



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option: REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES

THEME :

**ÉTUDE DES PERFORMANCES ÉPURATOIRES DE LA
STATION D'ÉPURATION DES EAUX USÉES DE BÉNI
MESSOUS EN VUE DE SA RÉHABILITATION**

Présenté par :

ALLACHE Aymene

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
HACHEMI Abdelkader	M.C.A	Président
KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examineur
TAFAT Leila	M.A.A	Examineur
TOUIL Youcef	M.C.B	Examineur
BETATACHE Hayat	M.C.B	Promotrice

Remerciement

Je tiens à remercier chaleureusement Madame **Betatache Hayat**, ma promotrice et mon enseignante, ses conseils, ses orientations, et son accompagnement tout au long de ce travail ont vraiment contribué à la réalisation de ce mémoire.

Je la remercie également pour son engagement en tant qu'enseignante. Grâce à sa pédagogie et à sa disponibilité, j'ai pu renforcer mes connaissances tant dans le domaine de l'épuration des eaux usées que dans celui de la chimie des eaux.

J'adresse mes vifs remerciements aux membres du jury pour avoir consacré de leur temps à l'examen de mon travail et pour leurs commentaires précieux.

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à tous les enseignants de l'ENSH pour leur enseignement rigoureux, leur disponibilité constante et leur dévouement tout au long de mon parcours.

DÉDICACES

Je dédie ce modeste mémoire avant tout à mes chers parents, source inépuisable d'amour, de soutien et de courage. Leur présence constante à mes côtés, leurs encouragements, leurs sacrifices et leur confiance indéfectible m'ont permis d'avancer et de persévérer dans les moments les plus difficiles. Sans eux, ce travail n'aurait jamais pu voir le jour, et je leur serai éternellement reconnaissant.

Je dédie également ce mémoire à mes frères, Abdelmalek et Ayoub, qui ont toujours su m'apporter leur affection, leur compréhension et leur soutien moral. Leur présence représente pour moi une force et une motivation précieuses, et je leur adresse toute ma gratitude et mon amour.

Enfin, je souhaite dédier ce mémoire à tous mes amis rencontrés au cours de mon parcours universitaire. Leur amitié sincère, leurs encouragements et les moments partagés ont contribué à rendre ce chemin plus agréable et plus enrichissant. À chacun d'entre eux, je tiens à exprimer ma reconnaissance pour avoir été, d'une manière ou d'une autre, une source de motivation et d'inspiration dans l'accomplissement de ce travail

ملخص

تشهد الجزائر في السنوات الأخيرة نموًا سكانيًا متسارعًا، مما أدى إلى زيادة كبيرة في استهلاك الموارد، وعلى رأسها المياه. وقد ترتب على ذلك ارتفاع ملحوظ في كميات مياه الصرف الصحي، لا سيما في المناطق الحضرية الكبرى، وهو ما يشكل ضغطًا متزايدًا على البنية التحتية الخاصة بجمع ومعالجة هذه المياه. وتُعد محطة تصفية مياه الصرف الصحي ببني مسوس من بين أبرز المحطات التي تواجه هذا التحدي، نظرًا لأهميتها الاستراتيجية وموقعها الحيوي ضمن منطقة ذات كثافة سكانية مرتفعة.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم أداء محطة بني مسوس من خلال تحليل مدى فعاليتها في معالجة مياه الصرف، ومدى مطابقة المياه المعالجة للمعايير البيئية والصحية المعتمدة. كما تهدف إلى اقتراح مجموعة من الحلول التقنية والتنظيمية الكفيلة بتحسين جودة المعالجة، وضمان استدامة الخدمة في ظل التحديات المستقبلية المتوقعة.

الكلمات المفتاحية: معالجة مياه الصرف الصحي، بني مسوس، النمو السكاني، المعايير البيئية، استهلاك المياه

Résumé

L'Algérie connaît, ces dernières années, une croissance démographique rapide, entraînant une augmentation significative de la consommation des ressources, notamment en eau. Cette situation a conduit à une hausse notable des volumes d'eaux usées, en particulier dans les grandes agglomérations, exerçant ainsi une pression accrue sur les infrastructures de collecte et de traitement. La station d'épuration de Béni Messous constitue l'une des installations majeures confrontées à ce défi, en raison de son importance stratégique et de son emplacement dans une zone à forte densité de population.

La présente étude vise à évaluer les performances de la station de Béni Messous en analysant son efficacité dans le traitement des eaux usées, ainsi que la conformité des eaux traitées aux normes environnementales et sanitaires en vigueur. Elle a également pour objectif de proposer un ensemble de solutions techniques et organisationnelles susceptibles d'améliorer la qualité du traitement et d'assurer la pérennité du service face aux défis futurs.

Mots-clés : Traitement des eaux usées, Beni Messous, Croissance démographique, Normes environnementales, Consommation d'eau

Summary

In recent years, Algeria has experienced rapid population growth, resulting in a significant increase in resource consumption, particularly water. As a result, there has been a noticeable rise in the volume of wastewater, especially in large urban areas, putting considerable pressure on wastewater collection and treatment infrastructure. The Beni Messous wastewater treatment plant is one of the key facilities facing this challenge, due to its strategic location and the high population density of its surrounding area.

This study aims to assess the performance of the Beni Messous plant by analyzing its effectiveness in treating wastewater and the compliance of the treated water with current

environmental and health standards. It also seeks to propose a set of technical and organizational solutions to enhance treatment quality and ensure the sustainability of the service in the face of future challenges.

Keywords: Wastewater treatment, Beni Messous, Population growth, Environmental standards, Water consumption

SOMMAIRE

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX USÉES

I.1 Introduction.....	1
I.2 Les eaux usées.....	1
I.3 Caractéristiques des eaux usées	1
I.4 Sources de pollution des eaux usées	4
I.5 Traitement des eaux usées	5
I.6 Le traitement des boues	10
I.7 Réutilisation des eaux usées.....	11
I.8 Conclusion	14

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.1 Introduction	16
II.2 Situation géographique	16
II.3 Relief et Caractéristiques Topographiques	17
II.4 Géologie de la zone d'étude	17
II.5 Réseau hydrographique	18
II.6 Situation climatologique de la région	19
II.7 Conclusion.....	23

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DE LA STEP DE BÉNI MESSOUS

III.1 Introduction	26
III.2 Différents procédés de traitement des eaux usées à la STEP de béni Messous	27
III.3 Filière traitement des boues.....	35
III.4 Conclusion.....	36

CHAPITRE IV : ÉTUDE DES LA PERFORMANCES ÉPURATOIRES DE LA STEP

IV.1 Introduction	38
IV.2 Analyse des Débits Hydrauliques de la STEP	38
IV.3 Comparaison des paramètres physico-chimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP	40
IV.4 Ratio caractéristique des eaux usées urbaines.....	51
IV.5 Conclusion	53

CHAPITRE V : ESTIMATION DES DÉBITS ET DES CHARGES POLLUANTES

V.1 Introduction	55
V.2 Evaluation de la population.....	55
V.3 Estimation des débits.....	56
V.4 Estimation des charges polluantes.....	60

V.5 Étapes de traitement des eaux usées pour le redimensionnement à l'horizon.....	60
V.6 Conformité des rejets projetés de la STEP	62
V.7 Filière boues : procédés de traitement et valorisation à l'horizon.....	62
V.8 Recommandation Technique pour le Traitement Actuel.....	62
V.9 Conclusion.....	63

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DE L'EXTENSION À L'HORIZON 2055

VI.1 Introduction	65
VI.2 Dimensionnement des ouvrages de traitement des eaux usées	65
VI.3 Dimensionnement des ouvrages traitement des boues.....	78
VI.4 Conclusion	82

CHAPITRE VII : CALCUL HYDRAULIQUE

VII.1 Introduction.....	84
VII.2 Déversoir d'orage	84
VII.3 Profil hydraulique	86
VII.4 Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages	86
VII.5 Calcul des diamètres des conduites en PEHD	88
VII.6 Conclusion	89

CHAPITRE VIII : ORGANISATION DE CHANTIER

VIII.1 Introduction	91
VIII.2 Devis estimatif et quantitatif	91
VIII.3 Le cout du Béton Armé	92
VIII.4 Estimation des Couts du projet.....	93
VIII.5 Conclusion.....	95

CONCLUSION GÉNÉRALE.....	96
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	97

Liste des tableaux

Chapitre	Intitulé du tableau	Page
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	Tableau I.1 : Toxicités des métaux lourds les plus dangereux	3
	Tableau I.2 : La biodégradabilité des eaux usées	4
	Tableau I.3 : Vitesse de sédimentation de quelques matériaux	7
	Tableau I.4 : Avantages et inconvénients des procédés extensifs	11
	Tableau I.5 : Avantages et inconvénients des procédés intensifs	16
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	Tableau II.1 : Températures moyennes mensuelles	19
	Tableau II.2 : Données de pluviométrie mensuelle	20
	Tableau II.3 : Vitesse moyenne mensuelle du vent	21
	Tableau II.4 : Répartition mensuelle des jours de temps lourd à Aïn Benian	21
	Tableau II.5 : Projection de la population des communes de la zone d'étude pour les années 2025, 2040 et 2055	23
Chapitre III : Présentation de la STEP de Béni Messous	Tableau III.1 : Capacités hydrauliques des eaux usées brutes à la station de Béni Messous	26
	Tableau III.2 : Charges journalières des eaux usées brutes à la station de Béni Messous	26
Chapitre IV : Étude de la performance épuratoire de la STEP	Tableau IV.1 : Évolution mensuelle des MES et des taux d'abattement à la STEP en 2024	41
	Tableau IV.2 : Évolution mensuelle de la DCO et des taux d'abattement à la STEP en 2024	43
	Tableau IV.3 : Évolution mensuelle de la DBO ₅ et des taux d'abattement à la STEP en 2024	46
	Tableau IV.4 : Plage mensuelle du rapport DCO/DBO ₅ à l'entrée de la STEP en 2024	51
	Tableau IV.5 : Plage mensuelle du rapport MES/DBO ₅ à l'entrée de la STEP en 2024	52
Chapitre V : Estimation des débits et des charges polluantes	Tableau V.1 : Projection de la population des communes de la zone d'étude pour 2040 et 2055	56
	Tableau V.2 : Consommation journalière en eau domestique aux horizons 2040 et 2055	56
	Tableau V.3 : Résumé des débits calculés aux horizons 2040 et 2055	59
	Tableau V.4 : Charges polluantes pour l'horizon 2055	60

	Tableau V.5 : Comparaison des concentrations en sortie de la STEP avec les normes algériennes de rejet	62
Chapitre VI : Dimensionnement de l'extension à l'horizon 2055	Tableau VI.1 : Valeurs de vitesse limite de chute en fonction de K	66
	Tableau VI.2 : Récapitulatif des caractéristiques du décanteur primaire	66
	Tableau VI.3: Classes du procédé de traitement biologique à boues activées	67
	Tableau VI.4 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin d'aération	69
	Tableau VI.5 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin d'anoxie	70
	Tableau VI.6 : Paramètres pour le calcul de la nitrification	71
	Tableau VI.7: Valeurs moyennes des paramètres am et b	72
	Tableau VI.8 : Données de base pour le dimensionnement du clarificateur	74
	Tableau VI.9 : Récapitulatif des résultats de dimensionnement du clarificateur	75
	Tableau VI.10 : Propriétés physiques des fluides utilisés lors du rétro-lavage	76
	Tableau VI.11 : Données de base pour le dimensionnement du bassin UV	77
	Tableau VI.12 : Dimensionnement du réacteur UV	78
	Tableau VI.13 : Dimensionnement de l'épaississeur	79
	Tableau VI.14 : Dimensionnement du digesteur anaérobie	80
	Tableau VI.22 : Résumé de dimensionnement du filtre-presse à bandes	81
Chapitre VII : Calcul hydraulique	Tableau VII.1 : Cotes altimétriques des ouvrages	86
	Tableau VII.2 : Longueurs réelles et longueurs équivalentes des conduites inter-ouvrages	87
	Tableau VII.3 : Cotes et charges hydrauliques des ouvrages de l'extension de la STEP	88
	Tableau VII.4 : Pertes de charge dans les tronçons	88
	Tableau VII.5 : Diamètres calculés et diamètres retenus	89

Chapitre VIII : Organisation de chantier	Tableau VIII.1 : Estimation des surfaces, volumes et coûts des ouvrages de l'extension de la STEP	92
	Tableau VIII.2 : Volumes et coûts du béton armé	93
	Tableau VIII.3 : Récapitulatif du coût d'investissement (CAPEX)	93
	Tableau VIII.4 : Récapitulatif des charges annuelles (OPEX)	94
	Tableau VIII.5 : Récapitulatif du coût total du projet	94

Liste des figures

Chapitre	Intitulé de la figure	Page
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	Figure I.1 : Schéma de fonctionnement d'un poste de relevage avec dégrillage en station d'épuration	6
	Figure I.2 : Schéma de fonctionnement du dessableur, déshuileur	7
	Figure I.3 : Schéma de fonctionnement du clarificateur et du réacteur biologique en station d'épuration	8
	Figure I.4 : Schéma de fonctionnement d'un épaisseur de boues en station d'épuration	11
	Figure I.5 : Rôle du traitement, de la récupération et des installations de réutilisation des eaux usées dans le cycle hydrologique (Adapté de Asano et Levine, 1996)	11
	Figure I.6 : Systèmes de traitement sol-aquifère avec récupération de l'eau rénovée	16
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude	Figure II.1 : Carte de la Commune d'Aïn Benian, Wilaya d'Alger	16
	Figure II.2 : Carte Topographique de la Zone d'Étude – Commune d'Aïn Benian, Wilaya d'Alger	17
	Figure II.3 : Carte réseau hydrographique de la Wilaya d'Alger	18
	Figure II.4 : Variation mensuelle des températures : maximale, moyenne et minimale	19
	Figure II.5 : Courbe des précipitations mensuelles	20
	Figure II.6 : Moyenne des précipitations mensuelles	20
	Figure II.7 : Courbe de vitesse de vent mensuelle	21
	Figure II.8 : Répartition mensuelle des jours de temps lourd	22
Chapitre III : Présentation de la STEP de Béni Messous	Figure III.1 : Vue satellite de la station d'épuration de Béni Messous	25
	Figure III.2 : Photo du dégrilleur grossier	27
	Figure III.3 : Photo du dégrilleur fin	27
	Figure III.4 : Photo du canal de dessablage / déshuileur Tranche 1	28
	Figure III.5 : Photo du canal de dessablage / déshuileur Tranche 2	28
	Figure III.6 : Photo du décanteur primaire Tranche 1	29
	Figure III.7 : Photo du décanteur primaire Tranche 2	29
	Figure III.8 : Vue de l'ensemble du bassin d'aération Tranche 1	30
	Figure III.9 : Vue de l'ensemble du clarificateur	31
	Figure III.10 : Surverse d'un clarificateur	32

	Figure III.11 : Vis de recirculation Tranche 1	32
	Figure III.12 : Vis de recirculation Tranche 2	32
	Figure III.13 : Filtre à sable hors service	33
	Figure III.14 : Canal de désinfection	34
Chapitre IV : Étude de la performance épuratoire de la STEP	Figure IV.1 : Comparaison des débits mensuels moyens entrants à la STEP de Béni Messous avec le débit nominal (2024)	37
	Figure IV.2 : Comparaison des débits mensuels moyens entrants et sortants de la STEP de Béni Messous (2024)	38
	Figure IV.3 : Comparaison des concentrations moyennes mensuelles en MES à l'entrée et à la sortie de la STEP de Béni Messous (2024)	41
	Figure IV.4 : Évolution mensuelle des concentrations en DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP de Béni Messous (2024)	43
	Figure IV.5 : Évolution mensuelle des concentrations en DBO ₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Béni Messous (2024)	46
	Figure IV.6 : Évolution mensuelle des concentrations en azote total à l'entrée de la STEP de Béni Messous (2024)	47
	Figure IV.7 : Évolution mensuelle des concentrations en phosphore total à l'entrée de la STEP de Béni Messous (2024)	48
	Figure IV.8 : Évolution mensuelle du pH à l'entrée de la STEP de Béni Messous (2024)	49

Liste des Planches :

- Planche **01** : Plan de situation de la STEP de Béni Messous
- Planche **02** : Plan des ouvrages de l'extension de la STEP de Béni Messous
- Planche **03** : Épaississeur des boues
- Planche **04** : Plan de situation de l'extension de la STEP de Béni Messous

Introduction générale

Les stations d'épuration des eaux usées (STEP) sont indispensables pour protéger l'environnement et gérer efficacement les ressources en eau. Leur rôle ne se limite pas à garantir une qualité d'eau conforme aux normes avant son rejet dans le milieu naturel, elles permettent également la réutilisation des eaux traitées pour l'agriculture, l'industrie ou les usages domestiques.

Elles contribuent à la protection de la santé publique en éliminant les pathogènes présents dans les eaux usées. Elles assurent également une gestion efficace des boues d'épuration, qui peuvent être utilisées pour l'irrigation, elles contribuent à l'économie circulaire en récupérant certaines ressources précieuses. Cette approche permet d'optimiser la gestion des déchets tout en réduisant leur impact environnemental. Cependant, l'urbanisation accélérée et l'évolution des normes environnementales posent des défis croissants aux STEP. Prenons l'exemple de celle de Beni Messous, située dans la wilaya d'Alger. Cette installation doit composer avec une hausse significative de la population et des activités industrielles, ce qui engendre une pression accrue sur la qualité des eaux à traiter, menaçant à terme son efficacité et sa pérennité.

La localité de Beni Messous, en pleine expansion, illustre parfaitement ces défis. Située à l'ouest de la capitale algérienne, cette zone connaît un développement démographique et économique soutenu, avec un afflux important de nouveaux résidents et une intensification des activités industrielles et commerciales. Cette dynamique exerce une demande accrue sur les infrastructures, notamment en matière de traitement des eaux usées.

Ce mémoire a pour objectif principal d'analyser les performances actuelles de la station d'épuration de Beni-Messous et de proposer des solutions de redimensionnement adaptées à ses besoins spécifiques. Il s'agira notamment de diagnostiquer les causes de la saturation et de l'augmentation des charges polluantes, de suggérer des améliorations techniques (comme l'accroissement de la capacité de traitement et la valorisation des eaux épurées pour l'irrigation) et d'évaluer les impacts économiques et environnementaux de ces propositions.

Des recommandations seront formulées pour une gestion durable et optimisée, tenant compte des besoins présents et futurs.

CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX USÉES

I.1 Introduction

Les eaux usées représentent un enjeu majeur pour la préservation de l'environnement et de la santé publique. Elles contiennent une diversité de polluants susceptibles de perturber les écosystèmes aquatiques et terrestres, menaçant ainsi la biodiversité, la qualité des ressources naturelles et la vie humaine.

Dans ce chapitre, nous examinerons les aspects clés des eaux usées, de leur définition à leurs impacts sur les écosystèmes, en passant par les types de polluants qu'elles contiennent. Nous aborderons également les enjeux et perspectives de la réutilisation des eaux usées traitées

I.2 Les eaux usées

Les eaux usées sont une combinaison de déchets liquides provenant de diverses sources, comprenant :

- ❖ **Les déchets liquides domestiques** : évacués des foyers, résidences, bâtiments commerciaux et institutions, ils incluent les eaux grises (lavabos, douches, machines à laver) et les eaux noires (Caractéristiques des eaux usées toilettes). [1]
- ❖ **Les déchets liquides industriels** : issus des établissements industriels, ils peuvent contenir des substances chimiques, des métaux lourds, des hydrocarbures ou d'autres polluants spécifiques à l'activité industrielle. [1]
- ❖ **Les eaux parasites** : ce sont des eaux souterraines, des eaux de surface et des eaux pluviales qui s'infiltrant ou sont admises dans les réseaux d'égouts. [1]

I.3 Caractéristiques des eaux usées

I.3.1 Caractéristiques physiques

- **Température** : La température de l'eau varie selon les saisons et le type de procédé de traitement. Elle est influencée par les conditions climatiques et les sources d'eaux usées. Certains traitements modifient également cette température au cours du processus. [2]
- **La couleur** : L'eau apparaît colorée en raison de l'absorption de la lumière visible par les matières organiques dissoutes et de la dispersion de la lumière par les particules en suspension [3]
- **La turbidité** : représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée,

dans les eaux, par la présence de matières en suspension fines, comme les argiles et les limons. [4]

- **Les matières en suspension** : constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiment arrachées par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues). [4]
- **Odeur** : Les mauvaises odeurs des eaux usées résultent de la décomposition de matières organiques, générant des composés soufrés, azotés, acides et carbonylés. L'hydrogène sulfuré (H_2S) et l'ammoniac (NH_3) sont parmi les principaux responsables, avec des odeurs d'œuf pourri et piquante. [5]

I.3.2 Caractéristiques chimique

- ❖ **La Demande Biochimique en Oxygène (DBO)** : est la quantité d'oxygène, que les bactéries consomment dans l'eau lorsqu'elles oxydent la matière organique. La mesure de la Demande Biochimique en Oxygène est le principal moyen de déterminer le degré de pollution de l'eau. C'est le paramètre le plus important dans l'exploitation d'une station d'épuration des eaux usées. [6]
- ❖ **La demande biologique en oxygène au bout de 5 jours (DBO5)** : est la quantité d'oxygène utilisée en 5 jours par les micro-organismes pour oxyder la matière organique. Onensemence l'effluent et on le sature en oxygène, puis au bout de 5 jours on mesure la quantité d'oxygène consommée. [7]
- ❖ **La Demande Chimique en Oxygène (DCO)** : est un indicateur essentiel pour évaluer la pollution organique d'une eau. Elle représente la quantité de dioxygène requise pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes, principalement organiques, dans des conditions normalisées. Exprimée en mg/L de dioxygène, elle est équivalente à la quantité de dichromate consommée lors du traitement de l'échantillon. [8]
- ❖ **Le pH** : représente l'activité des ions hydrogène dans l'eau et constitue un paramètre important en analyse des eaux en raison de son impact sur les équilibres physico-chimiques. Dans le traitement des eaux usées, il influence des processus tels que la neutralisation acido-basique, la floculation, la précipitation, l'adoucissement et la désinfection. [9]

- ❖ **Les nutriments** : sont des substances essentielles à la croissance et au métabolisme des organismes vivants. Ils fournissent les éléments de base nécessaires à la synthèse cellulaire et au bon déroulement des réactions biochimiques. Chez les bactéries anaérobies, ces nutriments sont classés en macronutriments, requis en grande quantité, et en micronutriments, nécessaires en plus petites proportions mais tout aussi indispensables. [10]
 - Les principaux macronutriments comprennent l'azote (N), le phosphore (P) et le soufre (S). [10]
 - Les micronutriments sont des éléments requis en petites quantités par les bactéries anaérobies pour assurer leur croissance et le bon déroulement des processus métaboliques. [10]
- ❖ **Les métaux lourds** : sont généralement définis comme des éléments dont la densité dépasse 5 g par centimètre cube. La plupart des éléments appartenant à cette catégorie sont hautement solubles dans l'eau, bien connus pour leur toxicité et leurs effets cancérigènes. [11]

Tableau I.1: Toxicités des métaux lourds les plus dangereux*(Babel et Kurniawan,2003). [11]*

Métal lourd	Toxicités
Arsenic	Manifestations cutanées, cancers viscéraux, maladies vasculaires
Cadmium	Lésions rénales, troubles rénaux, cancérigène humain
Chrome	Maux de tête, diarrhée, nausées, vomissements, cancérigène
Cuivre	Lésions hépatiques, maladie de Wilson, insomnie
Nickel	Dermatite, nausées, asthme, toux, cancérigène humain
Zinc	Dépression, léthargie, signes neurologiques et atteinte du système nerveux
Plomb	Lésions cérébrales, maladies des reins, du système circulatoire et du système nerveux
Mercure	Polyarthrite rhumatoïde, maladies des reins, atteinte du système nerveux et circulatoire

- ❖ **Substances toxiques** : Incluent des composés organiques tels que les pesticides, les hydrocarbures et les solvants, pouvant provenir de diverses activités humaines. Les pesticides sont des substances chimiques utilisées en agriculture pour lutter contre les ravageurs, les maladies causées par des micro-organismes et les mauvaises herbes.

Leur action peut se faire par contact, ingestion ou d'autres modes d'exposition durant la croissance des plantes. En plus de protéger les cultures sur le champ, ils jouent un rôle dans la conservation et le stockage des produits agricoles. Toutefois, leur utilisation est parfois limitée en raison des risques environnementaux et de l'apparition de résistances. Une alternative plus sûre repose sur les bio pesticides, qui utilisent des micro-organismes bénéfiques pour un contrôle efficace et respectueux de l'environnement. [12]

I.3.3 Caractéristiques biologiques

Les eaux usées contiennent une diversité de micro-organismes, parmi lesquels se trouvent des bactéries, des virus, des protozoaires et des helminthes. Certains de ces micro-organismes sont bénéfiques, notamment ceux impliqués dans la dégradation des polluants, tandis que d'autres, comme les agents pathogènes, représentent un risque pour la santé humaine. Ces pathogènes peuvent être transmis par l'eau, entraînant des maladies d'origine hydrique. Leur présence dans les eaux usées provient principalement des rejets domestiques et industriels, et leur élimination est un enjeu majeur du traitement des eaux usées. [13]

I.4 Sources de pollution des eaux usées

Les eaux usées sont contaminées par diverses sources de pollution, qui peuvent être classées en trois grandes catégories : domestique, industrielle et agricole. Chacune de ces sources contribue à la dégradation de la qualité de l'eau et nécessite un traitement spécifique pour limiter leur impact environnemental et sanitaire.

