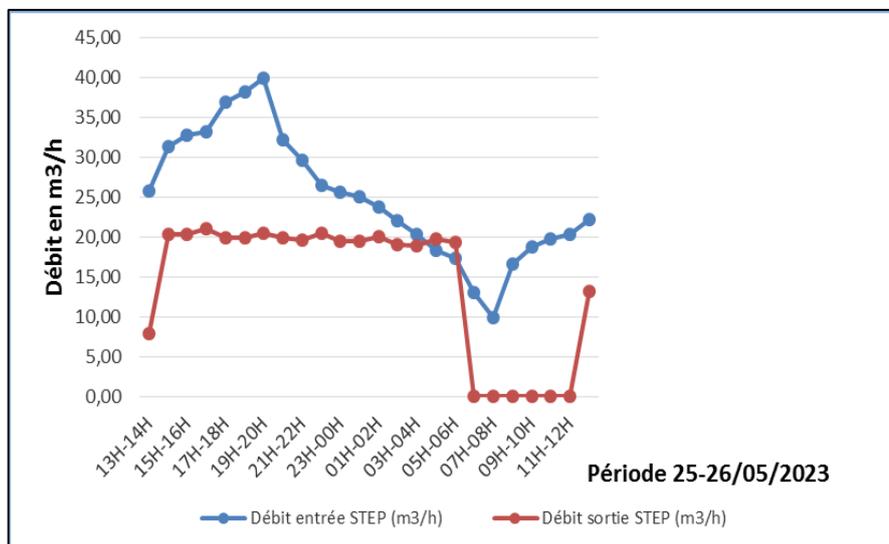


Figure 32 : Analyses du débit

La figure 32 a montré un débit obtenu par les relations suivantes :

- **Débit journalier d'entrée :** Σ Débits d'entrée pendant 24H

$$\text{Débit journalier d'entrée} = 600\text{m}^3$$

- **Débit journalier de sortie :** Σ Débits de sortie pendant 24H

$$\text{Débit journalier de sortie} = 339\text{m}^3$$

IV.4.5. Calcul de la charge polluante :

Le tableau 13 affiche les valeurs de la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP calculées en adoptant la relation suivante :

$$\text{charge polluante (kg/j)} = \text{débit(m}^3\text{/j)} \times \text{concentration(mg/l)}$$

Tableau 13 : la charge polluante à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Paramètres	Charges polluantes		
	MES (kg/j)	DBO5 (kgO2/j)	DCO (kgO2/j)
Entrée	99	96	253,2
Sortie	2,3	2,4	13,6

En se référant sur le tableau, on remarque que le niveau de la charge polluante diminue entre l'entrée et la sortie de la STEP, ce qui témoigne de l'efficacité du processus du traitement.

Chapitre III : Résultats et discussion

I. Introduction :

Chaque station d'épuration des eaux usées a ses propres méthodes et techniques spécifiques, selon le type du traitement utilisé et la nature des eaux à traiter. Cependant, le principe fondamental reste toujours le même : éliminer les polluants et les contaminants présents dans les eaux usées, afin de les rendre propres avant de les rejeter dans l'environnement ou de les réutiliser. Le processus du traitement peut varier d'une station à une autre, mais généralement il comprend des étapes telles que le prétraitement, la clarification, la filtration, la désinfection et éventuellement, des étapes supplémentaires selon les besoins spécifiques. Le présent chapitre se dédie à la comparaison de l'efficacité des trois stations d'épuration des eaux usées Asni, Amizmiz et Chouitter. En prenant en considération divers critères, tels que leur capacité de purification, leur conformité aux normes réglementaires environnementales marocaines, leur consommation énergétique, leur empreinte carbone et la fiabilité de leur système.