I.4.1 Pollution d'origine domestique

Les eaux usées domestiques proviennent des activités quotidiennes des ménages, telles que l'hygiène, la cuisine et le nettoyage. Elles se divisent en eaux ménagères, riches en détergents, graisses et solvants, et en eaux vannes, issues des toilettes, contenant des matières organiques azotées et des germes fécaux. En milieu urbain, ces eaux sont collectées par le réseau d'assainissement et mélangées aux rejets industriels et commerciaux, incluant divers polluants comme les hydrocarbures, les produits toxiques et les résidus hospitaliers. [14]

I.4.2 Pollution d'origine industrielle

L'essor des industries modernes a généré des rejets polluants massifs et variés. Chaque secteur industriel produit des effluents spécifiques, nécessitant un traitement adapté avant leur rejet

dans l'environnement. Les eaux industrielles peuvent contenir des métaux lourds, des solvants chimiques et des colorants, comme dans le cas de l'industrie textile, particulièrement polluante. Sans traitement adéquat, ces rejets altèrent la qualité des eaux de surface et souterraines, entraînant des conséquences écologiques et sanitaires importantes. [14]

I.4.3 Pollution d'origine agricole

L'agriculture, l'élevage et l'aquaculture sont des sources majeures de pollution diffuse.

L'utilisation excessive d'engrais et de pesticides contribue à la contamination des eaux par des nitrates et des phosphates, favorisant l'eutrophisation des milieux aquatiques. L'érosion des sols entraîne également le dépôt de sédiments dans les cours d'eau, tandis que les effluents d'élevage, riches en matières organiques et en agents pathogènes, peuvent contaminer les eaux souterraines et de surface. [14]

I.5 Traitement des eaux usées

Le traitement de l'eau vise à conditionner, modifier ou éliminer les impuretés indésirables pour fournir une eau sûre, agréable au goût et conforme aux réglementations. Si les contaminants dépassent les niveaux maximaux autorisés, un traitement est requis. Les sources influencées par les eaux de surface doivent être traitées, même en l'absence de contamination avérée. Certaines impuretés affectent les qualités esthétiques de l'eau (goût, odeur, couleur, dureté) et peuvent nécessiter un traitement si elles dépassent les seuils établis. Les eaux souterraines peuvent présenter divers problèmes nécessitant un traitement, tels que la contamination bactériologique, les odeurs de sulfure d'hydrogène, la dureté, la corrosion et la présence de fer et de manganèse. [15]

I.5.1 Le prétraitement

Le prétraitement de l'eau, désigne tout processus physique, chimique ou mécanique appliqué avant les traitements principaux. Il inclut le dégrillage, la pré sédimentation et l'ajout de produits chimiques. Son objectif est d'éliminer les goûts et odeurs, le fer, le manganèse, et les gaz dissous comme le sulfure d'hydrogène.

Les procédés utilisés incluent l'oxydation (chlore, permanganate de potassium, ozone), l'ajout de charbon actif, l'aération et la pré sédimentation. Le prétraitement permet d'éliminer certains composants qui perturbent les installations de traitement. [15]

- **Le dégrillage** est généralement la première étape du prétraitement de l'eau. Il consiste à éliminer les débris de grande taille et les matières en suspension avant leur entrée dans la station de traitement. L'élimination des débris est essentielle pour éviter

d'endommager les équipements en aval (pompes, canalisations), de perturber l'écoulement hydraulique et d'augmenter la consommation de produits chimiques. [15]

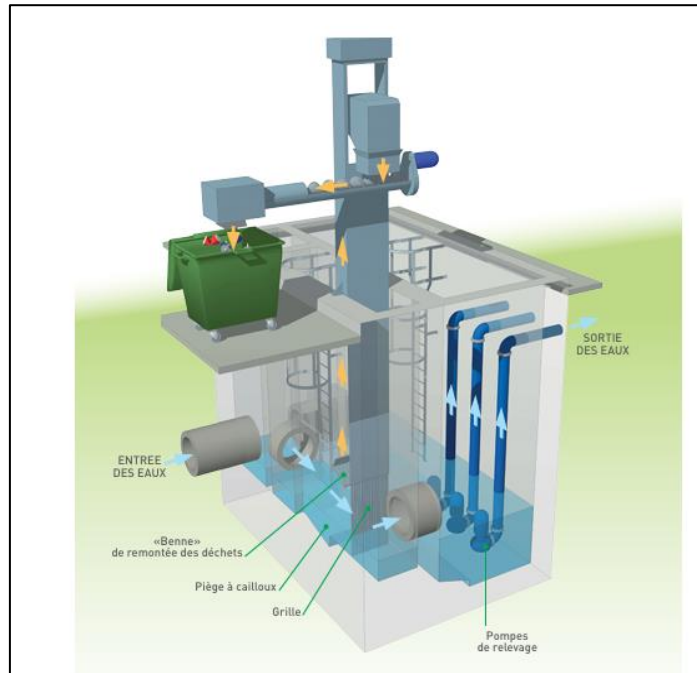


Figure I.1 : Schéma de fonctionnement d'un poste de relevage avec dégrillage en station d'épuration. [16]

- **Le dessablage** est une étape essentielle du prétraitement des eaux usées. Il vise à éliminer les particules minérales lourdes comme le sable et la terre qui pourraient endommager les pompes et s'accumuler dans les bassins de traitement. Ce processus repose sur la différence de densité entre l'eau et les particules solides, permettant à ces dernières de se déposer au fond des bassins de dessablage. [15]
- **Le déshuilage** a pour but d'extraire les huiles et graisses présentes dans l'eau. Ce procédé repose sur la flottation, qui peut être favorisée soit par l'injection de fines bulles d'air, soit par simple séparation statique. Les graisses et huiles, plus légères que l'eau, remontent à la surface, où elles sont éliminées par un système de raclage. Cette étape est cruciale pour éviter l'encrassement des équipements en aval et améliorer l'efficacité du traitement biologique. [15]

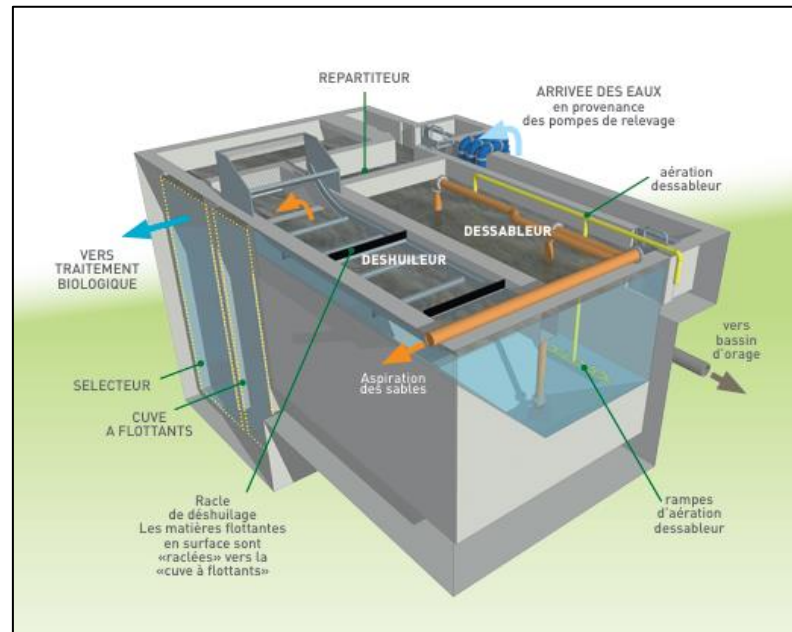


Figure I.2 : Schéma de fonctionnement du dessableur, déshuileur.

- **La décantation primaire** permet la séparation des matières en suspension par gravité. L'eau est dirigée vers un bassin où les particules solides les plus lourdes se déposent progressivement au fond sous forme de boues. Ces boues sont ensuite collectées et évacuées par un système de pompage. Cette phase réduit considérablement la charge polluante de l'eau avant qu'elle ne subisse un traitement biologique plus poussé. [15]

I.5.2 Traitement primaire

- **La coagulation et la floculation** sont des étapes essentielles de purification de l'eau, permettant d'éliminer les particules, la matière organique et les micro-organismes. La coagulation consiste à ajouter des sels de fer ou d'aluminium à l'eau pour destabiliser les particules en suspension et former un floc qui pourra être éliminé par décantation et filtration. [16]
- **La centrifugation** est employée pour les rejets fortement chargés en MES et ayant une faible vitesse de décantation. [15]
- **La sédimentation, ou clarification**, est un processus qui permet l'élimination des matières solides en suspension par gravité après la coagulation et la floculation. L'eau circule lentement dans un bassin de décantation pour favoriser le dépôt des particules sous forme de boues.

Différents types de bassins existent (rectangulaires, à alimentation centrale ou périphérique, en spirale), et la durée de rétention varie de 2 à 6 heures selon plusieurs facteurs (poids des floccs, température, stabilité du bassin). [15]

I.5.3 Le Traitement Secondaire

Le traitement secondaire élimine les matières en solution dans l'eau (matières organiques, substances minérales...). Deux types de traitements sont utilisés : les traitements biologiques sont appliqués aux matières organiques (biodégradables) ; les traitements physico-chimiques aux matières non organiques.

- **Le traitement biologique** repose sur l'utilisation de micro-organismes capables de dégrader la pollution organique présente dans les eaux usées. Ce processus imite le phénomène d'autoépuration naturelle observé dans les rivières.

❖ Le Fonctionnement du Traitement Biologique :

Les eaux sont dirigées vers un bassin de traitement biologique où se développent des cultures de micro-organismes spécialisés. Ces derniers se nourrissent des matières organiques dissoutes et les transforment en boues biologiques.

Pour optimiser ce processus, deux éléments sont essentiels :

- **L'apport d'oxygène** : Un brassage mécanique ou une injection d'air favorise la prolifération des bactéries, qui utilisent l'oxygène pour dégrader la pollution organique en gaz carbonique (CO_2) et en eau (H_2O).
- **Le temps de réaction** : Plus l'eau reste longtemps dans le bassin biologique, plus les micro-organismes ont de temps pour dégrader efficacement les Polluants. [15]

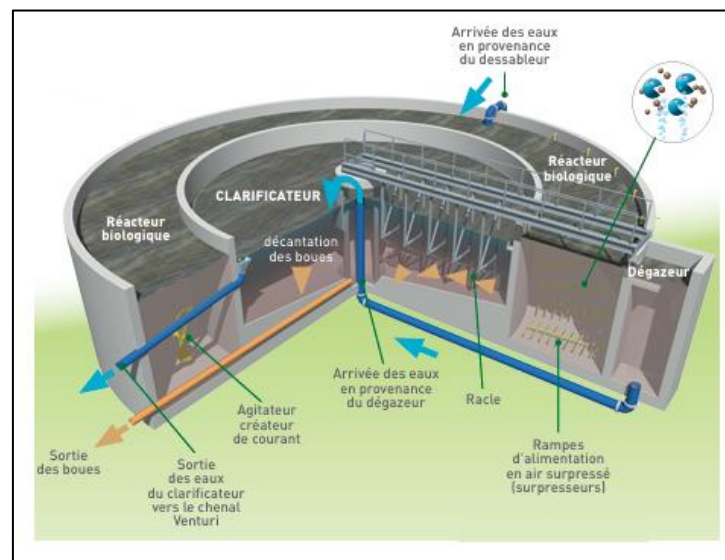


Figure I.3 : Schéma de fonctionnement du clarificateur et du réacteur biologique en station d'épuration [16]

- **La Décantation Secondaire** : Une fois que les micro-organismes ont aggloméré les polluants sous forme de boues, ces dernières sont séparées de l'eau grâce à un bassin de décantation secondaire. Ce procédé permet de clarifier l'eau avant qu'elle ne passe à l'étape suivante du traitement.

Les boues recueillies sont ensuite envoyées vers une filière de traitement des boues, où elles peuvent être stabilisées, séchées et parfois réutilisées comme fertilisant ou valorisées énergétiquement. [15]

I.5.4 Le Traitement Tertiaire des Eaux Usées

Le traitement tertiaire constitue une dernière étape de purification des eaux usées après le traitement secondaire. Bien que les eaux épurées puissent être rejetées directement dans le milieu naturel après l'étape biologique.

- **La Filtration Avancée** : Elle permet de capturer les particules encore présentes dans l'eau après la décantation secondaire. Plusieurs types de filtres sont utilisés :
 - **Filtres à sable**, qui retiennent les particules en suspension restantes.
 - **Filtres à charbon actif**, qui éliminent les micropolluants et les substances organiques résiduelles (pesticides, résidus médicamenteux...).
 - **Ultrafiltration et nano filtration**, utilisées pour des exigences très strictes en matière de pureté de l'eau. [15]
- **L'Élimination des Nutriments** Certains composés, comme les nitrates et phosphates, favorisent l'eutrophisation des milieux aquatiques. Deux procédés permettent leur élimination :
 - **Le traitement biologique complémentaire**, avec des bactéries spécifiques qui transforment les nitrates en azote gazeux.
 - **La précipitation chimique**, qui consiste à ajouter des réactifs pour éliminer le phosphore sous forme de boues. [15]
- **La désinfection** est essentielle lorsque l'eau est rejetée dans des zones sensibles (plages, élevages de coquillages...) ou lorsqu'elle est destinée à un usage spécifique. Différentes méthodes peuvent être employées :
 - **Chloration** : injection de chlore pour éliminer les bactéries et virus.
 - **Ozonation** : utilisation de l'ozone, un puissant désinfectant, qui détruit les germes pathogènes sans laisser de résidus chimiques.
 - **Ultraviolets (UV)** : exposition de l'eau à des rayons UV qui détruisent les micro-organismes sans ajout de produits chimiques. [15]

- Le lagunage naturel consiste à faire séjourner pendant une longue durée les rejets dans des bassins successifs de grande étendue (ressemblant à des étangs) et de faible profondeur (environ 1 m). Cela permet de favoriser le développement des micro-algues qui apportent l'oxygène nécessaire aux bactéries assurant l'épuration. [15]

I.6 Le traitement des boues

Après le traitement des eaux usées, les boues issues du processus d'épuration doivent être gérées de manière efficace afin de réduire leur volume et d'en assurer une valorisation ou une élimination appropriée. Selon leur destination, elles peuvent subir un traitement spécifique.

I.6.1 Epaississement

L'épaississement est généralement la première étape du traitement des boues. C'est un procédé simple, consommant peu d'énergie. Il sert principalement à réduire le volume des boues brutes et constitue une étape préalable aux traitements suivants. Le taux de siccité obtenu peut atteindre jusqu'à 10% de MS. Quelle que soit la technique utilisée, l'eau récupérée doit être recyclée en tête de station.

Diverses méthodes sont utilisées pour épaissir les boues :

- Epaississement gravitaire : la décantation (ou sédimentation)
- Epaississement dynamique : - la flottation, - la centrifugation - un système de drainage (gilles et table d'égouttage) [17]

I.6.2 Déshydratation et conditionnement

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues sur les boues épaissies, stabilisées ou non, afin d'obtenir une siccité des boues plus poussée (en moyenne comprise entre 20 et 30 % selon la nature des boues). La déshydratation présente plusieurs avantages : elle facilite le stockage et réduit donc le coût du transport, elle améliore la stabilisation (temps de séjour augmenté) et facilite une utilisation en agriculture. [17]

I.6.3 Séchage Le séchage

Est une opération unitaire du traitement des boues consistant à évaporer de l'eau libre et liée. Plusieurs techniques de séchage sont envisageables

- Lit de séchage : Séchage solaire- Lit de sable- Lagune de séchage
- Séchage thermique : Séchage direct- Séchage indirect [17]

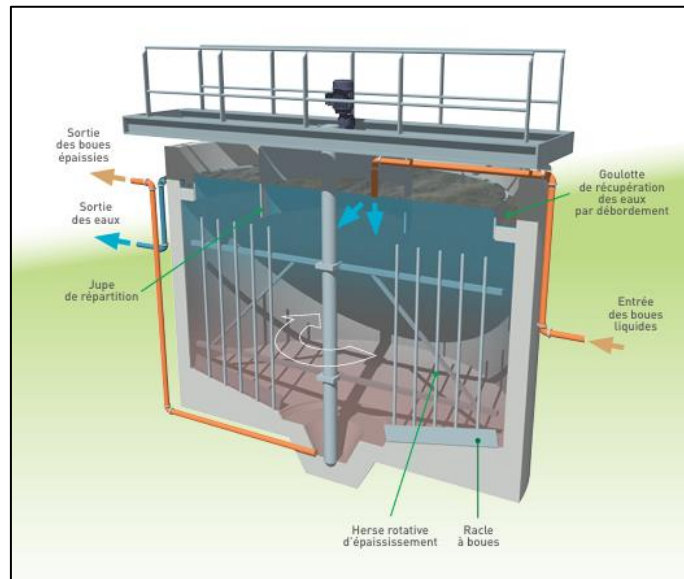


Figure I.4 : Schéma de fonctionnement d'un épaisseur de boues en station d'épuration. [16]

I.7 Réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées, également appelée réutilisation des eaux usées traitées (REUT), consiste à recycler les eaux usées après un traitement approprié afin de leur donner une seconde vie. Cette pratique permet de réduire la consommation d'eau potable et de préserver les ressources en eau, notamment dans les régions sujettes au stress hydrique.

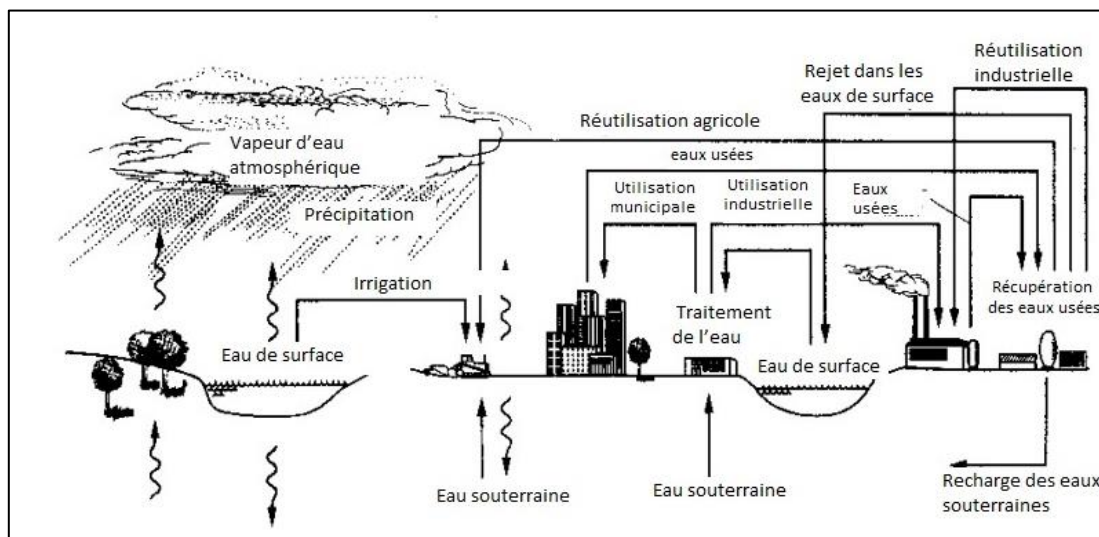


Figure I.5 : Le rôle du traitement, de la récupération et des installations de réutilisation des eaux usées dans le cycle hydrologique (Adapté de Asano et Levine, 1996.) [18]

I.7.1 La Réutilisation en Agriculture

L'irrigation agricole constitue la principale application de la réutilisation des eaux usées traitées, offrant une solution durable pour la gestion des ressources en eau. Cette pratique permet d'alimenter les terres agricoles avec des volumes importants d'eau recyclée, représentant une part significative de l'utilisation nationale. Elle contribue à préserver les ressources en eau potable et à garantir un approvisionnement stable pour l'agriculture, réduisant ainsi la pression sur les nappes phréatiques et les cours d'eau naturels. Toutefois, la réutilisation en agriculture nécessite un traitement rigoureux des eaux usées afin de protéger la santé publique et l'environnement, assurant ainsi la qualité et la sécurité des productions agricoles. [19]

I.7.2 Réutilisation industrielle

L'utilisation de l'eau industrielle comprend des usages tels que le traitement, le lavage et le refroidissement dans les installations de fabrication de produits. Les principales industries consommatrices d'eau incluent l'acier, la chimie et les produits connexes, le papier et les produits associés, ainsi que le raffinage du pétrole.

Les utilisations industrielles de l'eau récupérée provenant de sources externes, telles que les eaux usées municipales traitées, incluent l'eau de refroidissement par évaporation, l'eau d'alimentation des chaudières, l'eau de procédé, ainsi que l'aménagement paysager et l'entretien des terrains industriels. Le recyclage de l'eau à l'intérieur d'une usine industrielle fait généralement partie intégrante du processus industriel, et l'eau traitée et récupérée est recyclée pour économiser l'eau et éviter des exigences de rejet strictes. [18]

I.7.3 Recharge des eaux souterraines avec de l'eau traitée

La recharge des eaux souterraines a été utilisée pour réduire, stopper, voire inverser le déclin des niveaux d'eau souterraine. Elle permet également de protéger l'eau douce souterraine dans les aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée provenant de l'océan et de stocker l'eau de surface, y compris les eaux de crue ou d'autres surplus d'eau, ainsi que l'eau traitée pour une utilisation future.

La recharge des eaux souterraines est également réalisée de manière incidente dans les systèmes de traitement des terres et d'élimination des eaux usées municipales et industrielles par percolation et infiltration. [18]

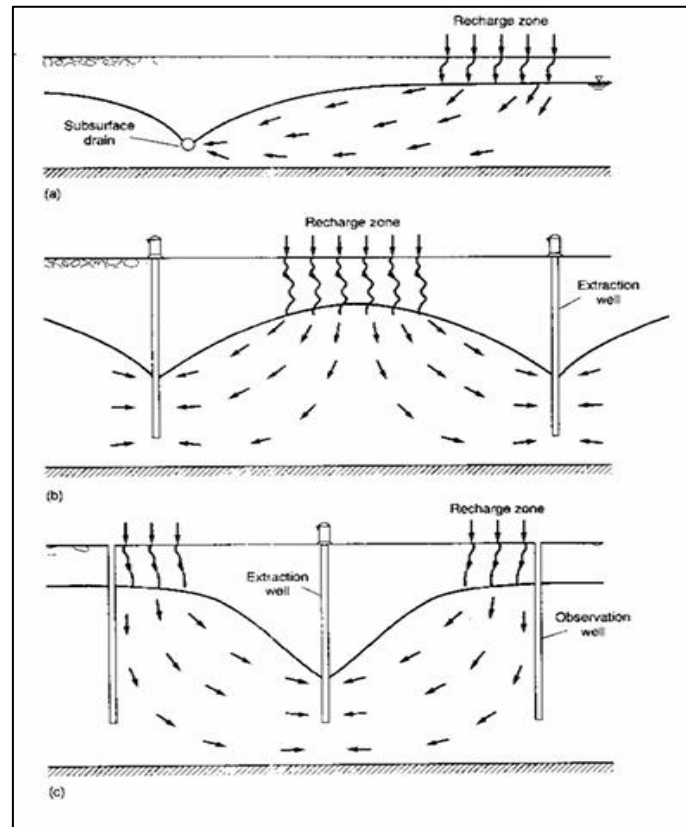


Figure I.6 : systèmes de traitement sol-aquifère avec récupération de l'eau renouvelée. [18]

I.7.4 Réutilisation planifiée de l'eau potable, directe et indirecte

Avec l'attention croissante portée à la qualité de l'eau potable, de nombreuses recherches se concentrent sur la réutilisation planifiée de l'eau potable, qu'elle soit directe ou indirecte. Trois catégories de contaminants sont particulièrement préoccupantes dans la réutilisation et la régénération de l'eau potable :

- Les virus entériques,
- Les composés organiques, y compris les produits chimiques industriels ainsi que les produits ménagers et médicaux,
- Les métaux lourds.

La réutilisation de l'eau est devenue un enjeu majeur face à la croissance démographique, la pollution des ressources hydriques et les sécheresses accrues. Elle permet de préserver l'eau potable en utilisant les eaux usées traitées pour des usages bénéfiques tout en réduisant la pollution des milieux aquatiques. Cependant, sa mise en œuvre soulève plusieurs défis, notamment le respect des normes de qualité, la protection de la santé publique et l'acceptation sociale. Une planification rigoureuse et une sensibilisation du public sont essentielles pour assurer son adoption et son efficacité en tant que solution durable à la gestion des ressources en eau. [18]

I.8 Conclusion

L'eau est une ressource précieuse lorsqu'elle est polluée par des activités domestiques, industrielles et agricoles, nécessite un traitement rigoureux avant d'être rejetée ou réutilisée. Ce chapitre a permis de présenter les caractéristiques des eaux usées, leurs sources de pollution et les différentes étapes de leur traitement.

Le processus de traitement des eaux usées comprend plusieurs niveaux : le prétraitement, le traitement primaire, secondaire et tertiaire, chacun jouant un rôle essentiel dans l'élimination des polluants physiques, chimiques et biologiques. Par ailleurs, la gestion des boues résiduelles issues du traitement des eaux usées constitue un enjeu majeur, nécessitant des techniques d'épaississement, de déshydratation et de séchage afin d'en faciliter l'élimination ou la valorisation.

La réutilisation des eaux usées traitées représente une alternative durable pour la préservation des ressources en eau, notamment en agriculture, en industrie et même pour la recharge des nappes phréatiques. Cependant, ces pratiques doivent respecter des normes strictes afin d'éviter tout risque sanitaire ou environnemental.

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II.1 Introduction

La compréhension précise de la zone d'étude est importante pour évaluer les défis liés à l'étude de performance de la station d'épuration en vue de sa réhabilitation. La zone d'étude couvre la station d'épuration située à Aïn Benian, administrativement rattachée à la commune de Beni Messous

Ce chapitre présentera aussi en détail la station d'épuration, en mettant en évidence ses caractéristiques techniques et en décrivant chaque étape du processus de traitement des eaux usées. Cette analyse permettra de mieux cerner les contraintes et les enjeux spécifiques associés à son fonctionnement.

II.2 Situation géographique

Aïn Benian est située dans le nord de l'Algérie, au sein de la wilaya d'Alger, à environ 20 km à l'ouest du centre-ville d'Alger. Elle se trouve entre les coordonnées géographiques de 36,50° de latitude Nord et 2,92° de longitude Est.

La commune est bordée au nord par la mer Méditerranée, offrant un littoral constitué de plages sableuses et de rochers. Elle est délimitée à l'est par la commune de Bouzaréah, à l'ouest par Staoueli et au sud par Chéraga.

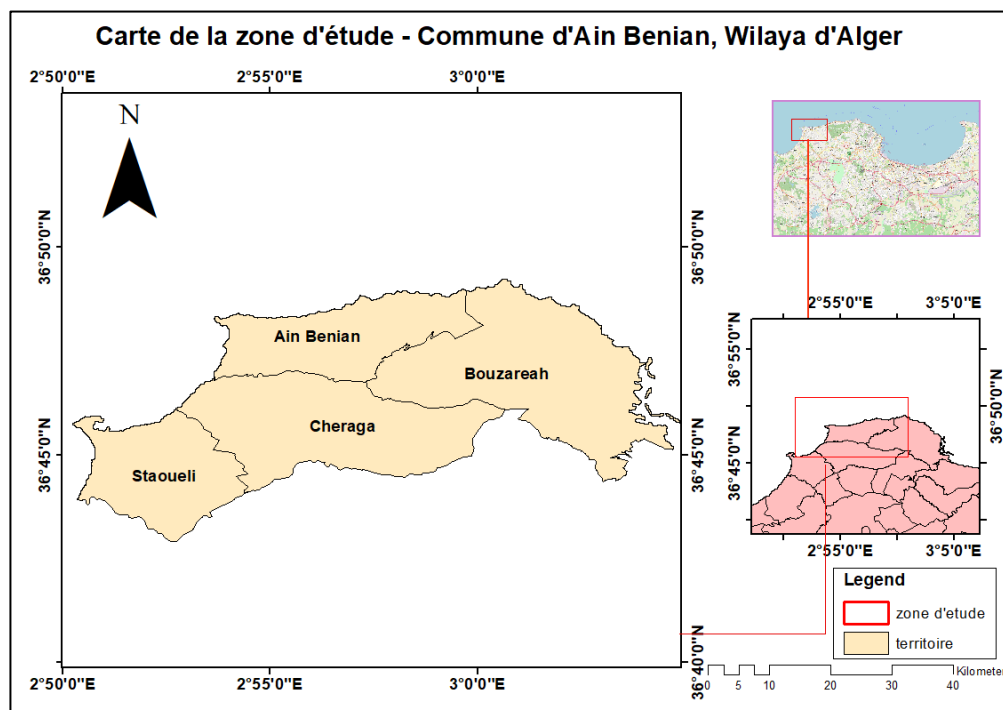


Figure II.1 : Carte de la Commune d'Aïn Benian, Wilaya d'Alger (ArcGIS)

II.3 Relief et Caractéristiques Topographiques

La commune d'Aïn Benian, située à l'ouest de la capitale Alger, présente un relief varié, allant de -2 mètres à 150 mètres d'altitude.

La commune d'Aïn Benian se caractérise par une topographie relativement basse, avec un relief en pente douce orienté vers la mer Méditerranée. Cette configuration naturelle favorise un écoulement gravitaire des eaux usées depuis les zones urbaines environnantes vers les points les plus bas de la commune. La STEP a été implantée à proximité du littoral principalement en raison de la déclivité naturelle du terrain, permettant l'arrivée gravitaire des eaux usées. Cette implantation réduit les besoins en pompage, diminue les coûts énergétiques et facilite le rejet contrôlé des eaux traitées en mer.

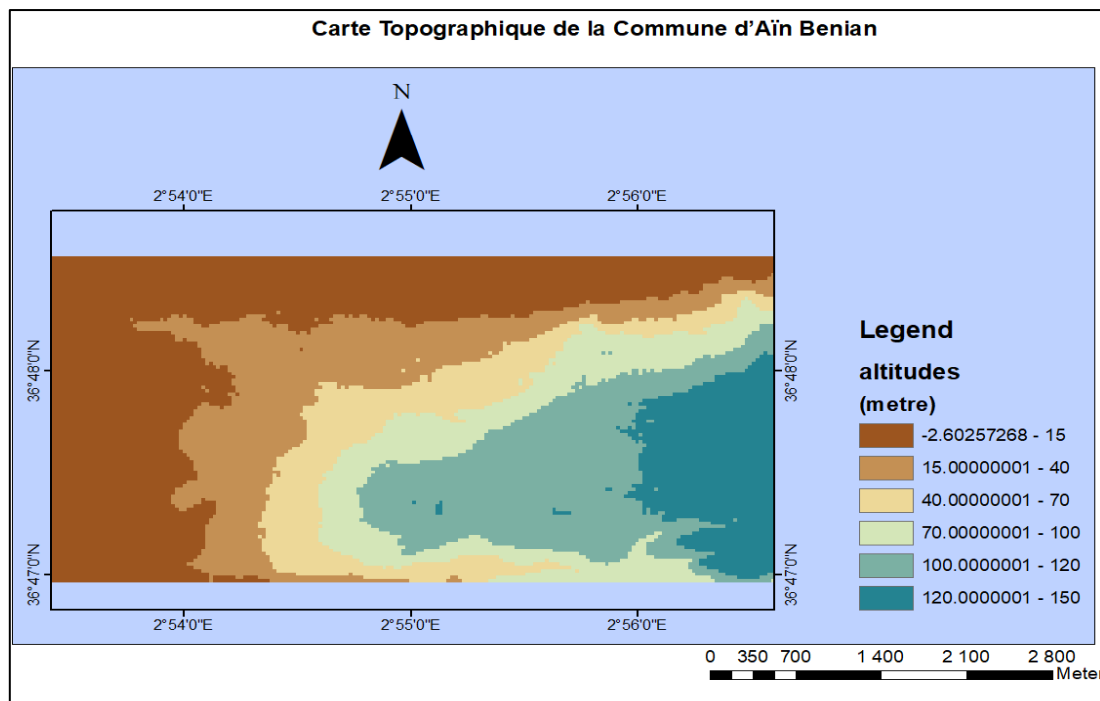


Figure II.2 : Carte Topographique de la Zone d'Étude – Commune d'Aïn Benian, Wilaya d'Alger (Réalisée avec ArcGIS)

II.4 Géologie de la zone d'étude

La commune d'Aïn Benian, repose principalement sur des roches métamorphiques telles que les micaschistes et les gneiss caractéristiques du massif de Bouzaréah. Ces formations sont partiellement recouvertes par des dépôts plus récents datant du Pliocène et du Quaternaire. Le littoral adjacent se compose de schistes et de calcaires métamorphiques, témoignant de l'activité géologique passée. La région est marquée par plusieurs structures tectoniques actives, notamment la faille de Chenoua, située à l'ouest d'Aïn Benian, une structure inverse orientée

nord-ouest avec un pendage vers le nord-ouest, responsable du séisme d'Aïn Benian du 4 septembre 1996 (magnitude 5,7). La proximité de la faille du Sahel, une structure majeure de la région nord-algérienne orientée nord-est–sud-ouest, accentue également l'activité sismique locale. Cette faille est associée à des mouvements inverses et est considérée comme active. [19] [20]

II.5 Réseau hydrographique

La région d'Aïn Benian en Algérie, possède un réseau hydrographique dominé par deux principaux cours d'eau : l'Oued El Harrach et l'Oued Mazafran. L'Oued El Harrach, prenant sa source dans l'Atlas blidéen, traverse plusieurs communes avant de se jeter dans la Méditerranée en passant à proximité d'Aïn Benian, tandis que l'Oued Mazafran, situé plus à l'ouest, draine une partie de la Mitidja avant de rejoindre la mer près de Zéralda. Ces oueds, avec leurs affluents et ruisseaux intermittents, forment le bassin versant côtier algérois où les eaux convergent vers la Méditerranée. La région fait face à des enjeux hydrologiques majeurs, notamment des risques d'inondation lors des fortes pluies, particulièrement autour de l'Oued El Harrach, ainsi que des défis liés à la pression urbaine et à la pollution des eaux.

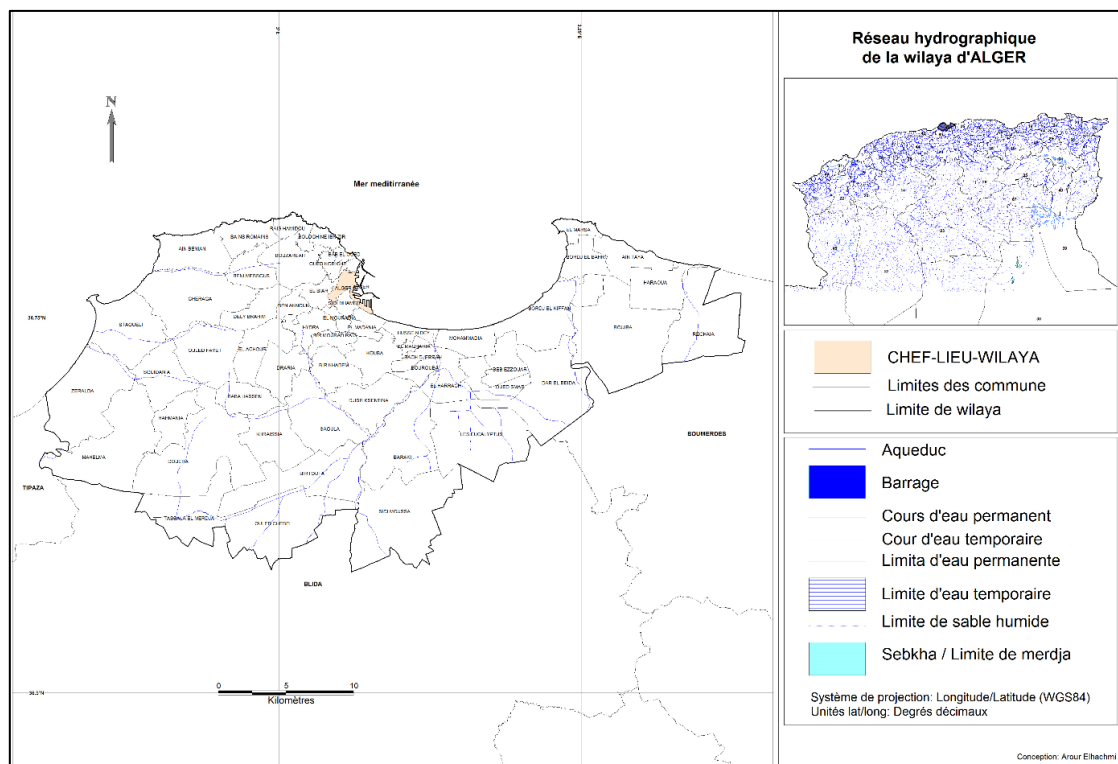


Figure II.3 : Carte réseau hydrographique la Wilaya d'Alger [21]

II.6 Situation climatologique de la région

Dans le cadre de cette étude, les données climatiques utilisées proviennent du site WeatherSpark, Cette plateforme fournit des informations détaillées sur les conditions météorologiques locales, les températures moyennes, les précipitations, l'humidité et d'autres paramètres climatiques pertinents pour la zone d'étude.

II.6.1 La température

À Aïn Benian, la saison chaude s'étend de fin juin à fin septembre, avec un maximum en août (30 °C / 21 °C), tandis que la saison fraîche dure de fin novembre à fin mars, avec un minimum en janvier (16 °C / 7 °C).

Le tableau II.1 présente l'évolution des températures maximales, moyennes et minimales enregistrées mensuellement dans la zone d'étude :

Tableau II.1 : Températures moyennes mensuelles (°C)

Mois	Sept	Oct	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai.	Juin	Juil.	Août
T. Maximale	28	25	20	17	16	16	18	20	23	26	29	30
T. Moyenne	23	20	16	13	12	12	14	15	18	22	25	25
T. Minimale	19	16	12	9	7	8	9	11	14	17	20	21

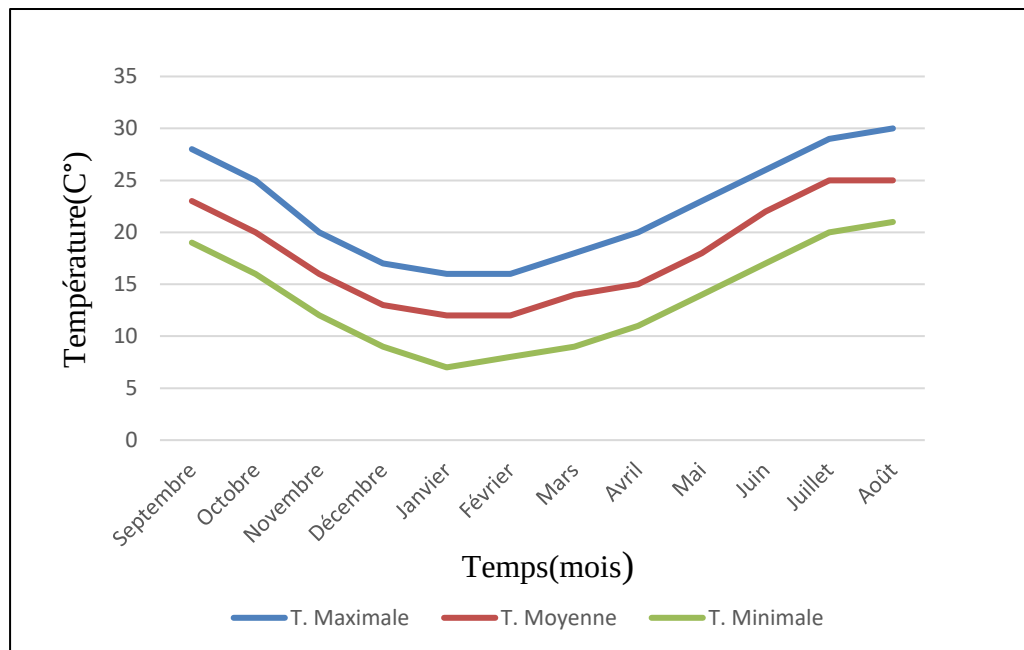


Figure II.4 : Variation mensuelle des températures : maximale, moyenne et minimale

II.6.2 Précipitation

L'analyse des données de pluviométrie mensuelle à Aïn Benian montre une répartition marquée par une forte variabilité saisonnière, typique du climat méditerranéen. Les mois les plus arrosés correspondent à la saison automnale et hivernale, avec un pic de précipitations observé en novembre (64.1 mm) et décembre (64.5 mm), suivis de près par janvier (57.1 mm) et février (54.9 mm). Cette concentration des précipitations sur la période allant de novembre à mars constitue la saison humide.

Le tableau II.2 présente la répartition mensuelle des précipitations enregistrées dans la zone d'étude :

Tableau II.2 : Données de pluviométrie mensuelle

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars.	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août.
Pluie (mm)	22	40	65	65	58	55	42	37	29	10	3	6

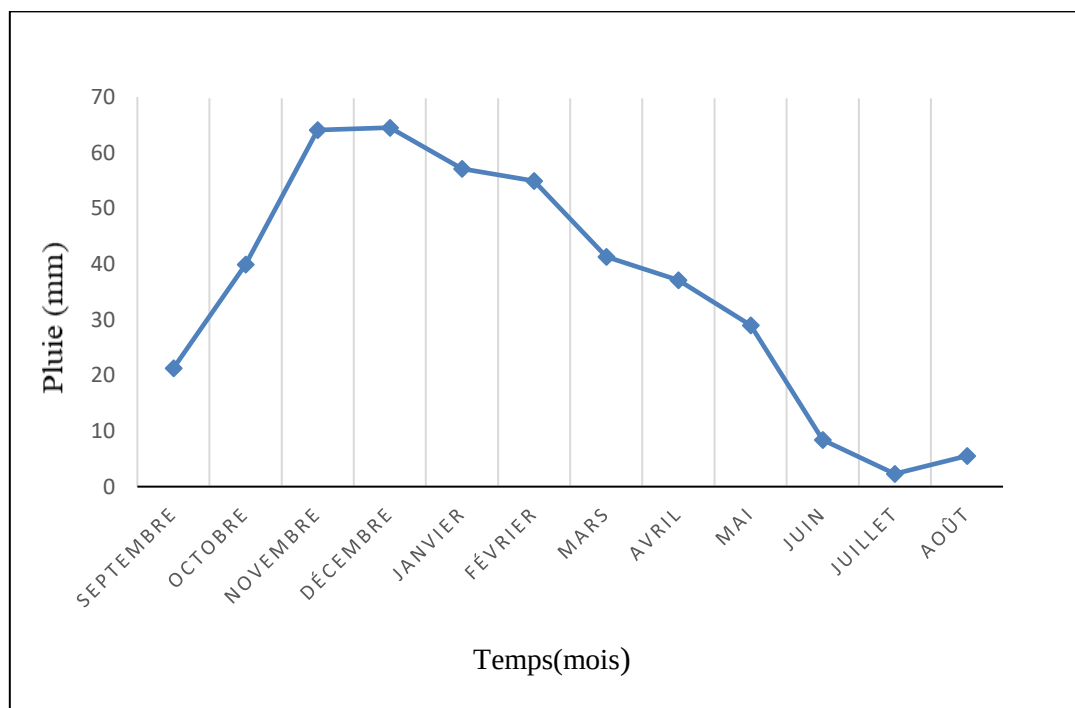


Figure II.5 : Courbe des précipitations mensuelles

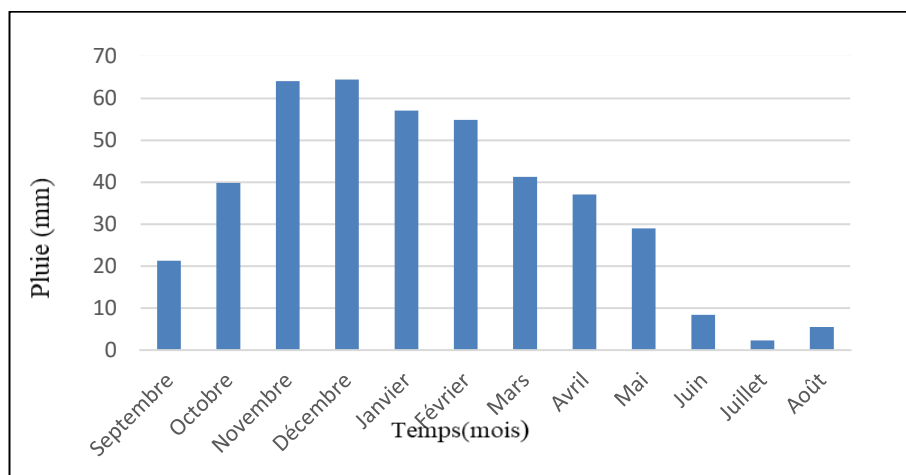


Figure II.6 : Moyenne des précipitations mensuelles

II.6.3 vitesse du vent

Cette section traite du vecteur vent moyen horaire étendu (vitesse et direction) à 10 mètres au-dessus du sol. Le vent observé à un emplacement donné dépend fortement de la topographie locale et d'autres facteurs, et la vitesse et la direction du vent instantané varient plus que les moyennes horaires.

Le tableau II.3 présente la vitesse moyenne mensuelle du vent enregistrée dans la zone d'étude.

Tableau II.3 : Vitesse moyenne mensuelle du vent

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Vitesse (m/s)	3.9	4.1	4.7	4.9	4.9	4.8	4.5	4.4	4.0	3.8	3.9	3.8

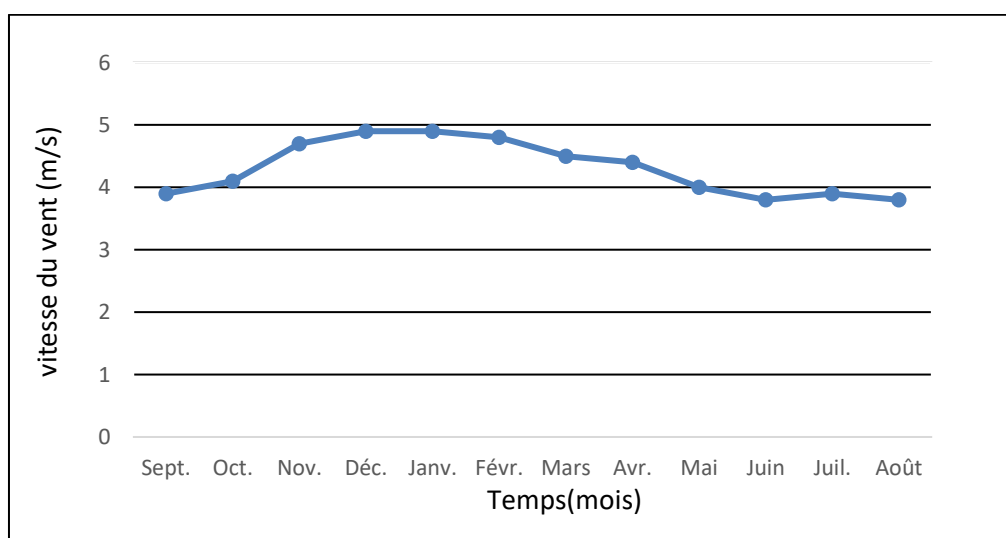


Figure II.7 : Courbe de vitesse de vent mensuelle

II.6.4 Humidité

Aïn Benian connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 4,4 mois, du 3 juin au 16 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 20 % du temps. Le mois ayant le plus grand nombre de jours lourds à Aïn Benian est août, avec 24,4 jours lourds ou plus accablants.

Tableau II.4 : Répartition mensuelle des jours de temps lourd à Aïn Benian

Mois	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
Nombre de jours de temps lourd	16.7	6.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	11.5	22.2	24.4

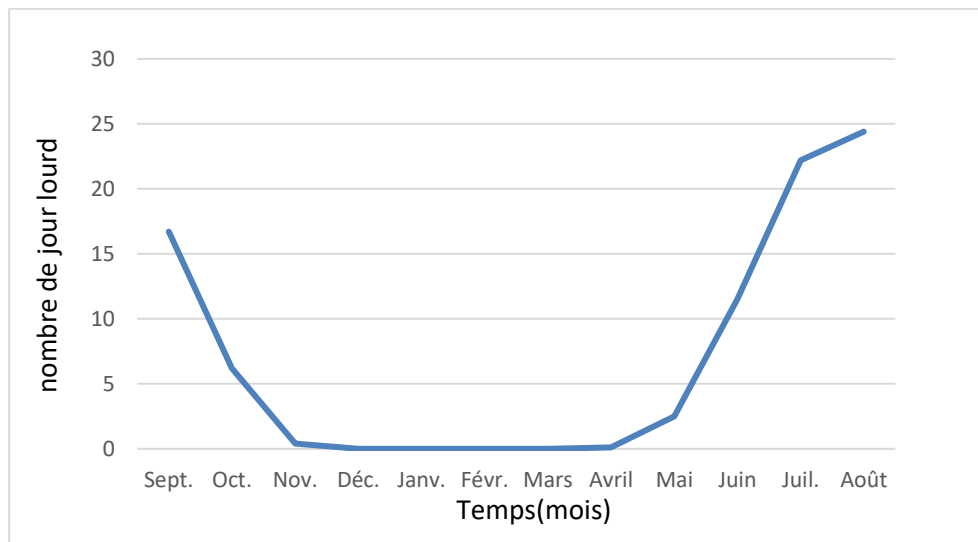


Figure II.8: Répartition mensuelle des jours de temps lourd

II.6.5 Situation démographique actuelle et prévisions futures

La station d'épuration de Beni Messous est destinée à traiter les eaux usées issues de sous-bassins : Zéralda, Chérage, Beni Messous, Ouled Fayet, Staoueli, et Aïn Benian.

Nous utilisons la formule de croissance démographique suivante :

$$P_H = P_0(1 + \tau)^n$$

Tel que :

P_H : population projetée à l'horizon d'étude.

P_0 : population de référence (2024).

τ : Taux d'accroissement.

n : période de saturation du projet.

Les taux d'accroissements utilisés sont fournis par DRE de la wilaya d'Alger :

Zéralda :1.48%

Chéraga : 1.66 %

Beni Messous : 1.5 %

Aïn Benian : 1.52%

Ouled Fayet : 1.4%

Staoueli :1.55%

Une fois les populations de chaque sous bassin projetées, la somme de ces populations permet d'obtenir la population totale à desservir par la STEP.

Les projections démographiques des communes concernées par la zone d'étude sont regroupées dans le tableau II.5 :

Tableau II.5 : Projection de la population des communes de la zone d'étude pour les années 2025, 2040 et 2055

Commune	Population 2025	Population 2040	Population 2055
Ouled Fayet	41 000	49 325	59 324
Chéraga	93 577	125 191	167 464
Beni Messous	40 000	52 103	67 877
Aïn Benian	73 825	95 291	123 059
Zéralda	59 000	74 205	93 321
Staoueli	61 000	79 051	102 463
Total	368 402	475 166	613 508

II.7 Conclusion

L'analyse physique, géologique, climatique et démographique de la commune d'Aïn Benian montre un territoire côtier complexe, à la fois riche en ressources naturelles et exposé à plusieurs contraintes environnementales. La topographie en pente douce, la géologie variée marquée par des formations métamorphiques.

Sur le plan climatique, la commune bénéficie d'un climat méditerranéen typique, alternant des hivers doux et pluvieux avec des étés chauds et secs. Ces conditions influencent directement le fonctionnement hydraulique de la STEP à travers la variation saisonnière des débits entrants. Les précipitations concentrées en hiver et la sécheresse estivale doivent être intégrées dans les scénarios de réhabilitation du système de traitement.

La croissance démographique rapide attendue dans les prochaines décennies accentuera la pression sur les équipements existants. Cela nécessite une planification rigoureuse, tenant compte des projections de population, des risques naturels, et des caractéristiques physiques locales.