II. Comparaison de l'efficacité des STEP étudiées :

II.1. Capacité de purification des 3 STEP :

II.1.1 Réduction de MES, DCO et du DBO5 :

La figure ci-dessous représente la comparaison de la capacité de purification entre les 3 STEP (Asni, Chouitter et Amizmiz) :

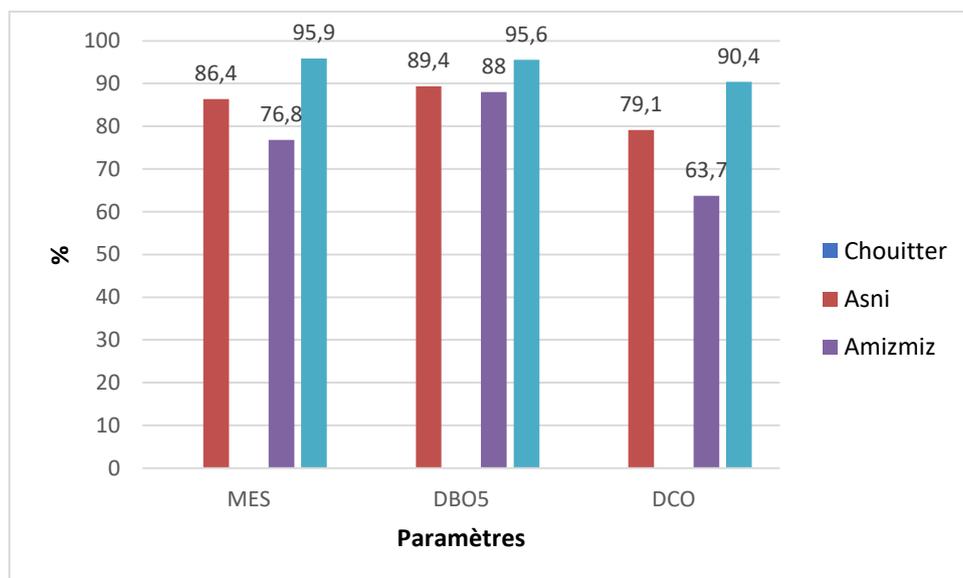


Figure 33 : Diagramme comparatif de la capacité épurative des 3 STEP

En comparant les rabattements MES, DCO, DBO5 des 3 STEP(Figure 33), nous pouvons observer ce qui suit :

La STEP Chouitter semble à avoir le meilleur pouvoir épuratif global, avec des résultats supérieurs pour tous les paramètres mesurés. Cela reflète le succès du traitement adopté par la STEP qui implique une succession des traitements biologiques aérobies et anaérobies couplés à l'utilisation de l'UASB. Ces traitements permettent une meilleure élimination des matières en suspension (MES), tandis que la présence d'un surpresseur assure une aération continue, favorisant ainsi les processus de dégradation. Cela conduit à l'obtention des valeurs les plus faibles de DCO et de DBO5.

La station d'Amizmiz présente des valeurs minimales en élimination de tous les paramètres et surtout en élimination de la DCO cela indique l'insuffisance de la méthode pour traiter efficacement les composés organiques présents en raison de l'insuffisance de l'air qui pénètre aux bassins malgré que la STEP utilise un temps de séjour très suffisant donc peut-être que c'est résultant à la présence des huiles flottantes à la surface de l'eau qui empêchent la bonne pénétration de l'oxygène.

II.1.2. Réduction des nitrates, phosphates et de la bactériologie :

Pour comparer les performances en élimination des TKN, TP et coliformes fécaux des 3 stations, nous avons placé les valeurs obtenus dans le diagramme ci-dessous (Figure 34).