CHAPITRE III : PRÉSENTATION DE LA STEP DE BÉNI MESSOUS

III.1 Introduction

La station d'épuration de Beni Messous est une installation de type boues activées fonctionnant en moyenne charge, destinée au traitement des eaux usées domestiques de la région. Située sur la Route Nationale 11, à El Bahdja. Mise en service en deux étapes, la première tranche a été inaugurée en 2007, suivie de la seconde tranche en 2016, Elle est exploitée par la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), sa construction a été assurée par l'entreprise VA-Tech WABAG, Conçue pour répondre aux besoins d'une population équivalente à 500 000 équivalents-habitants

La station d'épuration de Beni Messous est alimentée par les sous bassin versants :

- Sous bassin versant d'Ain Benian
- Sous bassin versant de Beni Messous.
- Sous bassin versant de Ouled Fayet
- Sous bassin versant de Cheraga.
- Sous bassin versant de Zéralda.
- Sous bassin versant de Staoueli



Figure III.1 : Vue satellite de la station d'épuration de Beni Messous (image Google Earth Pro)

Les caractéristiques hydrauliques des eaux usées brutes de la station de Béni Messous sont résumées dans le tableau III.1 :

Tableau III.1 : Capacités hydrauliques des eaux usées brutes à la station de Beni Messous

Capacités hydrauliques	Unité	Valeur
Débit moyen journalier	m ³ /j	100 000
Débit moyen horaire	m ³ /h	4 200
Débit de pointe de temps sec	m ³ /h	50 000
Débit de pointe de temps de pluie	m ³ /h	11000

Afin d'évaluer la pollution entrante, les charges organiques et minérales des eaux usées brutes ont été estimées et sont indiquées dans le tableau III.2 :

Tableau III.2 : Charges journalières des eaux usées brutes à la station de Beni Messous

Paramètre	Unité	Valeur
Charge biologique (DBO ₅)	kg/j	25 000
Charge chimique (DCO)	kg/j	50 000
Matières en suspension (MES)	kg/j	30 000
Azote total	kg/j	5 000
Phosphore total	kg/j	1 250

III.2 Différents procédés de traitement des eaux usées à la STEP de béni Messous

III.2.1 Dégrillage grossier

La première étape du prétraitement est assurée par deux dégrilleurs moyens à grille verticale, destinés à intercepter les déchets les plus volumineux pour protéger les équipements situés en aval. Chaque dégrilleur peut être isolé individuellement à l'aide de batardeaux, Chaque dégrilleur présente une largeur de 1 mètre et est conçu pour admettre un débit maximal de 5500 m³/h. L'espace entre les barreaux est de 40 mm, ce qui permet de retenir efficacement les déchets de taille importante tout en assurant un écoulement optimal des eaux usées.



Figure III.2 : Photo du dégrilleur grossier (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.2 Dégrillage fin

Ce deuxième niveau de dégrillage, plus fin, a pour objectif d'affiner le traitement des effluents bruts en retenant les particules de plus petite taille, afin d'assurer une meilleure protection des équipements situés en aval. Les quatre dégrilleurs, qui fonctionnent en parallèle, sont implantés en extérieur, en tête de l'ouvrage combiné de dessablage/dégraissage. Chaque dégrilleur, d'une largeur de 1 mètre, est dimensionné pour un débit maximal de 2 750 m³/h, avec un espacement entre les barreaux réduit à 15 mm



Figure III.3 : Photo du dégrilleur fin (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.3 Dessablage / déshuilage

Après le dégrillage, les effluents sont dirigés vers un système combiné de dessablage et de déshuilage constitué de quatre canaux parallèles. Ce dispositif permet d'éliminer les sables, qui décantent naturellement au fond, et les huiles, qui remontent en surface grâce à une insufflation

d'air répartie sur toute la longueur des canaux. Un pont mobile, équipé d'un racleur de surface et d'un système de pompage par air-lift, assure respectivement la collecte des huiles dans une fosse dédiée et l'extraction des sables vers un classificateur, cette dernière étant soutenue par quatre compresseurs de 1,68 m³/min chacun. Chaque canal, de 30 m de long, 2,4 m de large et 3,6 m de hauteur d'eau, présente une surface unitaire de 111 m², pour un volume total de 518 m³ de l'ouvrage. À débit maximal en temps sec, la vitesse ascensionnelle atteint 12,4 m/h, pour un temps de séjour moyen d'environ 11 minutes.



Figure III.4 : Photo du canal de dessablage / déshuileur Tranche 1 (Source : STEP de Beni Messous)



Figure III.5 : Photo du canal de dessablage / déshuileur Tranche 2 (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.4 La décantation primaire

La décantation primaire repose sur un procédé de séparation physique par gravité, visant éliminer les matières solides présentes dans les eaux usées. Les effluents prétraités sont acheminés, via un répartiteur, vers deux décanteurs primaires. Cette étape consiste à ralentir l'écoulement et à prolonger le temps de séjour des eaux, favorisant ainsi la sédimentation des particules lourdes. Les eaux clarifiées, récupérées par surverse, sont dirigées vers le traitement biologique. Les matières décantées, appelées boues primaires, sont extraites de manière régulière pour être acheminées vers l'unité d'épaississement

La station d'épuration est équipée de deux décanteurs primaires circulaires, fonctionnant en parallèle



Figure III.6 : Photo du décanteur primaire Tranche 1 (Source : STEP de Beni Messous)



Figure III.7 : Photo du décanteur primaire Tranche 2 (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.5 Le bassin d'aération

Les eaux décantées sont dirigées vers le bassin d'aération, où elles sont mises en contact avec une culture biologique appelée boues activées. Cette biomasse est constituée de micro-organismes aérobies capables de dégrader la pollution biodégradable (principalement la DBO_5) ainsi qu'une partie des nutriments tels que l'azote et le phosphore. Pour assurer leur activité, ces micro-organismes ont besoin d'un apport en oxygène, fourni par six aérateurs de surface. Ces derniers remplissent une double fonction : l'aération du milieu et le brassage des boues activées, évitant ainsi toute décantation de la biomasse au fond du bassin.

Pour garantir une performance optimale du traitement biologique, il est essentiel de maintenir un équilibre constant entre la charge polluante à traiter et la quantité de micro-organismes présents dans le bassin.

La station de Beni Messous a été dimensionnée pour fonctionner en régime de charge moyenne, avec une C_m comprise entre 0,25 et 0,3 kg $\text{DBO}_5/\text{kg MVS}/\text{jour}$ à pleine capacité. En pratique, la charge réelle à traiter étant souvent inférieure à la charge nominale, il est possible d'ajuster le taux de boues dans le bassin pour maintenir un bon rendement épuratoire. En cas de sous-charge significative — comme lors de la phase de démarrage de la station — un fonctionnement en régime de faible charge peut également être envisagé.



Figure III.8 : Photo de Vue de l'ensemble du bassin d'aération tranche 1 (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.6 Clarificateurs

Après la phase de contact entre l'eau décantée et la biomasse active dans le bassin d'aération, la clarification permet de séparer, par simple décantation gravitaire, l'eau épurée des boues activées. Cette étape, indispensable et complémentaire au traitement biologique, forme avec le bassin d'aération le cœur du procédé conventionnel de traitement des eaux usées.

La liqueur mixte, composée d'eau épurée et de boues biologiques, est introduite au centre du clarificateur. Une jupe de répartition, appelée Clifford, assure une répartition homogène du flux à l'intérieur de l'ouvrage, favorisant ainsi une décantation efficace. Par surverse, les eaux clarifiées sont collectées en périphérie avant d'être dirigées vers le canal de comptage, puis rejetées vers le milieu naturel.

Les boues biologiques, décantées au fond du clarificateur, sont aspirées et renvoyées rapidement en tête du bassin d'aération afin d'être de nouveau mises en contact avec la pollution à traiter. Pour maîtriser la concentration en biomasse et éviter une accumulation excessive, une partie des boues activées est extraite en continu du puits de recirculation. Ces boues en excès sont ensuite acheminées vers un épaisseur où elles sont mélangées aux boues primaires issues de la décantation primaire.



Figure III.9 : Photo de Vue de l'ensemble de clarificateur (Source : STEP de Beni Messous)



Figure III.10: Photo de Surverse d'un clarificateur (Source : STEP de Beni Messous)



Figure III.11 : Photo de vis recirculation tranche 1 (Source : STEP de Beni Messous)



Figure III.12 : Photo de vis recirculation tranche 2 (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.7 Filtre a sable

En aval de la filtration, une station de relevage intermédiaire, située à l'intérieur du bâtiment, assure la collecte et le pompage des eaux clarifiées grâce à quatre pompes émergées pilotées par une sonde de niveau. Les eaux relevées sont ensuite réparties sur deux lignes comprenant chacune trois filtres, via un déversoir en béton garantissant une distribution homogène du débit sur l'ensemble des filtres. L'eau filtrée traverse successivement le milieu filtrant et la dalle filtrante avant d'être collectée dans un réservoir. Au fil du temps, des matières en suspension (MES) s'accumulent dans le sable filtrant, ce qui nécessite, après une certaine durée de fonctionnement, l'exécution d'un cycle de lavage pour chaque batterie de filtres. Cette opération permet de restaurer l'état initial du lit de sable, d'assurer une vitesse de filtration constante ($V_{\max} = 10 \text{ m/h}$) et de maintenir une qualité d'eau conforme aux normes de réutilisation des eaux usées.



Figure III.13 : filtre à sable hors service (Source : STEP de Beni Messous)

III.2.8 La Désinfection par Rayonnement Ultraviolet

Les eaux filtrées sont acheminées par gravité vers deux canaux parallèles, chacun équipé d'un système de désinfection par rayonnement ultraviolet (UV).

Ce procédé permet de neutraliser les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau, en exposant ces derniers à des rayons UV qui altèrent leur ADN et empêchent leur reproduction. L'ensemble du débit désinfecté est ensuite mesuré à l'aide d'un canal venturi, avant d'être dirigé vers l'étape suivante, qui consiste au pompage pour la réutilisation des eaux traitées.



Figure III.14: photo de Canal de désinfection (Source : STEP de Beni Messous)

III.3 Filière traitement des boues

Le traitement des boues en station d'épuration comprend plusieurs étapes successives visant à réduire leur volume, stabiliser la matière organique et faciliter leur évacuation.

III.3.1 Epaississement des boues

C'est la première étape qui permet de réduire le volume des boues en augmentant leur concentration par décantation gravitaire. Les boues primaires et biologiques sont mélangées et envoyées dans des épaisseurs racclés. L'eau surnageant retourne en tête de station et les boues épaissies sont dirigées vers la stabilisation. L'efficacité dépend d'un débit régulier et de concentrations inférieures à 10 g/L pour l'alimentation.

III.3.2 Stabilisation aérobie

Les boues épaissies sont ensuite stabilisées par aération prolongée pour éliminer la fraction fermentescible et limiter les odeurs. La matière organique est réduite par les bactéries. Les bassins d'aération doivent fonctionner avec un temps de séjour de 15 à 20 jours et une oxygénation adaptée.

III.3.3 Stockage des boues stabilisées

Avant déshydratation, les boues stabilisées sont stockées dans une bache tampon, permettant une alimentation continue et homogène des équipements de déshydratation. Le volume stocké doit être brassé et entièrement évacué chaque semaine.

III.3.4 Réparation de polymère

Le polymère est indispensable pour conditionner les boues avant leur déshydratation. Préparé dans une unité automatique, il facilite la séparation de l'eau contenue dans la boue.

III.3.5 Déshydratation mécanique

Cette opération réduit fortement la teneur en eau des boues par un système de filtres à bandes. Les boues, après ajout de polymère, passent par des phases d'égouttage et de pressage progressif. Le gâteau obtenu est évacué, et les toiles sont nettoyées en continu.

III.3.6 Poste eaux troubles

Les eaux issues des différentes étapes (surnageant, filtrats) sont collectées et renvoyées vers la tête de station pour traitement.

III.3.7 Pesage et évacuation

Un pont-bascule permet de peser les boues déshydratées évacuées en bennes. Les poids sont enregistrés pour le suivi et la gestion.

III.3.8 Groupe hydrophore et ventilation

L'eau industrielle utilisée notamment pour le lavage des toiles et des espaces verts est fournie par un système de surpression. La ventilation des locaux de déshydratation est assurée par des extracteurs d'air.

III.4 Conclusion

Ce chapitre a présenté les différentes étapes du traitement des eaux usées à la station d'épuration de Beni Messous, depuis le prétraitement (dégrillage, dessablage) jusqu'au traitement biologique (bassins d'aération, clarificateurs) et à la désinfection finale. Les procédés mis en œuvre, tels que la filtration sur sable et l'exposition aux UV, garantissent une épuration conforme aux normes environnementales. Parallèlement, la filière de traitement des boues, incluant l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation mécanique, permet une gestion optimisée des sous-produits.

CHAPITRE IV : ÉTUDE DES PERFORMANCES ÉPURATOIRES DE LA STEP

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à une étude de la performance de la station d'épuration de Beni Messous, visant à évaluer son efficacité au cours de l'année 2024. Pour ce faire, des tableaux et courbes seront tracés afin de faciliter l'analyse et la compréhension des différents paramètres hydrauliques et techniques ainsi une comparaison des paramètres physico-chimiques de l'eau traitée sera également effectuée, dans le but d'évaluer la situation globale de la STEP, de détecter d'éventuels dysfonctionnements et de cibler précisément les problèmes pouvant survenir.

IV.2 Analyse des Débits Hydrauliques de la STEP

L'analyse des débits moyenne mensuels (entrants et sortants de la STEP, débit nominal) permet d'obtenir une vision globale du fonctionnement et du dimensionnement de la station d'épuration.

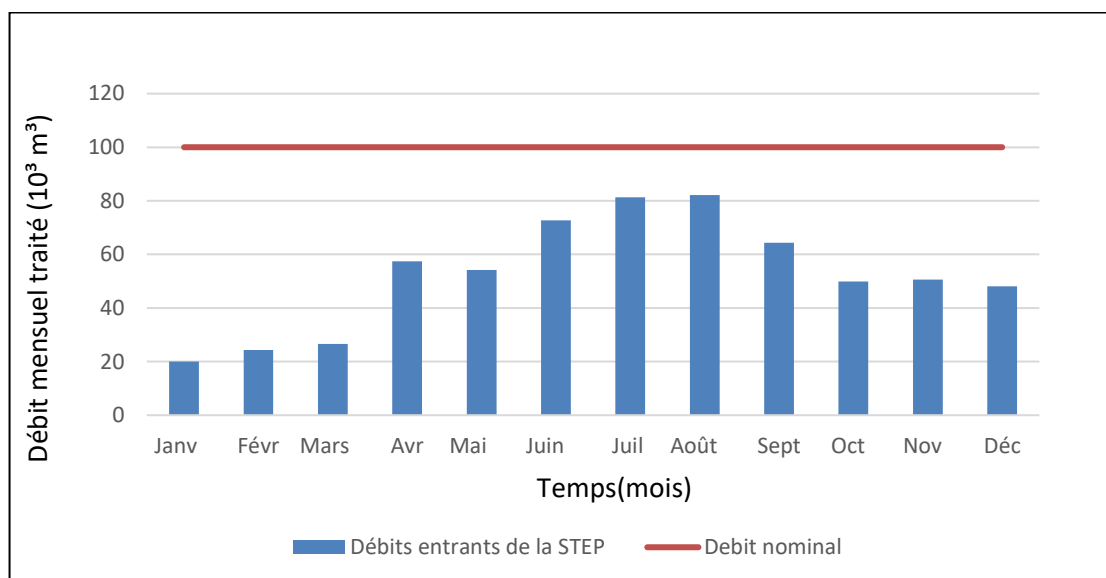


Figure IV.1.: Comparaison des débits mensuels moyenne entrants à la STEP de Beni Messous avec le débit nominal pour l'année 2024.

Observations:

- Le débit traité commence assez bas en janvier, augmente progressivement jusqu'à atteindre un pic en août.
- Après août, le débit traité diminue progressivement jusqu'en décembre. La ligne de débit nominal qui est environ 100 000 m^3 n'est jamais dépassée durant l'année.

Interprétation

- Une variation saisonnière classique influence sur les débits mensuels traités par la station. L'augmentation de la consommation d'eau durant la période estivale, notamment en juillet et en août, entraîne des débits mensuels maximaux, dépassant largement ceux enregistrés pendant les autres mois de l'année, donc il y a une relation directe entre le climat, les besoins en eau de la population et les volumes de débits mensuels à traiter
- Les débits n'ont jamais dépassé le débit nominal, ce qui traduit un bon dimensionnement de la capacité de la station par rapport aux besoins des communes desservies tout au long d l'année 2024.

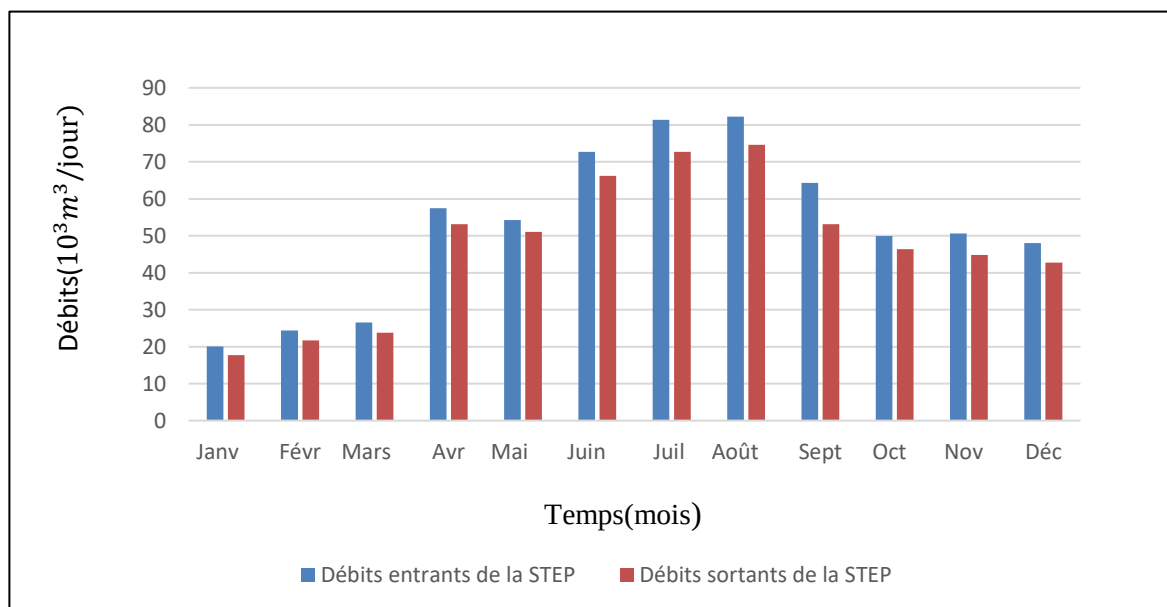


Figure IV.2 : Comparaison des Débits Mensuels moyenne Entrants et Sortants de la STEP de Beni Messous Année 2024

Observations :

- On constate une différence entre les débits entrants et sortants de la STEP au cours de l'Année 2024, cette différence est estimée de moyenne 10% qui pourrait être liée à plusieurs facteurs, notamment dans les étapes de traitement des eaux usée et des boues.
- La différence de débits est maximale dans les trois mois juillet, août et septembre.

Interprétation

La différence entre les débits des effluents arrivant à la station et les débits eaux traitées rejetées dans la STEP s'explique par plusieurs facteurs techniques et naturels :

- Traitement des boues : une fraction de l'eau arrivant est conservée dans les boues activée au cours du processus de décantation ou de digestion anaérobie.
- Évaporation : Certaines étapes comme les bassins d'aération exposent l'eau à l'air, entraînant une perte par évaporation, surtout en climat chaud, cela explique le pic de différence dans les trois mois juillet, août et septembre.
- Réutilisation interne : une partie d'eau épurée est souvent réutilisée pour différents usages internes à la station elle-même (Arrosage des espaces verts, Nettoyage des installations, Refroidissement des machines...etc.)

IV.3 Comparaison des paramètres physico-chimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP

Pour évaluer la performance de la station d'épuration en 2024, une analyse comparative des principaux paramètres physico-chimiques est réalisée : MES, DCO, DBO₅, azote total, phosphore total et pH. Cette étude compare les effluents avant et après traitement pour mesurer l'efficacité du procédé, de vérifier la conformité réglementaire et de détecter d'éventuelles baisses de performance. Les résultats seront présentés sous forme de tableaux et de graphiques, accompagnés d'une interprétation critique.

IV.3.1 Comparaison des Concentrations en MES à l'Entrée et à la Sortie de la STEP

Une comparaison des concentrations moyennes en Matières en Suspension (MES) mesurées à l'entrée et à la sortie de la STEP au cours de l'année 2024 est réalisée dans cette section. Cette analyse vise à évaluer l'efficacité du traitement et à vérifier la conformité des rejets par rapport aux exigences réglementaires en vigueur.

Deux cadres réglementaires sont pris en compte dans cette analyse. Le premier est le décret exécutif n° 12-199 du 25 avril 2012, qui définit les conditions de réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles. Le second est l'arrêté interministériel du 4 juillet 2006, qui établit les normes de rejet dans le milieu récepteur, Ces deux textes réglementaires fixent une valeur limite identique pour les MES, à savoir une concentration maximale autorisée de 30 mg/L.

Les valeurs mensuelles des matières en suspension (MES) et les rendements d'élimination associés à la STEP de Béni Messous pour l'année 2024 sont regroupés dans le tableau IV.1 :

Tableau IV.1 : Évolution mensuelle des MES et des taux d'abattement à la station d'épuration de Béni Messous en 2024

Mois	MES à l'entrée de la STEP (mg/L)	MES à la sortie de la STEP (mg/L)	Taux d'abattement (%)	Moyenne Taux d'abattement (%)
Janvier	[26 - 98]	[5,20 - 66]	[59,26 – 96,81]	87,7
Février	[80 - 302]	[2 - 14]	[63,33 – 95,83]	87,2
Mars	[130 - 214]	[11 - 30]	[18,94 – 85,71]	70,5
Avril	[112 - 290]	[5,20 - 18]	[86,79 – 95,24]	82,1
Mai	[96 - 264]	[2,2 - 15,2]	[85,42 – 98,23]	87,0
Juin	[252 - 508]	[10 - 236]	[36,22 – 96,69]	82,3
Juillet	[152 - 424]	[8,40 - 123]	[72,97 – 96,77]	83,5
Août	[132 - 346]	[8 - 95]	[61,90 – 96,97]	81,4
Septembre	[106 - 946]	[6 - 30]	[57,30 – 95,77]	76,2
Octobre	[116 - 334]	[4 - 25]	[59,72 – 96,77]	81,7
Novembre	[114 - 343]	[3 - 18]	[67,44 – 98,29]	83,9
Décembre	[110 - 326]	[6 - 20]	[57,14 – 96,67]	81,6

Observations :

- Les concentrations en MES varient fortement selon les mois, de 26 mg/L (janvier) à 946 mg/L (septembre).
- Des pics élevés sont observés en juin (508 mg/L), juillet (424 mg/L) et surtout septembre (946 mg/L).
- La STEP de Beni Messous affiche une bonne performance globale, avec un taux moyen d'abattement > 80 % sur la majorité des mois.
- Une baisse d'efficacité est enregistrée en mars (70,5 %) et en septembre (76,2 %).

Interprétations :

- Mars : baisse marquée de rendement, probablement due à une surcharge hydraulique ou à des anomalies de fonctionnement.

- Juin : malgré un rendement correct (82,3 %), la MES en sortie reste élevée (236 mg/L), signe d'une charge d'entrée importante ou d'un problème ponctuel.
- Septembre : forte variation avec une charge d'entrée très élevée (946 mg/L) ; le rendement diminue (76,2 %), probablement en raison des pluies automnales qui entraînent les feuilles des arbres vers le réseau
- Novembre : performance maximale avec un rendement moyen de 83,9 %, traduisant une meilleure stabilité en période automnale.

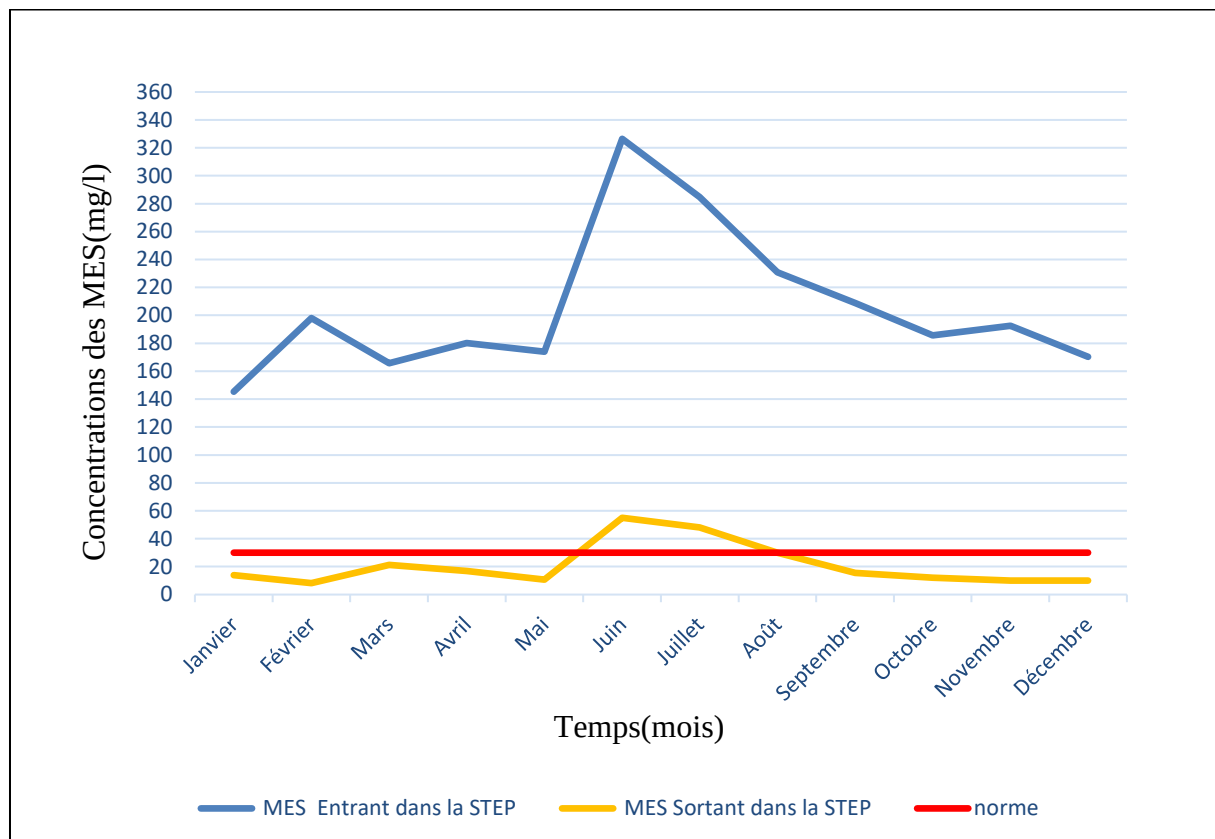


Figure IV.3 : Comparaison des concentrations moyennes mensuelles en MES à l'entrée et à la sortie de la STEP de Béni Messous en 2024

Observations :

- La courbe bleue montre une augmentation importante en juin, atteignant un pic d'environ 330 mg/L, suivie d'une baisse progressive.
- La courbe jaune reste globalement inférieure à la norme sauf en juin et en juillet où il y'a un dépassement.
- La ligne rouge représente la valeur maximale admissible selon les normes réglementaires (30 mg/l).

Interprétations :

- Une forte charge en MES en été, probablement liée à l'augmentation de la population (tourisme ou retour des résidents)
- La STEP fonctionne de manière régulière et conforme, avec une bonne capacité d'abattement pour les matières en suspensions au long de l'année sauf au période estivale ce qui nécessite des améliorations aux ouvrages face à ce problème.

IV.3.2 Comparaison de DCO l'entrés et la sortie de la STEP

Une analyse des concentrations en DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP en 2024 permet d'évaluer son efficacité dans la réduction de la charge organique et la conformité aux normes. Deux références réglementaires sont retenues : **90 mg O₂/L** pour la réutilisation agricole (arrêté du 2 janvier 2012) et **120 mg O₂/L** pour le rejet dans le milieu récepteur (arrêté du 4 juillet 2006). Les concentrations mensuelles en DCO et les rendements d'élimination associés sont regroupés dans le tableau IV.2 :

Tableau IV.2 : Évolution mensuelle de DCO et des taux d'abattement à la STEP de Beni Messous en 2024

Mois	Concentration DCO à l'entrée de la STEP (Mg O₂/L)	Concentration DCO à la sortie de la STEP (Mg O₂/L)	Taux d'abattement (%)	Moyenne Taux d'abattement (%)
Janvier	[305 - 518]	[17,3 - 59]	[85,64 - 96,15]	91,59
Février	[313 - 610]	[19 - 89]	[81,06 - 95,78]	91,04
Mars	[207 - 536]	[29 - 106]	[84,57 - 94,59]	90,07
Avril	[160 - 978]	[30 - 109]	[76,81 - 93,44]	86,08
Mai	[315 - 518]	[20,6 - 78]	[78,15 - 94,21]	90,17
Juin	[402 - 921]	[135 - 424]	[20,90 - 94,77]	88,22
Juillet	[360 - 829]	[33 - 90]	[70,69 - 95,80]	87,57
Août	[393 - 501]	[26,7 - 170]	[67,57 - 94,52]	83,94
Septembre	[300 - 538]	[29 - 90]	[72,51 - 94,23]	85,60
Octobre	[241 - 434]	[26 - 62]	[78,32 - 92,50]	86,38
Novembre	[214 - 638]	[20 - 48]	[78,76 - 94,76]	89,04
Décembre	[200 - 494]	[14 - 52]	[81,74 - 96,88]	87,98

Observations

- La DCO à l'entrée de la STEP varie de 160 (Mg O₂/L) à 978 (Mg O₂/L) (avril), montrant une grande variété des charges organiques reçues, pour le mois d'avril aussi la concentration atteint la valeur maximale durant l'année (978 Mg O₂/L)
- La DCO à la sortie reste généralement basse (14 à 106 Mg O₂/L), sauf en juin où une valeur maximale de 424 Mg O₂/L est enregistrée.
- Le taux moyen d'abattement est toujours supérieur à 83 %, avec un maximum en janvier (91,59 %) et un minimum en août (83,94 %).

Interprétations

- La STEP a une efficacité satisfaisante dans la réduction de la DCO, avec des taux supérieurs à 85 % la majeure partie de l'année.
- La grande de variation de la DCO à l'entrée (160 – 978 Mg O₂/L) en avril peut indiquer un événement ponctuel (ex. : rejets industriels, ruissellements intenses).
- Une baisse des taux d'abattement est observée dans la période estivale est dû à une augmentation des charges organiques ou réduction temporaires de l'efficacité biologique dans les ouvrages pendant cette période.

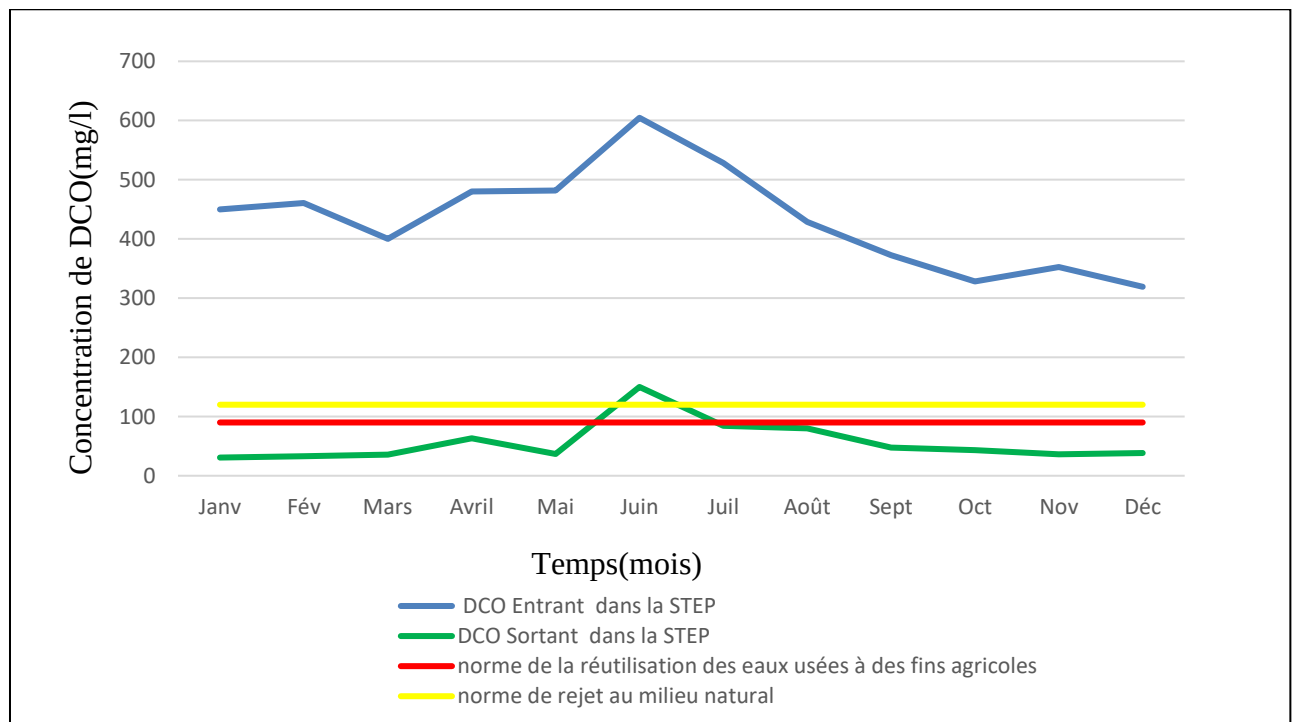


Figure IV.4 : Évolution mensuelle des concentrations en DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP de Béni Messous en 2024

Observations

- Pour la moyenne de concentrations mensuelles de DCO entrées à la STEP Le pic est observé en juin, indiquant une charge organique élevée.
- La moyenne de concentration mensuelle de DCO sorties de STEP restent généralement inférieure à 120 (Mg O₂/L), sauf pour juin où elle dépasse largement la norme de rejet.
- La norme pour la réutilisation agricole (90 Mg O₂/L) est dépassée pour le mois de juin. Et observe aussi qu'en mai et juillet, les valeurs approchent aussi les limites, bien que généralement contenues.

Interprétations

- Il y a débordement de la norme de rejet dans le milieu naturel seulement pour le juin ce qui nécessite une augmentation de capacité des ouvrages durant ce mois, Les objectifs de réutilisation à des fins agricoles (90 Mg O₂/L) ne sont pas atteints de façon constante, ce qui limite le potentiel de valorisation des eaux traitées, La STEP respecte majoritairement la norme de rejet dans le milieu naturel (120 Mg O₂/L), ce qui est positif pour la préservation de l'environnement.

IV.3.3 Comparaison de DBO₅ a l'entrés et la sortie de la STEP

L'évaluation des concentrations moyennes en DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous en 2024 constitue un indicateur de performance du traitement biologique et de la conformité des effluents. Deux références réglementaires encadrent cette analyse : le décret exécutif n°12-199 du 25 avril 2012 relatif à la réutilisation agricole des eaux usées traitées et l'arrêté interministériel du 4 juillet 2006 fixant les normes de rejet dans le milieu récepteur. Ces deux textes imposent une valeur limite identique de 30 mg O₂/L pour la DBO₅, seuil dont le respect conditionne la qualité des rejets, qu'ils soient destinés à l'irrigation ou à un rejet direct dans le milieu naturel.

Les valeurs mensuelles de DBO₅ et les rendements d'élimination associés à la station d'épuration de Béni Messous pour l'année 2024 sont regroupés dans le tableau IV.3 :

**Tableau IV.3 : Évolution mensuelle de DBO₅ et des taux d'abattement à la station
d'épuration de Beni Messous en 2024**

Mois	Concentration DBO₅ à l'entrée de la STEP (Mg O₂/L)	Concentration DBO₅ à la sortie de la STEP (Mg O₂/L)	Taux d'abattement (%)	Moyenne Taux d'abattement (%)
Janvier	[133 - 184]	[2,9 - 4,1]	[97,28 – 98,42]	97,96
Février	[122 - 299]	[2,6 - 3,8]	[97,41 – 99,15]	98,58
Mars	[121 - 350]	[2,5 - 21]	[88,00 – 97,93]	93,50
Avril	[160 - 504]	[4,3 - 21]	[72,90 – 97,46]	90,88
Mai	[154 - 450]	[2 - 5]	[97,37 – 99,05]	98,52
Juin	[214 - 416]	[7 - 30]	[86,00 – 96,73]	91,89
Juillet	[118 - 380]	[6,8 - 29]	[89,74 – 96,20]	92,86
Août	[150 - 329]	[10 - 42]	[78,24 – 95,00]	90,55
Septembre	[127 - 300]	[5 - 23]	[84,00 – 95,63]	91,64
Octobre	[100 - 207]	[5 - 20]	[81,00 – 95,45]	92,80
Novembre	[113 - 230]	[5,2 - 12]	[84,46 – 95,73]	91,89
Décembre	[100 - 195]	[5 - 14]	[79,49 – 96,67]	91,18

Observations

- L'efficacité globale du traitement est élevée, avec un taux moyen d'abattement de 93,45 % sur l'année.
- Les meilleurs rendements sont observés en février (98,58 %), mai (98,52 %) et janvier (97,96 %), tandis que les plus faibles apparaissent en avril (90,88 %), août (90,55 %) et décembre (91,18 %).
- La DBO₅ en entrée varie fortement, entre 100 mg O₂/L (décembre) et 504 mg O₂/L (avril) ; les charges les plus élevées sont relevées en avril, juin et mars, sollicitant fortement le traitement biologique.

Interprétations

- Une bonne performance de la STEP dans l'élimination de la matière organique biodégradable.
- Un fonctionnement particulièrement stable et performant de la station durant la saison hivernale et au printemps.
- Le taux d'abattement se baisse un peu à cause des charges organiques plus élevées en entrée c'est le cas pour le mois d'avril
- La variabilité de concentrations de DBO5 pourra due à des fluctuations dans l'activité domestique, industrielle, ou à des apports de ruissellement.
- Pour les mois décembre, janvier, octobre et novembre les charge de DBO5 sont faibles Ce qui est courant en période hivernale où l'usage d'eau domestique peut être modéré.

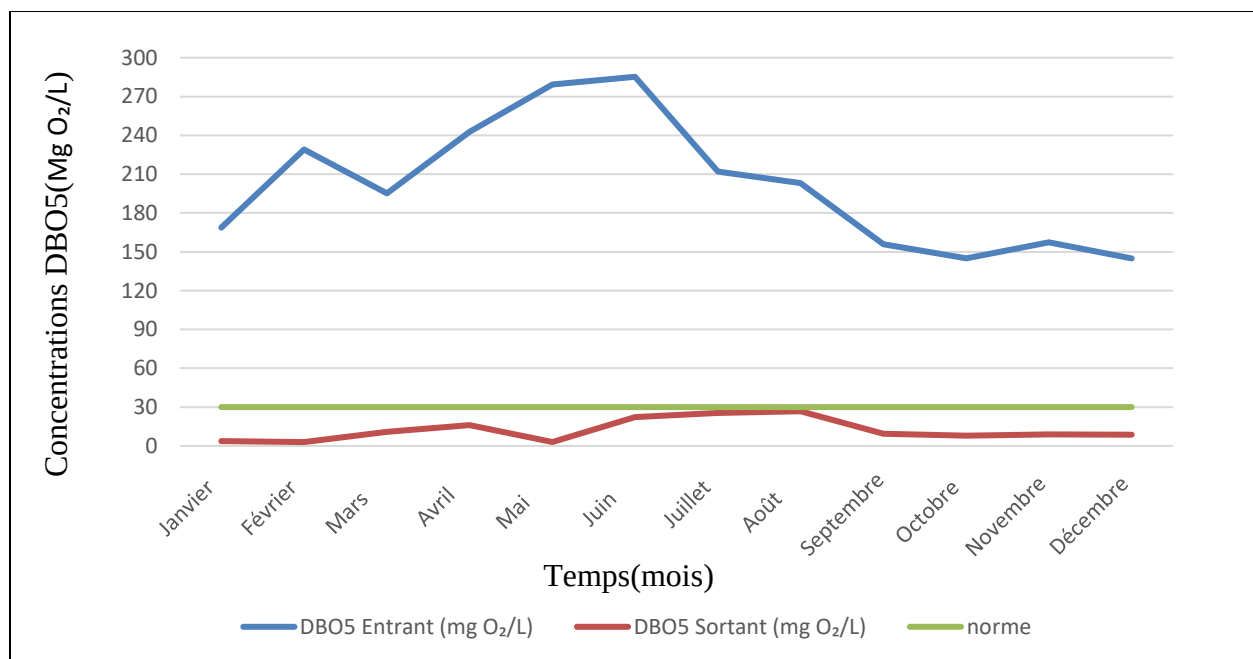


Figure IV.5 : Évolution mensuelle des concentrations en DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Béni Messous en 2024

Observations

- La moyenne de concentrations mensuelle de DBO5 entrant est globalement élevée en début d'année, avec une tendance à la hausse jusqu'en juin, atteignant un pic autour de 280 mg O₂/L, Après juin, il y a une baisse progressive de la concentration jusqu'à la fin de l'année

- La moyenne de concentrations mensuelle de DBO5 sortant sont nettement plus faibles que celles de l'entrée, se situant généralement entre 5 et 26 mg O₂/L.
- La moyenne de concentration mensuelle de DBO5 sortant reste en dessous de la norme tout au long de l'année.
- Les mois d'hiver (décembre, janvier, novembre, octobre) montrent des charges de DBO5 entrantes plus faibles, Et la période estivale montre des pics en mai à juillet

Interprétations

- Une variation saisonnière avec un pic au milieu de l'année, probablement liée à une augmentation des rejets organiques ou des charges polluantes à cette période.
- La différence importante entre la DBO5 entrant et la DBO5 sortant illustre l'efficacité du processus de traitement.
- La qualité de l'eau traitée respecte les limites réglementaires, ce qui valide que les ouvrages actuels de la STEP élimine efficacement les matières biodégradables

IV.3.4 Comparaison de l'Azote total à l'entrées de la STEP avec les normes.

L'azote total reflète la concentration globale de composés azotés susceptibles de favoriser l'eutrophisation des milieux récepteurs. Dans cette STEP, aucun traitement spécifique de l'azote n'est appliqué et seules les concentrations à l'entrée ont été analysées. L'évaluation repose donc sur la comparaison avec la norme réglementaire de rejet, fixée à 30 mg/L, seuil également retenu pour la réutilisation agricole des eaux usées traitées.

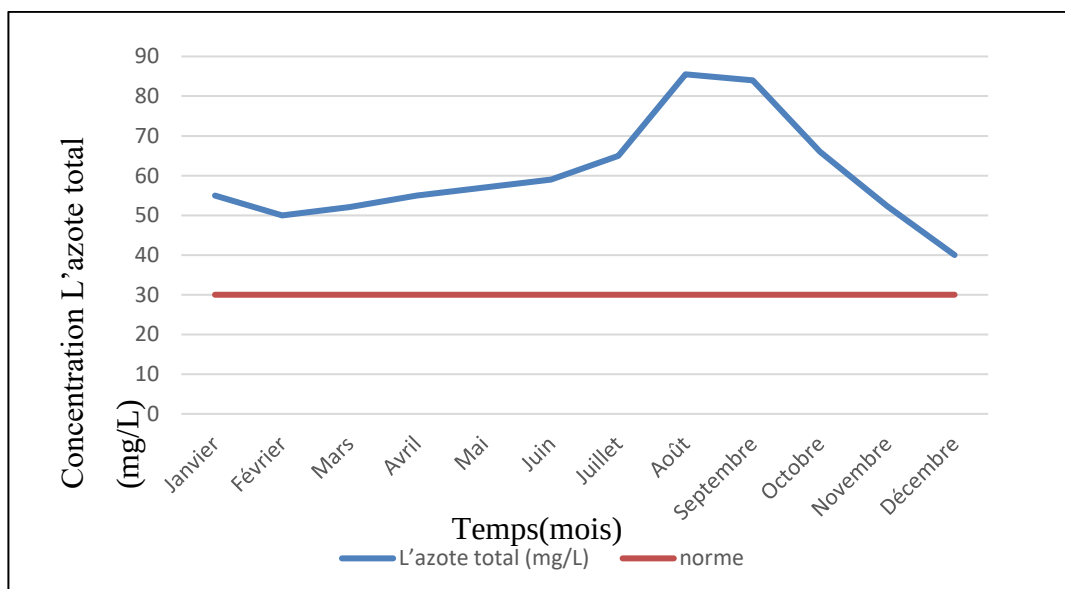


Figure IV.6 : Évolution mensuelle des concentrations en azote total à l'entrée de la STEP de Béni Messous en 2024

Observations

- La concentration d'azote total commence à environ 55 mg/L en janvier, Elle baisse légèrement en février, puis augmente progressivement de mars à juillet.
- Un pic est observé en août 85 mg/L, suivi d'une légère baisse en septembre, À partir d'octobre, la concentration diminue fortement, atteignant environ 40 mg/L en décembre
- La concentration dépasse la norme (30mg/L) durant toute l'année Le dépassement est maximal en août, avec presque le triple de la norme.

Interprétations

- Le pic en période estival peut s'expliquer par des apports azotés liés aux activités agricoles, dans cette période l'usage d'engrais azotés est plus intensif.
- La moyenne mensuelle de concentrations d'azote est très élevée par rapport les normes donc on propose la réalisations ouvrages complémentaires au sein de la STEP. Ces ouvrages pourraient inclure des unités spécifiques de dénitrification biologique, de charbon actif ou des bassins d'affinage naturels.

IV.3.5 Comparaison de phosphore total a l'entrées de la STEP avec les normes.

Seule la concentration en phosphore à l'entrée de la STEP a été analysée, aucun traitement spécifique n'étant mis en place. La réglementation algérienne fixe une limite de rejet de 10mg/L, mais aucune norme n'existe pour la réutilisation des eaux usées traitées.

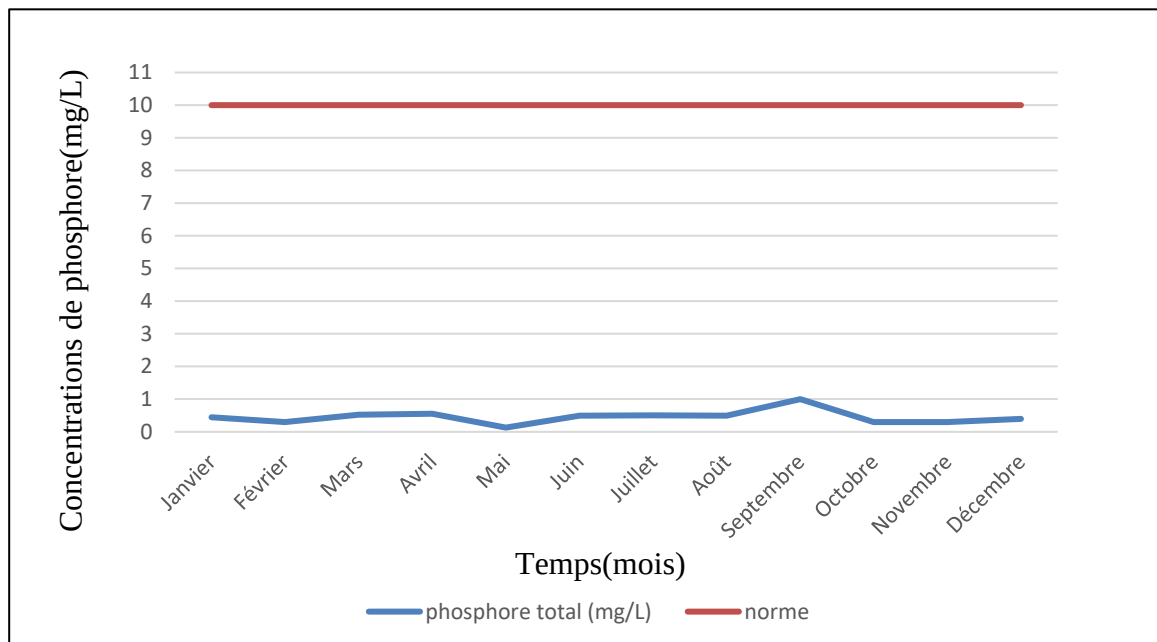


Figure IV.7 : Évolution mensuelle des concentrations en phosphore total à l'entrée de la STEP de Béni Messous en 2024

Observations

- La concentration de phosphore total dans les eaux usées varie entre environ 0.2 mg/L et 1 mg/L tout au long de l'année et les valeurs restent relativement stables au fil des mois, sans pics importants.
- les eaux entrantes de la STEP respect la norme de rejet (10 mg/L)

Interprétations

- L'eau brute entrant dans la STEP contient peu de phosphore à l'origine donc le risque d'eutrophisation causé par le phosphore est très limité.

IV.3.6 Comparaison de pH à l'entrées de la STEP avec les normes.

Le pH permet de mesurer l'acidité ou l'alcalinité des eaux usées, reflétant la concentration en ions hydrogènes (H^+) et hydroxyles (OH^-). Cette grandeur influence directement les processus biologiques et chimiques dans les stations d'épuration et les milieux aquatiques la norme nationale fixe un intervalle acceptable de 6,5 à 8,0 pour les eaux usées traitées

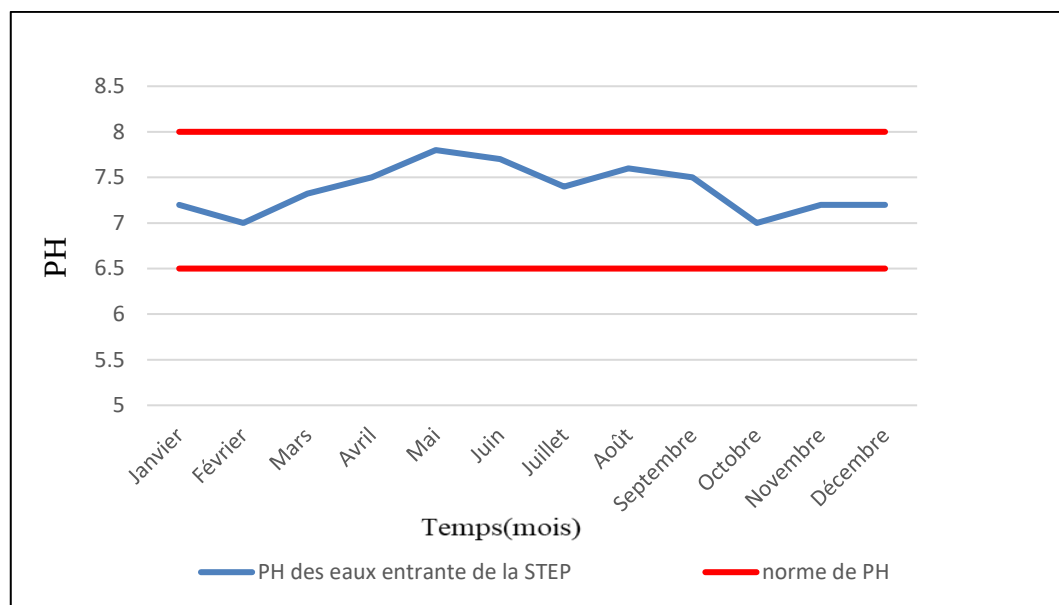


Figure IV.8 : Évolution mensuelle des pH à l'entrée de la STEP de Béni Messous en 2024

Observation

Toutes les valeurs de pH selon l'intervalle de la norme au long de l'année, tel que les valeurs de pH varient entre [7 -7,8]

Interprétations

Les eaux entrantes de la STEP ont PH neutre en fonction des rejets domestiques, industriels et des conditions locales.

IV.4 Ratio caractéristique des eaux usées urbaines

Le ratio caractéristique des eaux usées urbaines fait référence à des rapports entre différents paramètres physico-chimiques qui permettent d'évaluer la composition des eaux usées et de diagnostiquer leur origine.

IV.4.1 Ratio DCO/DBO5

Le rapport DCO/DBO5 sert à évaluer la nature et la biodégradabilité de la pollution organique dans les eaux usées. Ce ratio permet de distinguer la proportion de composés organiques facilement biodégradables (mesurés par la DBO5) par rapport à l'ensemble des composés organiques, y compris ceux difficilement ou non biodégradables (mesurés par la DCO).