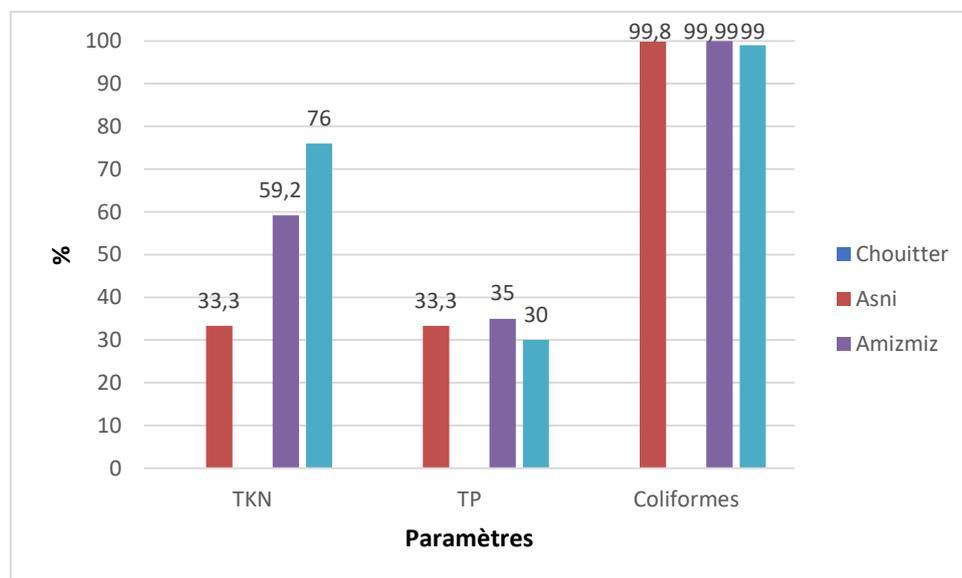


Figure 34 : Diagramme de comparaison de TKN, TP et coliformes de 3 STEP

Après l'analyse du diagramme, il semble que les trois STEP ne sont pas capables à éliminer efficacement le phosphate. Les pourcentages d'élimination ne dépassent pas 35%.

En ce qui concerne les nitrates, la STEP Chouiter se distingue avec le pourcentage d'élimination le plus élevé, suivi de la STEP Amizmiz et celle d'Asni. Cela indique clairement que la STEP Chouiter est plus efficace pour éliminer les nitrates par rapport aux deux autres STEP.

Quant aux coliformes fécaux, les trois STEP obtiennent des résultats satisfaisants, avec un pourcentage d'élimination dépassant 98%. Ces résultats confirment les performances de ces STEP en termes d'élimination complète de ces bactéries.

II.2. Conformité aux normes de rejets marocaines :

Le tableau 14 présente la comparaison des résultats des paramètres (MES, DBO5 et DCO) à la sortie de la STEP avec les normes réglementaires marocaines :

Tableau 14 : Comparaison des résultats des STEP avec les normes marocaines.

	Unité	STEP Asni	STEP Amizmiz	STEP Chouiter	Normes marocaines
MES	mg/l	102	107	6,67	150
DBO5	mgO2/l	77,1	50,9	6,97	120
DCO	mgO2/l	307	324	40,3	250

En comparant les résultats des eaux de la sortie des 3 STEP avec les normes marocaines on constate que :

Les 3 STEP montrent généralement des valeurs inférieures aux normes marocaines pour les MES (<150 mg/l) et le DBO5 (<120 mg/l), ce qui est positif. Cependant, les valeurs de DCO dépassent la norme (>250 mg/l) dans le cas des STEP d'Asni et d'Amizmiz. La seule STEP qui a respecté les normes de tous les paramètres est celle de Chouiter.

II.4. Dimensionnement, consommation énergétique et coût :

Les trois stations d'épuration présentent des différences significatives en termes de coûts, de dimensionnement et de consommation énergétique.

- STEP Asni : C'est l'installation la moins couteuse entre les trois types étudiés avec un dimensionnement moyen approprié seulement aux petites communautés. Elle est incapable de traiter les grandes quantités de rejets et surtout les rejets non domestiques. Sa consommation énergétique est faible à nulle en raison de sa dépendance aux énergies renouvelables (énergie solaire).