Tableau IV.4 : Plage mensuelle du rapport DCO/DBO₅ des eaux usées à l'entrée de la STEP de Béni Messous en 2024

Mois	DCO/DBO5
Janvier	[2.1 – 3]
Février	[1.8 - 2.6]
Mars	[1.5 - 2.5]
Avril	[1 - 2.4]
Mai	[0.9 - 2.1]
Juin	[2.2 - 2.6]
Juillet	[2.1 – 4]
Août	[1.8- 3]
Septembre	[0.7 – 3.2]
Octobre	[1.4 - 3]
Novembre	[1.4- 3.6]
Décembre	[1.6 – 2.9]

Observations

- L'analyse des rapports DCO/DBO₅ révèle que les effluents présentent une biodégradabilité élevée dans environ 50 % des cas, modérée dans 40 % des cas et faible dans près de 10 % des cas.
- On observe que le ratio DCO/DBO₅ atteint les valeurs maximales dans la période estivale (Juin – août)

Interprétations

- Les valeurs maximales de période estivale peuvent s’expliquer par la présence probable de polluants non biodégradables et les conditions climatiques qui ont un impact sur les concentrations des polluants, Le type de pollution des effluents est généralement moyennement biodégradable ce qui implique un traitement biologique adapté

IV.4.2 Ratio MES/DBO₅

Le ratio MES/DBO₅ sert à évaluer la nature physique et biologique des eaux usées, et nous aide à orienter le choix des procédés de traitement. Un ratio élevé traduit une forte charge particulaire, nécessitant un traitement physique important comme la décantation. À l’inverse, un ratio faible indique une proportion plus élevée de matière biodégradable, favorisant l’efficacité des procédés biologiques. Ce paramètre constitue donc un indicateur essentiel pour le dimensionnement et l’optimisation des étapes de traitement.

Tableau IV.5 : Plage mensuelle du rapport MES/DBO₅ des eaux usées à l’entrée de la STEP de Béni Messous en 2024

Mois	MES/DBO ₅
Janvier	[0.6 - 2.3]
Février	[0.4 - 2.1]
Mars	[0.5- 2.1]
Avril	[0.4 – 2]
Mai	[0.5 - 2.2]
Juin	[0.7 - 2.6]
Juillet	[0.6 – 2.6]
Août	[0.6- 2.5]
Septembre	[0.7 – 2.2]
Octobre	[0.7 – 2.3]
Novembre	[0.5- 2.2]
Décembre	[0.4 – 2]

Observations

- L’analyse du rapport MES/DBO₅ indique que les effluents présentent une charge particulaire moyenne dans environ 60 % des cas, faible dans 30 % des cas et élevée dans près de 15–20 % des cas.

- Les valeurs sont comprises entre 0.4 et 2.6, Les mois d'été et d'automne (de juin à octobre) présentent les valeurs maximales les plus élevées (jusqu'à 2.6), indiquant une charge importante en matières en suspension.

Interprétation

Les valeurs du rapport varient globalement entre 0,4 et 2,6, avec des maxima observés durant la période estivale et automnale (juin à octobre), traduisant une augmentation des matières en suspension probablement liée aux apports saisonniers

IV.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons évalué le fonctionnement de la station d'épuration de Beni Messous au cours de l'année 2024. Cette évaluation montre une performance générale satisfaisante, tant en matière de traitement des eaux usées que de respect des normes environnementales. La STEP parvient à assurer des taux d'abattement élevés pour les principaux paramètres physico-chimiques (MES, DBO₅, DCO), garantissant la conformité des rejets dans le milieu naturel dans la majorité des cas.

Cependant, des dépassements des normes ont été observés durant la période estivale, notamment en juin, juillet, août et septembre. Ces anomalies peuvent être attribuées à l'augmentation saisonnière des charges hydrauliques et organiques, liée aux conditions climatiques, à la hausse de la population et à la sollicitation accrue des ouvrages de traitement. Ce qui nous mène à proposer un renforcement des capacités de traitement pour assurer une performance stable tout au long de l'année et de garantir la durabilité environnementale des rejets, particulièrement dans le cadre de la réutilisation agricole et de la préservation de la qualité des eaux de baignade dans le milieu naturel, compte tenu du caractère touristique de la zone.

CHAPITRE V : ESTIMATION DES DÉBITS ET DES CHARGES POLLUANTES

V.1 Introduction

L'estimation des besoins et des charges polluantes constitue une étape indispensable dans le dimensionnement d'une STEP. Cette phase permet de déterminer avec précision les volumes à traiter et la nature et la quantité des polluants à éliminer, tant en charge hydraulique qu'en charge organique.

Dans ce chapitre, nous effectuons les calculs des débits et des charges polluantes générées par les eaux usées domestiques. Ces estimations sont basées sur les données démographiques et les consommations moyennes d'eau. Elles représentent une base pour le dimensionnement des ouvrages de la STEP.

Le dimensionnement et l'estimation des besoins et des charges polluantes seront réalisés à l'horizon 2040 pour le court terme, et à l'horizon 2055 pour le long terme. Cela permet de combiner performance immédiate et adaptabilité future, tout en maîtrisant les coûts et en assurant la continuité du service.

V.2 Evaluation de la population

La station d'épuration de Beni Messous est destinée à traiter les eaux usées issues de sous-bassins : Zéralda, Chéraga, Beni Messous, Staoueli, Ouled Fayet, et Aïn Benian. Pour estimer les débits moyens futurs, nous allons évaluer la population projetée de chaque sous bassin aux horizons 2040 et 2055.

Nous utilisons la formule de croissance démographique suivante :

$$P_H = P_0(1 + \tau)^n \quad (V.1)$$

Tel que :

- P_H : population projetée à l'horizon d'étude.
- P_0 : population de référence (2024).
- τ : Taux d'accroissement.
- n : période de saturation du projet.

Les taux d'accroissements utilisés sont fournis par DRE de la wilaya d'Alger : Zéralda (1,48 %), Chéraga (1,66 %), Beni Messous (1,5 %), Aïn Benian (1,52 %), Ouled Fayet (1,4 %) et Staoueli (1,55 %).

Le tableau V.1 regroupe les prévisions de croissance démographique des communes concernées par l'étude

Tableau V.1: Projection de la population des communes de la zone d'étude pour les années 2040 et 2055

Commune	Population 2025	Population 2040	Population 2055
Ouled Fayet	41 000	49 325	59 324
Chéraga	93 577	125 191	167 464
Beni Messous	40 000	52 103	67 877
Aïn Benian	73 825	95 291	123 059
Zéralda	59 000	74 205	93 321
Staoueli	61 000	79 051	102 463
Total	368 402	475 166	613 508

V.3 Estimation des débits

V.3.1 Débit journalier total

On calcule le débits journalier en utilisant la formule :

$$Q_{dom} = N_{hab} \times Dot \quad (V.2)$$

Avec :

- Q_{dom} : Débit moyen journalier domestique (m^3/j).
- N_{hab} : Nombre d'habitants.
- Dot: Dotation en eau par habitant (L/hab. j), la Dotation fixée à 150 L/hab. j pour les communes.

Les résultats sont présentés dans le tableau V.2 :

Tableau V.2: la consommation journalière en eau domestique aux horizons 2040 et 2055

Horizon	Population en 2040	Population en 2055
Population (habitants)	475 166	613 508
Dotation (l/hab. j)	150	150
Consommation journalière (m^3/j)	72000	92026.2

V.3.2 Besoins des équipements :

Pour déterminer les besoins en eau des équipements, une approche estimative est adoptée. Les besoins en eau des équipements collectifs sont évalués à 10 % des besoins domestiques. À cela s'ajoutent les eaux parasites (infiltrations, raccordements illicites, etc.) représentant environ 5 %. Ainsi, la majoration totale appliquée est de 15 % par rapport aux besoins domestiques :

$$Q_{eq} = 0.15 * Q_{dom} \quad (V.3)$$

- Q_{eq} : débit équipement.
- Q_{dom} : Débit moyen journalier.

Pour l'horizon 2040 : $Q_{eq} = 10691.23 \text{ m}^3/\text{j}$

Pour l'horizon 2055 : $Q_{eq} = 13804 \text{ m}^3/\text{j}$

V.3.3 Le débit journalier total

$$Q_{Jtotal} = Q_{dom} + Q_{eq} \quad (V.4)$$

Pour l'horizon 2040 : $Q_{Jtotal} = 81966.135 \text{ m}^3/\text{j}$

Pour l'horizon 2055 : $Q_{Jtotal} = 105830 \text{ m}^3/\text{j}$

V.3.4 Débit de rejet

Pour calculer le débit de rejet on considère que 80 % de l'eau consommée est rejetée sous forme d'eaux usées La formule utilisée est la suivante :

$$Q_{rej} = Q_{Jtotal} \times 0.8 \quad (V.5)$$

Pour l'horizon 2040 : $Q_{rej} = 65572.90 \text{ m}^3/\text{j}$

Pour l'horizon 2055 : $Q_{rej} = 84664.1 \text{ m}^3/\text{j}$

V.3.5 Débit moyen horaire

$$Q_{moy h} = \frac{Q_{rej}}{24} \quad (V.6)$$

Pour l'horizon 2040 : $Q_{moy h} = 2732.2045 \text{ m}^3/\text{h}$

Pour l'horizon 2055 : $Q_{moy h} = 3527.671 \text{ m}^3/\text{h}$

V.3.6 Débit moyen horaire diurne

Pour calculer le Débit moyen horaire diurne on utilise la formule suivante qui est une approximation courante dans le domaine de l'assainissement

$$Q_d = \frac{Q_j}{16} \quad (V.7)$$

Pour l'horizon 2040 : $Q_d = 4098.30675 \text{ m}^3/\text{h}$

pour l'horizon 2055 : $Q_d = 5291.507 \text{ m}^3/\text{h}$

V.3.7 Débit de pointe en temps sec

Le débit de pointe en temps sec est déterminé par la formule :

$$Q_{pts} = Q_{rej} \times C_p \quad (V.8)$$

- Q_{pts} : débit de point par temps sec.
- Q_{rej} : débit moyen journalier des eaux usées rejeté (m^3/j).
- C_p : coefficient de pointe.

Pour coefficient de pointe est calculer à partir de débit moyen tel que

Si $Q_{moy} \geq 2.8 \text{ l/s}$

$$C_p = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_{moy}}} \quad (V.9)$$

Si $Q_{moy} < 2.8 \text{ l/s}$

$$C_p = 3$$

Pour l'horizon 2040:

$Q_{moy} = 758.9456 \text{ l/s}$

$C_p = 1.60$

$Q_{pts} = 104309.9393 \text{ m}^3/\text{j}$

pour l'horizon 2055 :

$Q_{moy} = 979.9086 \text{ l/s}$

$C_p = 1.59$

$Q_{pts} = 133757.7 \text{ m}^3/\text{j}$

V.3.8 Débit de temps de pluie

Le débit de pointe en temps de pluie est donné par la relation suivante:

$$Q_{ptp} = (3 \text{ à } 5) \times Q_{pts} \quad (V.10)$$

- Q_{ptp} : Débit de point en temps de pluie ($3 \times Q_{pts}$).

- Q_{pts} : Débit de point en temps sec.

Pour l'horizon 2040 : $Q_{ptp} = 312929.8179 \text{ m}^3/\text{j}$

pour l'horizon 2055 : $Q_{ptp} = 401273.1 \text{ m}^3/\text{j}$

Les résultats sont présentés dans le tableau V.3 :

Tableau V.3 : Résumé des débits calculés aux horizons 2040 et 2055

Horizon	Q_{Jtotal} (m^3/j)	Q_{rej} (m^3/j)	$Q_{moy h}$ (m^3/h)	Q_d (m^3/h)	C_p	Q_{pts} (m^3/j)	Q_{ptp} (m^3/j)
2040	81966.14	65572.90	2732.20	4098.30	1.60	104309.93	312929.81
2055	105830.10	84664.10	3527.67	5291.50	1.59	133757.70	401273.10

V.3.9 Calcule débit de l'extension

Débit extension= Débit Horizon - Débit existant

Pour l'horizon 2040 : $Q_{pts\ ex} = 4309 \text{ m}^3/\text{j}$ et $Q_{ptp\ ex} = 3 \times 4309 = 12927 \text{ m}^3/\text{j}$

pour l'horizon 2055 : $Q_{pts\ ex} = 33000 \text{ m}^3/\text{j}$ et $Q_{ptp\ ex} = 3 \times 33000 = 100000 \text{ m}^3/\text{j}$

L'analyse des prévisions démographiques et des charges polluantes montre un dépassement progressif des capacités actuelles de la station d'épuration. À l'horizon 2040, le volume excédentaire à traiter est estimé à $4\,309 \text{ m}^3/\text{jour}$. Ce dépassement atteint $33\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$ en 2055, soit plus de huit fois celui de 2040.

Nous allons choisir de faire un dimensionnement pour une extension unique, dimensionnée pour répondre aux besoins de 2055. Cette solution est la plus efficiente, soit sur le plan technique qu'économique, réaliser une première extension en 2040 entraînerait des coûts plus élevés, des interruptions fréquentes dues aux travaux, ainsi qu'une gestion plus complexe de l'exploitation. À l'inverse, concevoir dès maintenant une extension de grande capacité, avec une mise en service progressive en fonction de l'augmentation des charges, permet de mieux planifier les travaux, de réduire les coûts à long terme, et de garantir la conformité de la station aux normes environnementales dans la durée.

V.3.10 Détermination du nombre d'équivalent habitants

$$N_{EH} = \frac{Q_{moy.j}}{dot \times Cr} \quad (V.11)$$

$$N_{EH} = 281315 \text{ Eq hab.}$$

V.4 Estimation des charges polluantes

On va calculer les charges polluantes à l'aide de la relation suivante :

$$\text{Charge polluante} = \text{débit de l'extension} \times \text{Concentration}$$

Tableau V.4 : les charges polluantes pour l'horizon 2055

Paramètre	Unité	Concentration (mg/L)	Charge polluante (kg/j)
MES	mg/L	320	10 880
DCO	mg O ₂ /L	470	15 980
DBO ₅	mg O ₂ /L	310	10 540
Azote total	mg/L	70	2 380
Phosphore total	mg/L	0.5	17
pH	-	7.8	—

➤ La biodégradabilité

Les eaux usées domestiques sont facilement biodégradable.

$$\frac{DCO}{DBO_5} = 1.47 < 2$$

V.5 Étapes de traitement des eaux usées pour le redimensionnement à l'horizon

Calcul du rendement d'élimination de la DBO₅ :

$$R = \frac{[DBO_5]_e - [DBO_5]_s}{[DBO_5]_e} \times 100 \quad (V.12)$$

$$R = \frac{310 - 30}{310} \times 100 = 90.3\%$$

$[DBO_5]_e$: la concentration en DBO5 à l'entrée de la STEP.

$[DBO_5]_s$: La concentration en DBO5 à la sortie de la STEP, fixée à 30 mg/l.

Les eaux usées traitées à la STEP de Beni Messous sont donc des eaux usées domestiques moyennement chargées, ce qui justifie la mise en œuvre d'un traitement en plusieurs étapes.

Le processus de traitement comprend les étapes suivantes : Traitement primaire- Traitement secondaire- Traitement tertiaire.

V.5.1 Traitement primaire

L'objectif du traitement primaire est d'éliminer les matières en suspension ainsi qu'une partie de la DBO₅ et de la DCO. Il est assuré par un décanteur primaire dont les taux d'abattement typiques sont :

- MES : 60 %
- DBO₅ : 35 %
- DCO : 35 % [23]

V.5.2 Traitement secondaire

L'objectif du traitement secondaire est d'éliminer la charge organique dissoute ainsi que les nutriments. Il est assuré par un bassin d'aération et un bassin d'anoxie fonctionnant selon le procédé des boues activées, suivis d'un clarificateur ou décanteur secondaire. Les performances épuratoires typiques de ce traitement se traduisent par des taux d'abattement d'environ :

- MES : 70 %
- DBO₅ : 90 %
- DCO : 90 % [24]
- Azote total : 80 %
- Phosphore : 80 % [24]

V.5.3 Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire permet de garantir que l'eau épurée respecte les normes de qualité exigées, tout en assurant la sécurité sanitaire pour les usages en aval, notamment en cas de réutilisation. Il est généralement assuré par une filtration sur sable, qui permet des taux d'abattement moyens de 70 % pour les MES, 35 % pour la DCO et 20 % pour la DBO₅ [18], suivie d'une désinfection par rayons UV afin d'éliminer les microorganismes pathogènes.

V.6 Conformité des rejets projetés de la STEP

Tableau V.5 : Comparaison des concentrations en sortie de la STEP avec les normes algériennes de rejet

Paramètre	Sortie	Norme algérienne	Conformité
MES	11.5 mg/L	≤ 30 mg/L	Oui
DCO	16.2 mg O ₂ /L	≤ 90 mg/L	Oui
DBO ₅	19.9 mg O ₂ /L	≤ 30 mg/L	Oui
Azote total	14.0 mg N/L	≤ 30 mg/L	Oui
pH	7.8	6.5–8.5	Oui

V.7 Filière boues : procédés de traitement et valorisation à l'horizon

Le traitement des boues a pour objectif de réduire leur volume, stabiliser leur matière organique et permettre leur valorisation ou élimination dans de bonnes conditions sanitaires et environnementales.

- Épaississeur : il permet de concentrer les boues en augmentant leur siccité et en réduisant leur volume, facilitant ainsi les étapes ultérieures de traitement.
- Digesteur anaérobie : il assure la stabilisation de la matière organique par dégradation biologique en absence d'oxygène, tout en produisant du biogaz valorisable en énergie. Cette étape permet également de réduire les nuisances olfactives et d'améliorer l'hygiénisation des boues.
- Filtre à bande : il sert à déshydrater les boues digérées en extrayant une partie importante de l'eau résiduelle. On obtient ainsi des boues déshydratées avec une siccité plus élevée, réduisant les coûts de transport et favorisant leur valorisation agricole ou énergétique.

V.8 Recommandation Technique pour le Traitement Actuel

La STEP de Béni Messous ne dispose pas d'un procédé spécifique de traitement de l'azote. Dans l'attente de la mise en œuvre de l'extension prévue, il est recommandé d'adopter une solution transitoire consistant à renforcer l'aération et à alterner le fonctionnement en mode discontinu. Cette stratégie permettrait de créer, de façon cyclique, des conditions aérobies et

anoxiques favorables aux processus de nitrification–dénitrification, améliorant ainsi l'élimination de l'azote avec les moyens existants.

V.9 Conclusion

Ce chapitre a permis d'établir une base solide pour le dimensionnement de la STEP de Beni Messous. Grâce à une projection démographique précise et au calcul rigoureux des débits et des charges polluantes, les besoins futurs ont été clairement définis. L'étude a montré qu'une extension unique à l'horizon 2055 est plus avantageuse qu'un développement progressif. Les charges polluantes élevées confirment la nécessité d'un traitement biologique efficace, complété par un traitement tertiaire, afin de garantir le respect des normes de rejet.

CHAPITRE VI : DIMENSIONNEMENT DE L'EXTENSION À L'HORIZON 2055

VI.1 Introduction

Après la réalisation de l'étude de performance sur la STEP de Beni Messous, nous avons constaté plusieurs dysfonctionnements, notamment durant la saison estivale. Ces perturbations sont principalement dues à une surcharge hydraulique et organique, nécessitant un traitement adapté et un renforcement des ouvrages de la STEP.

Ce chapitre est dédié au dimensionnement des ouvrages nécessaires à l'extension de la station, en se basant sur des projections à l'horizon 2055. L'objectif est d'anticiper l'évolution démographique et l'augmentation des charges polluantes pour adapter les ouvrages de traitement aux exigences futures en assurant que l'eau traitée soit conforme soit aux normes de réutilisation en agriculture, soit aux normes de rejet dans le milieu naturel.

VI.2 Dimensionnement des ouvrages de traitement des eaux usées

VI.2.1 Dimensionnement des ouvrages de traitement primaire

VI.2.1.1 Décanteur primaire :

Pour le dimensionnement décanteur primaire, on choisit un décanteur de forme circulaire, car cette configuration présente des avantages économiques par rapport aux formes rectangulaire.

Les données de base de dimensionnement

- Temps de séjour (T_s) : 2 heures
- Débit moyenne horaire $Q_{moy h} = 2732.20 \text{ m}^3/\text{h}$
- La vitesse limite de chute donnée est par la relation :

$$V_{lim} = \frac{Q_{ptp}}{S_h} \quad (\text{VI. 1})$$

V_{lim} : vitesse limite de chute (m/h),

Q_{ptp} : Débit de pointe de temps de pluie (m^3/h),

S_h : surface horizontale du décanteur (m^2).

On calcule d'abord le rapport K pour déterminer V_{lim} :

$$K = \frac{Q_{ptp}}{Q_{moy h}} \quad (\text{VI. 2})$$

$$K = 1.5$$

On prend la valeur de vitesse limite de chute en utilisant le tableau VI.1 :

Tableau VI.1: valeur de vitesse limite de chute en fonction de K

K	2,5	3	5	8	10
V_{lim}	2	2.5	3.75	5	6

Donc on prend : $V_{lim} = 2 \text{ m/h}$.

➤ Volume du décanteur :

$$V_{dec} = Q_{ptp} \times T_s \quad (\text{VI. 3})$$

$$V_{dec} = 2778 \text{ m}^3$$

- Q_{ptp} : Débit de pointe en temps de pluie
- T_s : Temps de séjour

➤ Surface du décanteur :

$$S_h = \frac{Q}{V_{lim}} \quad (\text{VI. 4})$$

$$S_h = 695 \text{ m}^2$$

➤ Hauteur du décanteur :

$$H = \frac{V_{dec}}{S_h} \quad (\text{VI. 5})$$

$$H = 4 \text{ m}$$

➤ Diamètre du décanteur :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S_h}{\pi}} \quad (\text{VI. 6})$$

$$D = 29.74 \text{ m}$$

Tableau VI.2: Tableau récapitulatif des caractéristiques du décanteur primaire

Paramètre	Unité	Valeur
Surface horizontale	m ²	2083.34
Temps de séjour	h	2.00
Volume du décanteur	m ³	8333.34
Hauteur du décanteur	m	4.00
Diamètre du décanteur	m	29.74

VI.2.2 Ouvrages de traitement secondaire

VI.2.2.1 Bassin d'aération (Boues Activées)

Calcul du rendement d'élimination :

$$R = \frac{[DBO_5]_e - [DBO_5]_s}{[DBO_5]_e} \quad (\text{VI. 7})$$

$[DBO_5]_e$: la concentration en DBO5 à l'entrée du bassin.

$[DBO_5]_s$: La concentration en DBO5 à la sortie du bassin, fixée à 30 mg/l.

$[DBO_5]_e = 170.5 \text{ mg/l}$

$$R = \frac{170.5 - 30}{170.5} = 82.4\%$$

Tableau VI.3: classes du procédé du traitement biologique à boues activées

Type	Cv (kg DBO ₅ /m ³ ·j)	Cm (kg DBO ₅ /kg MVS ·j)	Temps de séjour (h)	Rendement DBO ₅ (%)
Très faible charge	< 0,3	< 0,1	> 20	> 90
Faible charge	0,3 – 0,7	0,1 – 0,25	8 – 10	> 90
Moyenne charge	0,7 – 1,5	0,25 – 0,50	4 – 6	>85
Forte charge	1,5 – 3	0,5 – 1,5	2 – 4	70 – 80
Très forte charge	> 3	> 1,5	1	70

D'après le tableau Le type de traitement biologique adopté est un procédé à boues activées à moyenne charge

$0.25 < C_m < 0.5 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS} \cdot j$

$0.7 < C_v < 1.5 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot j$

➤ Calcul du Volume du Bassin d'Aération

Charge volumique (Cv) : $1.4 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3 \cdot j$

DBO₅ entrante (L₀) : $10\,540 \text{ kg/j}$

$$V_{\text{bassin}} = \frac{l_0}{c_v} \quad (\text{VI. 8})$$

$$V_{\text{bassin}} = 7528.57 \approx 8000 \text{ m}^3$$

➤ La hauteur de bassin biologique

On pose une hauteur de bassin H=5m pour une bonne oxygénation et mélange

- La surface horizontale de bassin biologique :

$$S_h = \frac{V}{h} \quad (\text{VI. 9})$$

$$S_h = 1600 \text{ m}^2$$

Nous choisissons de réaliser un bassin d'un volume de 8 000 m³, en cohérence avec l'existant, puisque la station d'épuration est déjà équipée de quatre bassins de 9 400 m³ chacun.

- Longueur de bassin :

On prend $l = 60 \text{ m}$ Ce qui est standard pour un écoulement optimal et éviter les zones mortes

- Largeur (B) :

$$B = \frac{S}{l} \quad (\text{VI. 10})$$

$$B = 26.7 \approx 27 \text{ m}$$

Le bassin biologique est dimensionné en tenant compte d'un rapport Longueur / Largeur adapté pour optimiser le fonctionnement hydraulique et le brassage dans le bassin. les dimensions obtenu sont :

- Longueur (L) = 60 m
- Largeur (B) = 27 m

Le rapport Longueur sur Largeur est donc :2.22, ce qui est conforme aux recommandations (2:1–10:1) [18], Ce rapport favorise une bonne circulation de l'eau et un temps de séjour suffisant pour les réactions biologiques. Un tel rapport permet de limiter les zones mortes et d'améliorer le rendement épuratoire.

- Temps de séjours :

$$T_s = \frac{V}{Q_{ptp}} \quad (\text{VI. 11})$$

$$T_s = 5.76 \text{ h}$$

- Calcul des charger polluantes et la concentration des boues :

- ❖ La charge de DBO5 éliminé :

$$L_e = R \times L_0 \quad (\text{VI. 12})$$

$$L_e = 9486 \text{ kg/j}$$

- ❖ La charger de DBO5 à la sortie du bassin (L_s) :

$$L_s = L_0 - L_e \quad (\text{VI. 13})$$

$$L_s = 1054 \text{ kg/j}$$

- La masse des boues dans le bassin :

$$X_t = \frac{L_0}{c_m} \quad (\text{VI. 14})$$

$$X_t = 35133.33 \text{ kg}$$

- La concentration des boues dans le bassin :

$$[X_a] = \frac{X_t}{V} \quad (\text{VI. 15})$$

$$[X_a] = 4.39 \text{ kg MVS/m}^3$$

Tableau VI.4: Tableau récapitulatif des caractéristiques du bassin d'aération

Paramètre	Unité	Valeur
Volume du bassin (V)	m ³	8 000
Hauteur du bassin (H)	m	5
Surface horizontale (S _h)	m ²	1 600
Longueur (L)	m	60
Largeur (B)	m	27
Rapport L/B	–	2.22

VI.2.2.2 Dimensionnement du bassin d'anoxie

- Le volume du bassin :

$$V_{anoxie} = \frac{Q[S(NO_3)_e - S(NO_3)_s]}{X v_{den}} \quad (\text{VI. 16})$$

$$V_{anoxie} = 1519 \text{ m}^3$$

- V_{anoxie} : Volume du bassin d'anoxie (m³)
- Q : débit entrant dans le bassin (m³/j)
- $S(NO_3)_e$: Concentration en NO₃ à l'entrée du bassin, 70mg/l.
- $S(NO_3)_s$: Concentration en NO₃ à la sortie du bassin 30mg/l fixe par la norme
- X : Concentration de la boue 4.39kg MVS/m³
- v_{den} : 0.2 kg NO₃-N/kg MVS · j, pour les systèmes à moyenne charge

- Le temps de séjour :

$$T_s = \frac{V_{anoxie}}{Q} = \frac{3038}{1389} = 1.10 \text{ h} \quad (\text{VI. 17})$$

Le temps de séjour d'anoxie calculé se situe bien dans l'intervalle recommandé de 1 à 3 heures.

- La Hauteur: on pose $H = 5$ m pour avoir une homogénéité avec le bassin d'aération
- La surface

$$S = \frac{V}{H} \quad (\text{VI. 18})$$

$$S = 303.8 \text{ m}^2$$

- Longueur (L) et Largeur (B) :

On pose $L = 25$ m

Donc :

$$B = \frac{S}{L} \quad (\text{VI. 19})$$

$$B = 12.15 \text{ m} \approx 13 \text{ m}$$

Le rapport Longueur sur Largeur est donc : 1.92, ce qui conforme aux recommandations (1.5:1–2.2:1) [25]

Tableau VI.5: Tableau récapitulatif des caractéristiques du bassin d'anoxie

Paramètre	Unité	Valeur
Volume du bassin	m ³	1519
Temps de séjour	h	1.10
Hauteur du bassin	m	5
Surface du bassin	m ²	303.8
Longueur du bassin	m	25
Largeur du bassin	m	13

VI.2.2.3 Oxygène totale consommé dans le traitement biologique

La quantité d'oxygène totale nécessaire pour assurer un traitement biologique est calculée avec la formule suivante :

$$\text{besoin en } O_2 (\text{kg/j}) = a' \cdot L_e + b' \cdot X_t + 4.3N_n - 2.85c' \cdot N_{DN} \quad (\text{VI. 20})$$

a' : quantité de O₂ nécessaire à l'oxydation de 1 kg de DBO₅

L_e : quantité de BDO à éliminer en Kg/J

b' : quantité de O₂ nécessaire à la respiration endogène de 1 kg de MVS de boues par jour

X_t : Masse de la biomasse dans le bassin d'aération en Kg

4.3 : Taux de conversion de l'azote réduit en azote nitrique

2,85 : Taux de conversion de l'azote

c' : Fraction de O₂ des NO₃⁻ récupérée par dénitrification (entre 60-70%)

N_{DN} : Flux d'azote à dénitrifier

Pour a' , b' utilise des valeurs typiques donnés pour le traitement moyennement charge [26]

Tel que

$$a' = 0.55 \quad b' = 0.07$$

On calcule aussi N_n : Flux d'azote à nitrifier :

Tableau VI.6: paramètres pour le calcul de la nitrification

Paramètre	Unité	Valeur
Débit	m ³ /j	33 336
[NH ₄ ⁺] entrante	mg/L	70
[NH ₄ ⁺] sortante	mg/L	30
DBO ₅ éliminée	kg/j	9 486

➤ Charge NH₄⁺ entrante/sortante :

$$NH^{4+} \text{ entrant} = \text{Débit} \times R \quad (\text{VI. 21})$$

$$NH^{4+} \text{ entrant} = 2333.5 \text{ kg N/j}$$

$$NH^{4+} \text{ sortant} = \text{Débit} \times (1 - R) \quad (\text{VI. 22})$$

$$NH^{4+} \text{ sortant} = 1000 \text{ kg N/j}$$

➤ Azote assimilé par les boues :

$$NH^{4+} \text{ boues} = R \times \text{DBO}_5 \text{ éliminée} \quad (\text{VI. 23})$$

$$NH^{4+} \text{ boues} = 474 \text{ kg N/j}$$

➤ Azote à nitrifier N_n :

$$N_n = NH^{4+} \text{ entrant} - NH^{4+} \text{ sortant} - NH^{4+} \text{ boues} \quad (\text{VI. 24})$$

$$N_n = 859.5 \text{ kg N/j}$$

➤ besoin en O₂ = 8906 kg/O₂/j

➤ La quantité horaire d'oxygène nécessaire :

$$q_h = \frac{\text{besoin en } O_2}{24h} \quad (\text{VI. 25})$$

$$q_h = 371.08 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

VI.2.2.4 Bilan des boues

- Calcul de la quantité de boues en excès

La quantité de boues en excès est déterminée à l'aide de la formule d'Eckenfelder :

$$\Delta X = X_{min} + X_{dur} + am \times X_t - b \times X_a - X_{eff} \quad (\text{VI. 26})$$

X_{min} : Boues minérales (estimées à 30 % des MES).

X_{dur} : Boues difficilement biodégradables, représentant environ 30 à 35 % des MVS.

X_t : Masse totale de matières volatiles en suspension dans le bassin

X_{eff} : Quantité de boues rejetées avec l'effluent final

am : Coefficient de rendement cellulaire

b : Coefficient de respiration endogène

Tableau VI.7 : Valeurs moyennes des paramètres am et b

Paramètre	Forte charge	Charge moyenne	Faible charge
am	0.50	0.53	0.55
b	0.06	0.055	0.05

On prend $am=0.53$, $b=0.055$

- Calcul des Composantes

- ❖ Boues minérales :

$$X_{min} = 0.3 \times \text{MES} \quad (\text{VI. 27})$$

$$X_{min} = 3264 \text{ kg/j}$$

- ❖ Boues durcies :

$$X_{dur} = 0.325 \times \text{MVS} \quad (\text{VI. 28})$$

$$X_{dur} = 11418 \text{ kg/j}$$

- ❖ Production de biomasse :

$$\text{Production de biomasse} = am \times X_t \quad (\text{VI. 29})$$

$$am \times X_t = 18620 \text{ kg/j}$$

- ❖ Respiration endogène :

On suppose $X_a \approx X_t$

$$\text{Respiration endogène} = b \times X_a \quad (\text{VI. 30})$$

$$b \times Xa = 1932 \text{ kg/j}$$

❖ Boues dans l'effluent :

$$X_{eff} = DBO_{5eff} \times Q_{eff} \quad (\text{VI. 31})$$

$$X_{eff} = 1000 \text{ kg/j}$$

➤ Calcul final de ΔX

$$\Delta X = 30\,370 \text{ kg/j}$$

➤ Concentration des boues en excès

Elle est donnée par la formule suivante :

$$X_m = \frac{1200}{I_m} \quad (\text{VI. 32})$$

$$X_m = 13.33 \text{ kg/m}^3$$

Avec :

X_m : Concentration des boues en excès (en kg/m^3)

I_m : Indice de Mohlman

pour la STEP de béni Messous $I_m = 90$

Interprétation de l'indice I_m :

- Si $80 < I_m < 150$, les boues sont bien décantables.
- Si $I_m < 80$, la décantation est très bonne, mais les boues sont difficilement pompables.
- Si $I_m \approx 150$, la décantation est très lente.

➤ Débit des boues en excès :

$$Q_{excès} = \frac{\Delta X}{X_m} \quad (\text{VI. 33})$$

$$Q_{excès} = 2278 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ Débit spécifique :

$$q_{sp} = \frac{\Delta X}{V}$$

$$q_{sp} = 2.75 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{j} \quad (\text{VI. 34})$$

➤ Taux de recyclage :

$$R = \frac{[Xa]}{\left(\frac{1200}{I_m} - [Xa]\right)} \quad (\text{VI. 35})$$

$$R = 50\%$$

– $[Xa]$: Concentration des boues activées (kg/m^3)

- I_m : Indice de Mohlman

- Débit de boues recyclées :

$$Q_r = R \times Q_{moy} \quad (\text{VI. 36})$$

$$Q_r = 16368 \text{ m}^3/\text{jour}$$

- Âge des boues :

$$A_b = X_a / \Delta X \quad (\text{VI. 37})$$

$$A_b \approx 2 \text{ jours}$$

VI.2.2.5 Dimensionnement du Clarificateur

Tableau VI.8 : Données de base pour le dimensionnement du clarificateur

Paramètre	Unités	Valeur
Temps de séjour (T_s)	h	3
Hauteur utile (H)	m	4
Concentration en boues (X_a)	kg MVS/m ³	4.39
Indice de Mohlman (I_m)	—	90

- Volume du clarificateur

On a Indice de Mohlman (I_m) < 150 donc on doit prendre un temps de séjours compris entre 1.5 et 3 heures

Et on prend : $V_{lim} = 2 \text{ m/h}$.

$$V_{cla} = Q_{ptp} \times T_s \quad (\text{VI. 38})$$

$$V_{cla} = 2778 \text{ m}^3$$

V_{cla} : Volume du clarificateur.

T_s : Temps de séjour.

- Surface du clarificateur :

$$S_h = \frac{Q}{v_{lim}} \quad (\text{VI. 39})$$

$$S_h = 695 \text{ m}^2$$

- Hauteur du clarificateur:

$$H = \frac{V_{dec}}{S_h} \quad (\text{VI. 40})$$

$$H = 4 \text{ m}$$

- Diamètre du clarificateur :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S_h}{\pi}} \quad (\text{VI. 41}) \quad D = 29.74 \text{ m}$$

Tableau VI.9 : récapitulatif des résultats de dimensionnement du clarificateur

Grandeur	Unité	Valeur
Volume du clarificateur	m ³	2778
Surface horizontale (Sh)	m ²	694.5
Diamètre (D)	m	29.74

VI.2.3 Traitement tertiaire

VI.2.3.1 Dimensionnement de filtre à sable

Le choix du sable est très important pour le bon fonctionnement du filtre. Un sable avec un diamètre moyen de 1 mm a été choisi Avec une porosité de 0.5, le sable permet un bon débit et une filtration efficace

- La surface du lit de sable :

$$V_f = \frac{Q_{ptp}}{S} \quad (\text{VI. 42})$$

$$S = \frac{Q_{ptp}}{V_f} \quad (\text{VI. 43})$$

V_f : Vitesse de filtration ,On prend $V_f = 6 \text{ m/h}$

$$S = \frac{1389}{6} = 231.5 \approx 232 \text{ m}^2$$

- Pertes de charge (SUEZ)

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{150\mu(1-c)^2v}{d_p^2 c^3} + \frac{1.75\rho(1-c)v^2}{d_p c^3} \quad (\text{VI. 44})$$

ΔP : Perte de charge (m)

H : Hauteur du lit de sable (m), on prend 1.5 m

V : Vitesse de filtration (m/s)

d : Diamètre moyen des particules (m)

ρ : Masse volumique du sable (kg/m³), $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$

μ : Viscosité dynamique de l'eau à 20 °C (Pa. s)

c : Porosité initiale du lit

$$\frac{\Delta p}{H} = 0.0562 \rightarrow \Delta P = 0.09 \text{ m} = 9 \text{ cm}$$

VI.2.3.2 Dimensionnement du rétro-lavage

- Vitesse de sédimentation de l'eau dans le média filtrant

La vitesse de sédimentation réelle d'une particule dans un fluide, notée U_t (en m/s), est déterminée à partir de la relation suivante :

$$U_t = U_{t'} \times [\mu_f \times (\rho_p - \rho_f) \times g / \rho_f^2]^{-1/3} \quad (\text{VI. 45})$$

$$U_t = 8.22 \times 10^{-3}$$

Où :

U_t : Vitesse de sédimentation réelle (m/s)

$U_{t'}$: Vitesse terminale adimensionnelle

ρ_f : Masse volumique du fluide (kg/m³)

μ_f : Viscosité dynamique du fluide (Pa · s)

ρ_p : Masse volumique des particules (kg/m³)

g : Accélération de la pesanteur (9.81 m/s²)

La vitesse terminale adimensionnelle $U_{t'}$ se calcule selon la formule empirique suivante :

$$U_{t'} = [18 / (C_d \times dp^2) + (2,355 - 1,744 \times \Phi) / dp^{0.5}]^{-1} \quad (\text{VI. 46})$$

$$U_{t'} = 2.22 \times 10^{-3}$$

Où :

dp : Diamètre des particules (m)

Φ : Facteur de forme des particules (sans dimension)

C_d : Coefficient de traînée, dépendant de Φ

Tableau VI.10 : Propriétés physiques des fluides utilisés lors du rétro-lavage

Fluide	Masse volumique ρ_f (kg/m ³)	Viscosité dynamique μ_f (Pa · s)
Eau	1000	10^{-3}
Air sec	1.204	1.87×10^{-5}

➤ Vitesse de rétro-lavage :

$$V_{lavage} = 0.1 \times U_t = 8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

La vitesse de rétro-lavage est prise comme 10 % de la vitesse de sédimentation du média filtrant, la Norme AWWA B100-09 Recommande des vitesses de 5 à 15% de U_t selon le type de média filtrant. Propose aussi une répartition typique des débits, à raison de 80 % pour l'eau et 20 % pour l'air. Cette répartition vise à assurer un brassage efficace du lit filtrant tout en limitant la consommation d'air comprimé

➤ Débit total de lavage :

$$Q_{lavage} = V_{lavage} \times S_{lit} \quad (\text{VI. 47})$$

$$Q_{lavage} = 0.206 m^3/s = 742 m^3/h$$

❖ Débit d'eau: $Q_{eau} = 0,8 \times 742 = 593.6 m^3/h$

❖ Débit d'air : $Q_{air} = 0,2 \times 742 = 148.4 m^3/h$

➤ Perte de charge pendant le lavage :

$$\Delta P_{lavage} = H \times g \times (1 - \varepsilon) \times (\rho_p - \rho_f) = 11772 \text{ pa} \quad (\text{VI. 48})$$

➤ Volume d'eau de lavage

Durée typique = 10 min = 600 s

$$V_{eau} = Q_{eau} \times t \quad (\text{VI. 49})$$

$$V_{eau} = 99 m^3 \approx 100 m^3$$

VI.2.3.3 Dimensionnement du Bassin de Rayonnement UV

Tableau VI.11 : données de base pour le dimensionnement du bassin UV [27]

Paramètre	Unité	Valeur
Débit	m ³ /h	1 389
Transmittance UV	%	80
Dose UV requise	mJ/cm ²	40
Puissance lampe	W	300
Hauteur réacteur	m	0.3
Temps de contact	s	10

➤ Intensité UV = Dose UV / Temps de contact (VI. 50)

$$\text{Intensité UV} = 4 \text{ mW/cm}^2$$

➤ Surface d'exposition UV = Débit à traiter / (Intensité × Transmission) (VI. 51)

$$\text{Surface d'exposition UV} = 44 \text{ m}^2$$

➤ La largeur

La largeur du bassin est souvent déterminée par la longueur standard des lampes UV ou par des modules préfabriqués. Une largeur courante pour un réacteur de cette taille est de 2 mètres. Nous utiliserons cette valeur.

➤ Volume du réacteur = Surface d'exposition × Hauteur du réacteur (VI. 52)

$$\text{Volume du réacteur} = 13 \text{ m}^3$$

➤ Temps de rétention = Volume du réacteur / Débit à traiter (VI. 53)

$$\text{Temps de rétention} = 34 \text{ s}$$

- Dose effective = Transmission UV $\times$ Dose UV (VI. 54)

$$\text{Dose effective} = 32 \text{ mJ/cm}^2$$

- Capacité utile = Puissance de la lampe $\times$ Transmission UV (VI. 55)

$$\text{Capacité utile} = 240 \text{ mJ/s}$$

- Débit par lampe = Capacité utile de la lampe / Dose cumulée (VI. 56)

$$\text{Débit par lampe} = 21.6 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Nombre de lampes = Débit total à traiter / Débit par lampe (VI. 57)

$$\text{Nombre de lampes} = 64 \text{ lampes}$$

Tableau VI.12 : Dimensionnement du réacteur UV

Paramètre	Unité	Résultat
Intensité UV	mW/cm ²	4
Surface d'exposition UV	m ²	44
Volume du réacteur	m ³	13
Temps de rétention	s	34
Dose effective	mJ/cm ²	32
Capacité utile par lampe	mJ/s	240
Débit par lampe	m ³ /h	21.6
Nombre de lampes	lampes	64

VI.3 Dimensionnement des ouvrages traitement des boues

VI.3.1 Épaississeur

les boues primaires et secondaires sont dirigées vers un épaississeur pour réduire leur volume et augmenter leur concentration avant digestion avec :

$$\Delta X_p = 5222 \text{ kg/j (boues primaires)}$$

$$\Delta X_s = 5549 \text{ kg/j (boues secondaires)}$$

$$S_1 = 25 \text{ g/L}, S_2 = 8 \text{ g/L}$$

$$T_s = 2 \text{ j}$$

$$H = 3 \text{ m}$$

$$C_{be} = 70 \text{ g/L Concentration des boues épaissies}$$

- Débit total des boues :

$$Q_T = Q_P + Q_S \quad (\text{VI. 58})$$

$$Q_T = 902.5 \text{ m}^3/\text{j}$$

- ❖ Débit des boues primaires :

$$Q_p = \Delta X_p / S_1 \quad (\text{VI. 59})$$

$$Q_p = 208.9 \text{ m}^3/\text{j}$$

❖ Débit des boues secondaires :

$$Q_s = \Delta X_s / S_2 \quad (\text{VI. 60})$$

$$Q_s = 693.6 \text{ m}^3/\text{j}$$

➤ Concentration du mélange :

$$S_{\text{mélange}} = (\Delta X_p + \Delta X_s) / Q_t \quad (\text{VI. 61})$$

$$S_{\text{mélange}} = 11.9 \text{ g/L}$$

➤ Volume de l'épaississeur :

$$V_e = Q_t \times T_s \quad (\text{VI. 62})$$

$$V_e = 1805 \text{ m}^3$$

➤ Surface de l'épaississeur :

$$S_e = \frac{V_e}{H} \quad (\text{VI. 63})$$

$$S_e = 601.7 \text{ m}^2 \approx 602 \text{ m}^2$$

➤ Diamètre de l'épaississeur :

$$D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}} \quad (\text{VI. 64})$$

$$D = 28 \text{ m}$$

➤ Débit des boues épaissies :

$$Q_{be} = \frac{(\Delta X_p + \Delta X_s)}{C_{be}} \quad (\text{VI. 65})$$

$$Q_{be} = 153.9 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tableau VI.13 : Dimensionnement de l'épaississeur

Paramètre	Unité	Résultat
Débit des boues primaires	m ³ /j	208.9
Débit des boues secondaires	m ³ /j	693.6
Débit total des boues	m ³ /j	902.5
Concentration du mélange	g/L	11.9
Volume de l'épaississeur	m ³	1805
Surface de l'épaississeur	m ²	602
Diamètre de l'épaississeur	m	28
Débit des boues épaissies	m ³ /j	153.9

VI.3.2 Digesteur Anaérobie

Après l'épaississement, un digesteur anaérobie est prévu pour le traitement des boues. Cet ouvrage, généralement de forme cylindrique verticale, offre une meilleure homogénéité du mélange, une répartition thermique plus efficace, ainsi qu'une optimisation de l'espace au sol.

$$T_s = 20 \text{ j}$$

$$H = 4 \text{ m}$$

Volume du digesteur :

$$V = Q_{be} \times T_s \quad (\text{VI. 66})$$

$$V = 3078 \text{ m}^3$$

Surface du digesteur :

$$S = \frac{V}{H} \quad (\text{VI. 67})$$

$$S = 769.5 \text{ m}^2$$

Diamètre du digesteur :

$$D = 31.3 \text{ m} \approx 32 \text{ m}$$

Tableau VI.14 : Dimensionnement du digesteur anaérobie

Paramètre	Unité	Résultat
Volume du digesteur	m ³	3078
Surface du digesteur	m ²	769.5
Diamètre du digesteur	m	32

VI.3.3 Filtre-Pressé à Bandes

Après digestion, les boues sont soumises à un traitement de déshydratation mécanique permettant de réduire davantage leur volume en augmentant leur siccité

Données de base :

Temps de fonctionnement : 8 h/j

Siccité visée après déshydratation : 20 % MS

Masse de matière sèche à traiter : 10 771 kg/j

Concentration des boues épaissies : 70 kg/m³

Densité des boues : 1 000 kg/m³

Charge massique admissible : 100 kg/(m·h)

Longueur utile de la bande filtrante : 45 m

➤ Débit des boues à traiter

$$Q = \frac{\text{Masse de MS} \left(\frac{\text{kg}}{\text{j}} \right)}{\text{Concentration} \times \text{Temps}} \quad (\text{VI. 68})$$

$$Q = 19.23 \text{ m}^3/\text{h}$$

➤ Quantité de Boues Extraites après Déshydratation :

$$Q_s = \frac{\text{Masse de MS} \left(\frac{\text{kg}}{\text{j}} \right)}{\text{Siccité} \times \rho_{\text{boues}} \times \text{Temps}} \quad (\text{VI. 69})$$

$$Q_s = 6.73 \text{ m}^3/\text{h}$$

➤ Largeur de Bande :

$$L = \frac{\text{Masse de MS} (\text{kg/j})}{\text{Charge massique} \times \text{Temps}} \quad (\text{VI. 70})$$

$$L = 13.46 \text{ m}$$

➤ Calcul de la Surface de Filtration :

$$S = l \times L \quad (\text{VI. 71})$$

$$S = 605.7 \text{ m}^2$$

Tableau VI.15 : Résumé de dimensionnement Filtre-Pressé à Bandes

Paramètre	Unité	Valeur
Longueur de la bande (L)	m	45
Largeur de la bande (l)	m	13,46
Surface de filtration (S)	m ²	605,7

VI.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné les ouvrages de traitement des eaux usées de la STEP de Béni Messous en nous basant sur les données projetées à l'horizon 2055.

Ces eaux usées, moyennement chargées, nécessitent un traitement garantissant une qualité conforme aux normes de rejet et de réutilisation en vigueur.

Le dimensionnement a couvert l'ensemble des étapes du procédé : le traitement primaire, secondaire et tertiaire, ainsi que la filière de traitement des boues.

CHAPITRE VII : CALCUL HYDRAULIQUE

VII.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse hydraulique détaillée de la station d'épuration de Béni Messous dans le cadre de son adaptation aux besoins futurs, notamment à l'horizon 2055. L'objectif principal est de vérifier la capacité des ouvrages existants et de dimensionner les conduites inter-ouvrages en fonction des débits projetés.

VII.2 Déversoir d'orage

➤ Les données de base

Le déversoir est conçu pour dériver les débits excédentaires engendrés par les précipitations, il sert à soulager la station d'épuration en évitant tout risque de saturation. Son rôle principal est de garantir que le débit dirigé vers la station ne dépasse jamais sa capacité maximale de traitement, fixée à 33000 m³/j. Ainsi, tout excédent est dévié vers l'exutoire naturel, représenté par l'oued Béni Messous. Le dimensionnement du déversoir a été effectué sur la base des projections de débits de pointe à l'horizon 2055.

Tel que :

- $Q_{pts}=33000 \text{ m}^3/\text{j} = 0.38 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_p=3.05 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{st}=Q_{ptp} =100000\text{m}^3/\text{j}=1.15 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{ent} = Q_p + Q_{pts} \quad , Q_{ent} = 3.43 \text{ m}^3/\text{s}$

➤ Dimensionnement du collecteur principal

À l'amont du déversoir :

- $Q_{ent} = 3.43 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pente I=0.6%
- Et d'après l'abaque (Annexe I) : Diamètre retenu= Ø1500mm

À l'aval du déversoir :

- $Q_{ent} = 1.15 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pente I=0.6%
- Et d'après l'abaque (Annexe I) : Diamètre retenu= Ø1000mm

➤ Niveaux d'eau dans le collecteur principal :

Nous allons calculer le débit à plein section en utilisant la formule de Manning-Strickler:

$$Q_{ps} = \frac{1}{\eta} \times S \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \quad \text{VII.1}$$

- Q_{ps} = Débit plein section (m^3/s)
- n = Coefficient de rugosité de Manning, collecteur en béton, $n = 0.013$ est une valeur standard.
- S = Section d'écoulement (m^2)
- R = Rayon hydraulique (m), donné par : $R = S/P$, P = Périmètre mouillé (m)
- I = Pente de la conduite (m/m). $I = 0,6\% = 0.006$ m/m

On obtient $Q_{ps} = 5.52 \text{ m}^3/s$

➤ **Hauteur de remplissage correspondant au débit entrant :**

$$r_q = \frac{Q_{ent}}{Q_{ps}} = 0.63$$

D'après l'abaque (Annexe II) :

$$r_h = \frac{h_1}{D} = 0.58$$

$$h_1 = 0.58 \times 1500 = 870 \text{ mm}$$

➤ **Hauteur de remplissage correspondant au débit transitant vers la STEP :**

$$r_q = \frac{Q_{st}}{Q_{ps}} = 0.21$$

D'après l'abaque (Annexe II) :

$$r_h = \frac{h_2}{D} = 0.29$$

$$h_2 = D \times 0.29$$

$$h_2 = 1000 \times 0.29 = 290 \text{ mm}$$

➤ **La Hauteur du seuil du déversoir :**

$$H_s = \frac{h_1 - h_2}{2} \quad \text{VII.2}$$

$$H_s = 290 \text{ mm}$$

$$Q_{dev} = \frac{2}{3} \mu \times b \times \sqrt{2 \times g} \times H_s^{3/2} \quad \text{VII.3}$$

$$b = \frac{Q_{dev}}{\frac{2}{3} \mu \times \sqrt{2 \times g} \times H_s^{3/2}}$$

$$b = 8.24 \text{ m}$$

- Q_{dev} =: débit déversé (m^3/s)

- Tel que :
- $Q_{dev} = Q_{ent} - Q_{st}$, $Q_{dev} = 2.28 \text{ m}^3/\text{s}$
- μ : coefficient de déversement (0.60) [30]
- b : largeur utile du seuil (m)
- H_s : charge au-dessus du seuil (m)

VII.3 Profil hydraulique

Le profil hydraulique permet de représenter les niveaux d'eau le long des ouvrages de la station afin de vérifier l'écoulement gravitaire et la continuité hydraulique

Tableau VII.1 : Cotes altimétriques des ouvrages

Désignation des Ouvrage	Cotes de terrain Naturel (m)	Cote de projet (m)
Décanteur primaire	7	6
Bassin biologique	7	4
clarificateur	7	2
Filtre à sable	6	2
Bassin de désinfection UV	5	2

VII.4 Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages

La relation utilisée pour le calcul de la longueur équivalente des conduites, tenant compte des pertes de charge singulières, est la suivante :

$$L_{eq} = 1.05 \times L_{réel} \quad \text{VII. 4}$$

Où :

L_{eq} : Est la longueur équivalente (en mètres),

$L_{réel}$ est la longueur réelle mesurée entre deux ouvrages (en mètres),

1,05 est un coefficient de majoration représentant les pertes de charge localisées (coudes, vannes, changements de section, etc.).