- STEP Amizmiz : Elle est spécifiquement conçue pour répondre aux besoins d'une population de taille faible à moyenne. En raison de son fonctionnement basé sur des bassins peu profonds nécessitant un espace considérable pour favoriser la décomposition naturelle des déchets, son installation a besoin d'une empreinte plus importante. Cela entraîne la nécessité d'équipements et d'infrastructures plus robustes, ce qui engendre des coûts d'exploitation et de maintenance plus élevés par rapport à la station d'épuration d'Asni.
- STEP Chouiter : Se distingue par les coûts d'exploitation et d'investissement les plus élevés. Cette infrastructure requiert une consommation d'électricité importante en raison de la nécessité d'une aération quasi permanente dans son bassin d'aération et l'utilisation des machines dépend entièrement de l'électricité par exemple la presse à boue. On outre c'est l'installation la plus durable, elle nécessite moins d'espace et elle est capable de traiter des grandes quantités d'eaux usées par rapport aux STEP d'Asni et d'Amzmiz.

II.5. Empreinte carbone et effets atmosphérique :

La STEP Chouiter malgré son efficacité en élimination des polluants, elle est considérée comme étant la plus sécrétrice des gaz à savoir le méthane et le CO₂ à cause du traitement de la boue activée qui nécessite une grande consommation de l'énergie électrique. De plus le traitement par UASB qui génère des émissions de butane très nocif à l'environnement.

Il est possible que le système de lagunage adopté par la STEP Amizmiz produit le gaz H₂S également connu sous le nom de sulfure d'hydrogène. Le H₂S est un gaz potentiellement dangereux, car il est toxique et peut causer des problèmes de santé s'il est inhalé en grandes quantités.

Le filtre planté, adopté par la STEP Asni reste la méthode la plus sécurisée, elle ne secrète pas les gaz mais au contraire, les plantes utilisées dans ce système aident à capturer le carbone et à réduire les émissions des gaz, pour cette raison elle est considérée comme une méthode respectueuse de l'environnement.

III. Discussion des résultats :

Suite aux résultats de la comparaison des 3 STEP en prenant en considération plusieurs critères, on constate que la STEP Chouiter se distingue comme étant la plus performante sur le plan du traitement. Les analyses ont révélé qu'elle est la seule méthode capable à mieux réduire la concentration des nitrates, tout en étant compétente à traiter des grandes quantités

d'eau sans nécessiter beaucoup d'espace pour son installation. Cependant, il convient de noter que cette méthode peut avoir des effets néfastes sur l'environnement en raison de ses fortes émissions des gaz, tels que le méthane. Dans certaines STEP, comme celle de Marrakech, ces gaz sont réutilisés pour la production d'électricité, permettant ainsi un recyclage qui réduit les coûts et protège simultanément l'environnement.

En ce qui concerne l'aspect environnemental, la STEP Asni se considère comme étant la plus respectueuse de l'environnement, son installation nécessite un diamètre qui augmente avec l'augmentation de la quantité des eaux à traiter. Du coup c'est une méthode efficace mais elle est adaptée surtout aux zones rurales.

Conclusion générale

Au cours de notre stage au sein de l'ABHT, nous avons eu l'opportunité d'entrer en contact avec trois différents types des stations d'épuration des eaux usées. Cela nous a permis de nous familiariser avec leurs processus d'épuration, qui diffèrent en termes d'étapes, mais dont le principe reste toujours le même : éliminer les polluants afin de réduire leur impact et de protéger l'environnement, tout en pouvant bénéficier du recyclage des boues en agriculture et de la réutilisation des eaux épurées en irrigation.

Notre travail consistait à étudier le fonctionnement de chacune des trois stations d'épuration afin de pouvoir comparer leur efficacité en nous basant sur plusieurs critères, tels que le pouvoir éliminatoire des polluants obtenus grâce à l'analyse des paramètres physico-chimiques à l'entrée et à la sortie des stations, le respect des normes de rejets, le dimensionnement, le coût, etc.

Les résultats de cette étude ont mis en évidence que chaque traitement est efficace pour certains critères spécifiques. En termes d'efficacité du traitement, la station d'épuration de Chouiter de type boue activée UASB s'est révélée la plus performante avec les meilleurs pouvoirs éliminatoires des polluants ; 95,9% pour les MES, 95,6% pour la DBO5, 90,4% pour la DCO, 76% pour le TKN et 99% pour les coliformes fécaux. En termes de respect de l'environnement, la station d'Asni, qui utilise un filtre planté, s'est avérée la plus adaptée avec les plus faibles émissions des gaz néfastes et une consommation nulle d'électricité. Pour une station d'épuration simple, avec des processus moins complexes et un coût réduit, la technique de lagunage de la station d'Amizmiz a été identifiée comme la plus efficace. D'après cette étude, la méthode qui semble d'être la plus appropriée à long terme est la boue activée UASB. Avec le début d'industrialisation des zones rurales due à l'augmentation de la population, c'est la seule méthode capable de fournir les niveaux d'efficacité souhaités et de traiter des grandes quantités d'eaux usées.

Références bibliographiques :

Abourida, A, Errouane, S, Leduc , C et Chehbouni, G, 2004. Impact de la modernisation agricole sur l'évolution piézométrique de la nappe phréatique du Haouz (Maroc Central). Rabat, Maroc.

Bechak, J.P, Boutine, P, Mercier, B et Nuer, P, 1983. Traitement des eaux usées. Éditions EYROLLES, 31p.

Ben Chemchem, M, Labbaz, L et Bouazza, H, 2014. Inventaire des études scientifiques relatives à la réutilisation des eaux usées dans le domaine piscicole. Licence pisciculture saharienne, Université Kasdi merbah Ouargla.

Bessedi, M, 2012. Traitement des eaux usées, Université Tlemcen.

Brock, T, Madigan, M.T et Martinko, J.M, 2007. Biologie des micro-organismes Cedebo, pp 135-192.

Chenini, A et Chaouche, O, 2016. Contribution à la désinfection des eaux usées traitées par l'utilisation de huile de cade : cas de la STEP de SAID OTBA Ouargla, Master traitement, épuration et gestion des eaux. Université Kasdi Merbah Ouargla.

La Loi 36.15 sur l'Eau. Les articles 64,65, 66...71

Libe, Y, 2019. Les eaux usées urbaines et leur épuration ; PDF.

Niang, S, 1995. Evacuation et traitement des eaux usées urbaines de Dakar : bilan de la situation, comportements des populations et perspectives d'avenir : premières contributions pour le choix d'un système de traitement des eaux usées urbaines de Dakar par Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels. Thèse de 3ème cycle en Sciences de l'Environnement : Dakar ; 90 p.

Ouartelli, S et Brahim, S, 2013. Contribution à l'étude de l'efficacité du traitement des eaux usées de la station d'épuration de corps gras de Bejaia (CO.G.B) la belle après ensemencement, Master en environnement et sécurité alimentaire, Université Abderrahmane Mira de Bejaia.

Pearson, H, 2005. Microbiology of waste stabilisation ponds. In : A. SHILTON (Ed.) : pp.14-48. Pond Treatment Technology. London : IWA Publishing

Rodier, J, 1996. Analyse de l'eau, Editions Dunod, 8ème Edition, 1383p.

Saadi, M et Lahmar, F.A, 2018. Évaluation de l'efficacité de la station d'épuration de GUELMA (N-ESTALGERIE), Master aménagement et ouvrages hydraulique.

Scheriver-Mazzouli, L, 2012. La gestion durable de l'eau (ressources-qualité) ; 2ème française, 1137p.

THOMAS.O, 1995. Météorologie des eaux résiduaires ; Ed. Cedeboc, 135p

Zeghoud, M, 2014. Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel d village de Méghibra , Master diagnostic et conception des systèmes d'AEP et d'assainissement, Université d'EL-OUED.