Tableau VII.2 : Longueurs réelles et longueurs équivalentes des conduites inter-ouvrages

Désignation des ouvrages	L _{réel} (m)	L _{eq} (m)
Décanteur primaire - Bassin biologique	25	26.25
Bassin biologique - Clarificateur	20	21
Clarificateur - Filtre à sable	20	21
Filtre à sable - Bassin de désinfection UV	10	10.5

VII.4.1 Calcul des côtes piézométriques

L'équation de Bernoulli appliquée entre deux points (1) et (2) dans un écoulement incompressible et en régime permanent est :

$$P_1/\gamma + v_1^2/2g + z_1 = P_2/\gamma + v_2^2/2g + z_2 + H_p \quad \text{VII.5}$$

Où :

- P/γ : énergie de pression (en m)
- $v^2/2g$: énergie cinétique (en m)
- z : altitude du point (en m)
- H_p : pertes de charge entre les points (1) et (2) (en m)

En prenant l'hypothèse que la vitesse est constante

Lorsque la variation de vitesse est négligeable ($v_1 \approx v_2$), on peut simplifier l'équation :

$$P_1/\gamma + z_1 = P_2/\gamma + z_2 + H_p$$

On définit la côte piézométrique C_p comme :

- $C_{p1} = P_1/\gamma + z_1$: côte piézométrique au point (1)
- $C_{p2} = P_2/\gamma + z_2$: côte piézométrique au point (2)

L'équation de Bernoulli devient alors :

$$C_{p1} = C_{p2} + H_p$$

Tableau VII.3 : Cotes et charges hydrauliques des ouvrages de l'extension de la STEP

Ouvrage	Cote Terrain (m)	Cote Projet (m)	Hauteur d'eau (m)	Cote Piézométrique (Cp)
Décanteur primaire	7	6	3.0	9
Bassin biologique	7	4	4.0	8
Clarificateur	7	2	3.5	5.5
Filtre à sable	6	2	2.0	4
Bassin UV (désinfection)	5	2	1.5	3.5

Tableau VII.4 : Pertes de charge dans les tronçons

Tronçon	Longueur réelle (m)	Longueur équivalente (m)	Cp amont (m)	Cp aval (m)	Pertes de charge H_{1-2} (m)
Décanteur → Bassin biologique	25	26.25	9	8	1
Bassin biologique → Clarificateur	20	21	8	5.5	2.5
Clarificateur → Filtre à sable	20	21	5.5	4	1.5
Filtre → Bassin UV	10	10.5	4	3.5	0.5

VII.5 Calcul des diamètres des conduites en PEHD

Nous utilisons la formule suivante pour déterminer le diamètre hydraulique des conduites, en tenant compte des pertes de charge et des caractéristiques du matériau PEHD :

$$D = \left(\frac{K \times Leq \times Q^\beta}{\Delta H} \right)^{1/m} \quad \text{VII. 6}$$

Paramètres pour le PEHD :

$$K = 0.001052$$

$$m = 4.774$$

$$\beta = 1.74$$

$$Q = 1389 \text{ m}^3/\text{h} = 0.3858 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tableau VII.5 : Diamètres calculés et diamètres retenus

Tronçon	Leq (m)	D calculé (mm)	Diamètre choisi (mm)
Décanteur → Bassin biologique	26.25	512	600
Bassin biologique → Clarificateur	21	0.36	400
Clarificateur → Filtre à sable	21	0.38	400
Filtre à sable → Bassin UV	10.5	0.39	400

VII.6 Conclusion

Ce chapitre a permis de dimensionner et de vérifier les différents éléments hydrauliques de la station d'épuration de Béni Messous, en tenant compte des contraintes techniques et des projections futures (horizon 2055).

La conception hydraulique proposée est techniquement viable et économiquement optimale, avec des marges de sécurité suffisantes pour les extensions futures.

CHAPITRE VIII : ORGANISATION DE CHANTIER

VIII.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons aborder l'organisation du chantier pour la réalisation des ouvrages de la STEP de Béni Messous. Il s'agit d'établir un devis estimatif et quantitatif qui détaille les besoins en matériaux, en particulier le béton armé, qui constitue l'essentiel des structures. À travers cette démarche, nous estimons aussi le coût total du génie civil, pour mieux anticiper les ressources nécessaires à la bonne exécution du projet.

VIII.2 Devis estimatif et quantitatif

Un devis estimatif et quantitatif est un document technique et financier qui détaille et les quantités de matériaux, équipements, et main-d'œuvre nécessaires pour un projet et Les coûts unitaires et totaux associés à chaque poste de travail.

Il sert de base pour :

- Planifier les budgets (investissement et exploitation).
- Négocier avec les fournisseurs et entrepreneurs.
- Évaluer la faisabilité économique du projet.
- Calcul du Cout d'investissement

L'épaisseur de la couche végétale sera estimée à 30 cm

Les prix du terrassement peuvent varier selon les entrepreneurs et les régions on prend un prix évalué de 3000DA

Le volume de la couche végétale

$$v = s_{hi} \times 0.3 \quad \text{VIII.1}$$

v : le volume de terrassement de l'ouvrage considéré

s_{hi} : surface horizontale de l'ouvrage considéré

Le coût de terrassement de l'ouvrage :

Coût = le volume de terrassement×3000DA

Tableau VIII.1 : Estimation des surfaces, volumes et coûts des ouvrages de l'extension la STEP

Ouvrage	Surface (m ²)	Volume (m ³)	Coût (DA)
Décanteur primaire	695	208.5	625500
Bassin d'aération	1,600	480	1440000
Bassin d'anoxie	303.8	91.14	273420
Clarificateur secondaire	694.5	208.35	625050
Filtre à sable	232	69.6	208800
Épaississeur	602	180.6	541800
Digesteur anaérobie	769.5	230.85	692550

Le montant global des terrassements est de 4 407 120 DA

VIII.3 Le cout du Béton Armé

➤ **Volume total :**

$$V_{tb} = V_r + V_m \quad \text{VIII.2}$$

➤ **Volume du radier :**

$$V_r = (Sh + 0.5) \times e_r \quad \text{VIII.3}$$

➤ **Volume des murs :**

$$V_m = P \times H \times e_m \quad \text{VIII.4}$$

Avec :

- Sh : surface horizontale de l'ouvrage (m²)
- P : périmètre de l'ouvrage (m)
- H : hauteur de l'ouvrage (m)
- $e_r = 0.3$ m : épaisseur du radier
- $e_m = 0.3$ m : épaisseur des murs
- $P_u = 40\,000$ DA/m³ : prix unitaire

Le coût du béton armé est donné par : $C_i = V_{tb} \times P_u$ VIII.5

Tableau VIII.2 : volumes et coûts du béton armé

Ouvrage	H (m)	P (m)	Vr (m³)	Vm (m³)	Vtb (m³)	Coût (DA)
Décanteur Primaire	4.0	93.4	208.65	112.08	320.73	12 829 200
Bassin d'Aération	5.0	174.0	480.15	261.00	741.15	29 646 000
Clarificateur Secondaire	4.0	94.2	208.50	113.04	321.54	12 861 600
Bassin d'Anoxie	5.0	76.0	91.29	114.00	205.29	8 211 600
Filtre à Sable	1.5	60.8	69.75	27.36	97.11	3 884 400
Épaississeur	3.0	87.92	180.75	79.13	259.88	10 395 120
Digesteur	4.0	100.48	231.00	120.58	351.58	14 063 200

Le coût total du béton armé pour l'ensemble des ouvrages est estimé à : 91 900 960 DA

VIII.4 Estimation des Coûts du projet

VIII.4.1 Coûts d'Investissement (CAPEX)

Les coûts d'investissement concernent les ouvrages de génie civil, les VRD ainsi que les équipements électromécaniques, électriques et hydrauliques.

Tableau VIII.3 : Récapitulatif du coût d'investissement (CAPEX)

Poste	Montant (DA)
Génie civil (terrassement + béton armé)	96 308 080
Voiries et Réseaux Divers (VRD)	24 077 020
Équipements électromécaniques, électriques et hydrauliques	48 154 040
Total CAPEX	168 539 140

VIII.4.2 Coûts de Fonctionnement Annuel (OPEX)

Les charges d'exploitation comprennent le personnel, l'énergie, les consommables et l'entretien des équipements.

Tableau VIII.4 : Récapitulatif des charges annuelles (OPEX)

Poste	Montant (DA/an)
Frais de personnel	12 000 000
Consommation énergétique	8 000 000
Produits consommables (2% des équipements)	963 081
Entretien des équipements (10% des équipements)	4 815 404
Total OPEX annuel	25 778 485

VIII.4.3 Amortissement Annuel des Investissements

La formule de calcul est donnée par :

$$CAA = \frac{CAPEX}{\text{Durée d'amortissement}} \quad \text{VIII. 6}$$

$$CAA = 6\,741\,566 \text{ DA/an}$$

On prend 25 ans comme durée d'amortissement, valeur moyenne généralement adoptée dans les études.

VIII.4.4 Coût Total Annuel de la Station

$$CTS = CAA + OPEX \quad \text{VIII. 7}$$

$$CTS = 32\,520\,051 \text{ DA/an}$$

VIII.4.5 Calcul du Coût Total TTC du Projet**Tableau VIII.5 : Récapitulatif du coût total du projet**

Poste	Montant (DA)
Coût Total HT	194 317 625
TVA (19%)	36 920 349
Coût Total TTC	231 237 974

Pour la TVA, nous avons retenu un taux de 19 % conformément au Code des impôts.

Il s'agit du taux normal applicable à la majorité des biens et services, y compris les travaux de BTP ainsi que les équipements destinés aux stations d'épuration (STEP).

VIII.5 Conclusion

Ce chapitre a permis d'estimer les besoins matériels et financiers liés à la réalisation de la STEP de Béni Messous. Le coût total d'investissement est évalué à 168 539 140 DA, que les charges annuelles de fonctionnement atteignent 25 778 485 DA, pour un coût total TTC avoisinant 231 237 974 DA.

L'étude s'est intéressée aux volumes de terrassement, au béton armé ainsi qu'aux équipements nécessaires à la mise en œuvre du projet. Sur la base d'une durée d'amortissement de 25 ans, le coût total annuel de la station est estimé à 32 520 051 DA.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce mémoire de fin d'études s'est intéressé à l'évaluation de la performance et au dimensionnement de la station d'épuration de Béni Messous pour garantir un traitement efficace et durable des eaux usées domestiques. Une analyse approfondie du fonctionnement de la STEP au cours de l'année 2024 a permis d'évaluer son efficacité globale. Les résultats ont montré qu'il y a des dysfonctionnements, notamment en période estivale, dus à une surcharge hydraulique et organique qui a entraîné ponctuellement des dépassements des seuils réglementaires.

L'étude des charges polluantes et des débits a permis d'estimer les besoins actuels et futurs en matière de traitement des eaux usées. Sur la base des projections démographiques, le dimensionnement des ouvrages a été réalisé à l'horizon 2040 pour le court terme et 2055 pour le long terme. Les résultats obtenus montrent qu'une extension unique de la STEP à l'horizon 2055 constitue une solution plus rationnelle et économique qu'un développement progressif. De plus, l'importance des charges organiques et hydrauliques projetées confirme la nécessité de renforcer le traitement biologique, tout en intégrant un traitement tertiaire pour garantir la réutilisation agricole et la protection durable du milieu récepteur.

Sur le plan économique, l'évaluation des coûts révèle un investissement global estimé à environ 232 millions DA, intégrant les charges de fonctionnement et l'amortissement à long terme. Ces résultats constituent un outil précieux pour la planification et la gestion budgétaire, tout en garantissant la pérennité du projet.

En somme, ce travail constitue une contribution utile à la compréhension et à la maîtrise des enjeux liés au traitement des eaux usées dans la région d'Alger. Il met en évidence la nécessité d'anticiper les besoins futurs, de renforcer les capacités existantes et de garantir la durabilité des rejets, afin d'assurer une gestion optimale des ressources hydriques et une meilleure protection de l'environnement.

Références bibliographiques

- [1] STEEL, Ernest W. et McGHEE, Terence J. *Water Supply and Sewerage*. 5e éd. New York : McGraw-Hill, 1979. ISBN 978-0-07-060929-7.
- [2] GOUVERNEMENT DU QUÉBEC. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs. *Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique : 12. Système d'aération - Préliminaire*. Québec : MELCCFP, 2023.
- [3] NOGRE, Sébastien. *La décoloration des effluents industriels*. Limoges : Office International de l'Eau, 2001.
- [4] TANDIA, Cheick Tidiane. *Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques*. Ouagadougou : CREPA, 2007.
- [5] CYROT, Laurent. *Le traitement des odeurs en station d'épuration. Synthèse bibliographique*. Limoges : ENGREF, Office International de l'Eau, 1998.
- [6] BAUMONT, Samuel, CAMARD, Jean-Philippe, LEFRANC, Agnès et FRANCONI, Antoine. *Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France*. Paris : IAURIF, ORS Île-de-France, 2004. ISBN 2-7371-1551-5.
- [7] HACH, Clifford C., KLEIN, Robert L. Jr. et GIBBS, Charles R. *Introduction to Biochemical Oxygen Demand*. Loveland : Hach Company, 1999. (Technical Information Series-Booklet No. 7).
- [8] ACADÉMIE DE BORDEAUX. *Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO)*. Bordeaux : Olympiades de Chimie, 2012.
- [9] VILLE DE MONTRÉAL. Division de l'expertise technique. *Méthode M-CR-5.4-014 : Détermination du pH dans l'eau*. Version 7.0. Montréal : Ville de Montréal, 2017.
- [10] MARA, Duncan D. et HORAN, Nigel J. (dir.). *Handbook of Water and Wastewater Microbiology*. Londres : Academic Press, 2003. ISBN 978-0-12-470100-7.

- [11] GUNATILAKE, Sarath K. Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies (JMESS)*. 2015, vol. 1, no 1, p. 12-18. ISSN 2912-1309.
- [12] BOLAND, Jeroen, KOOMEN, Irene, VAN LIDTH DE JEUDE, Joep et OUDEJANS, Jan. *Les pesticides : composition, utilisation et risques*. Wageningen : Agromisa, 2004. ISBN 90-8573-042-0.
- [13] MITCHELL, Ralph et GU, Ji-Dong (dir.). *Environmental Microbiology*. 2e éd. Hoboken : Wiley-Blackwell, 2009. ISBN 978-0-470-17790-7.
- [14] BOUCHEMAL, Fattoum. *Pollution des eaux*. El Oued : Université Echahid Hamma Lakhdar, Département d'Hydraulique et de Génie Civil, 2021.
- [15] SPELLMAN, Frank R. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations*. 3e éd. Boca Raton : CRC Press, 2013. ISBN 978-1-4398-3712-1.
- [16] IPALLE. *Visite virtuelle d'une station d'épuration en 3D*. Tournai : IPALLE, 2010.
- [17] AMORCE. *Boues de station d'épuration : Techniques de traitement, valorisation et élimination*. Série Technique DT 51. Paris : AMORCE, 2012.
- [18] TCHOBANOGLIOUS, George, BURTON, Franklin L. et STENSEL, H. David. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4e éd. New York : McGraw-Hill, 2003. ISBN 978-0070418783.
- [19] AIT AISSI-SOUDANI, Leila. *Contribution à l'étude des dépôts continentaux du Pléistocène supérieur du Sahel occidental d'Alger* [mémoire de magistère]. Guelma : Université du 08 Mai 1945, 2008.
- [20] JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA). *Algerian Earthquake Risk Mitigation Project - Analyse sismique et compilation de la carte de l'aléa* [rapport]. Alger : JICA, 2006.
- [21] DÉCOUPAGE ADMINISTRATIF ALGÉRIE. *Cartes des réseaux hydrographiques en Algérie* [document cartographique].

[22] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Wastewater Technology Fact Sheet: Screening and Grit Removal*. Washington, D.C. : EPA, 2003. EPA 832-F-03-011.

[23] MARYLAND CENTER FOR ENVIRONMENTAL TRAINING (MCET). *Preliminary Treatment Processes for Wastewater*. La Plata : MCET, 2008.

[24] LI, Jiabin, ZHANG, Wei, WANG, Lin, et al. Performance of Biological Nutrient Removal Processes in Wastewater Treatment: A Review. *Water*. 2023, vol. 15, no 14, 2607. DOI 10.3390/w15142607.

[25] FINNEMORE, E. John et FRANZINI, Joseph B. *Fluid Mechanics with Engineering Applications*. 10e éd. New York : McGraw-Hill, 2002. ISBN 978-0072432022.

[26] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Manual: Nitrogen Control*. Washington, D.C. : EPA, 1993. (EPA/625/R-93/010).

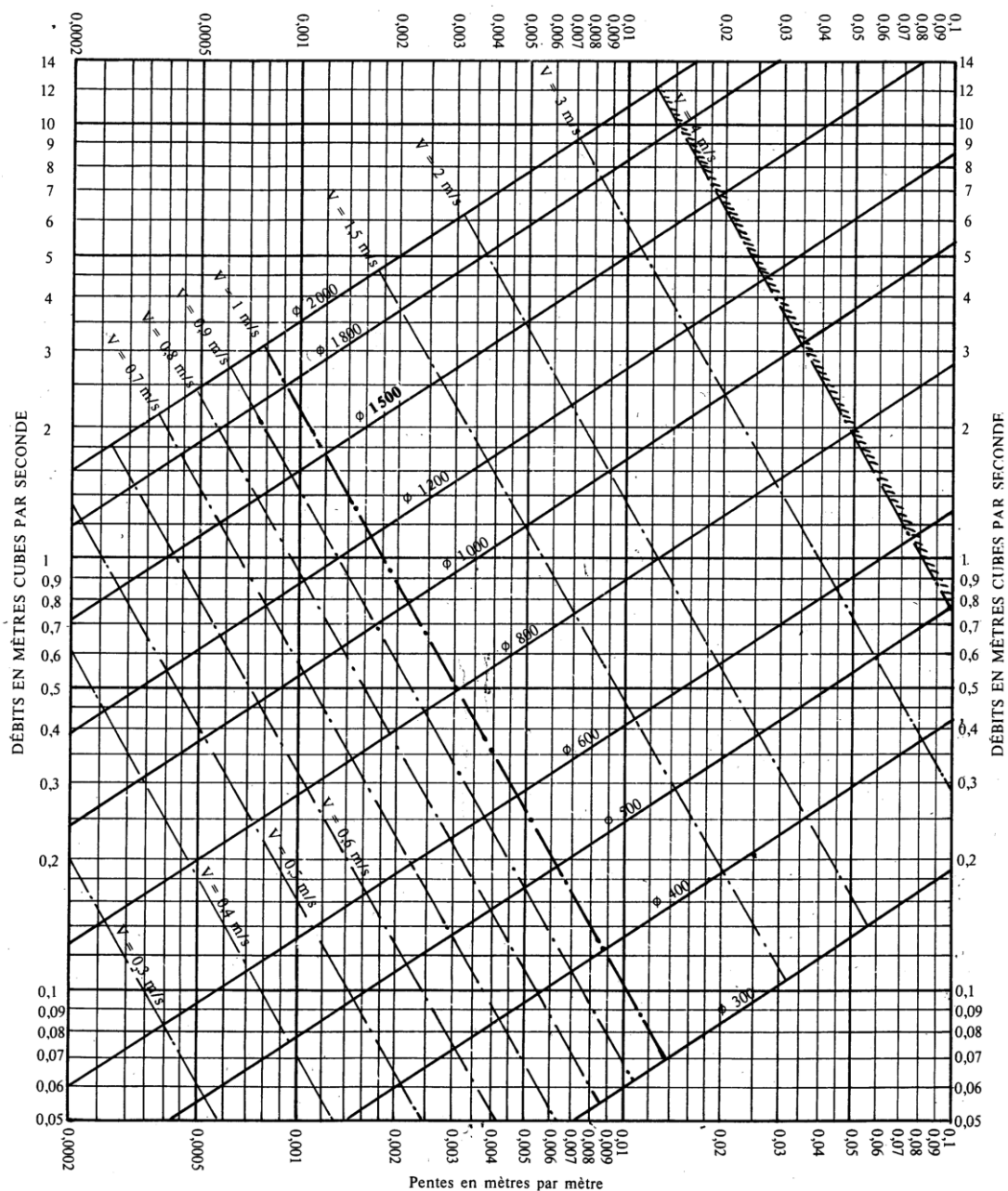
[27] UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual*. Washington, D.C. : EPA, 2006. (EPA/815/R-06/007).

ANNEXE I

ABAQUE Ab. 4 a

Ab. 4a

RÉSEAUX PLUVIAUX EN SYSTÈME UNITAIRE OU SÉPARATIF (Canalisations circulaires)



Nota. - La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0,46. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ($V = 0,30$). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.

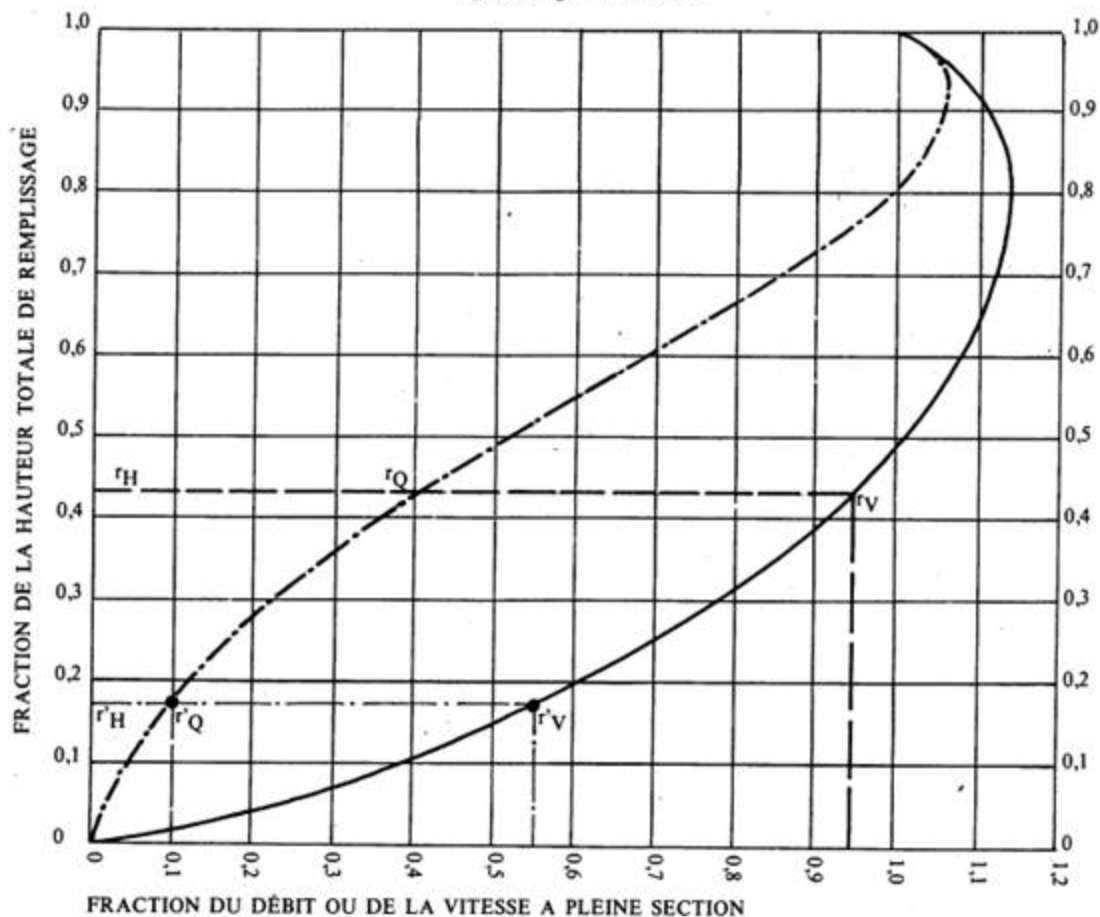
ANNEXE II

ABaque Ab. 5

Ab. 5 (a)

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



MODE D'EMPLOI.

Les abaques Ab. 3 et Ab. 4 (a et b) utilisés pour le choix des sections d'ouvrages, compte tenu de la pente et du débit, permettent d'évaluer la vitesse d'écoulement à pleine section.

Pour l'évaluation des caractéristiques capacitaires des conduites, ou pour apprécier les possibilités d'autocurage, le nomogramme ci-dessus permet de connaître la vitesse atteinte en régime uniforme pour un débit inférieur à celui déterminé à pleine section.

Les correspondances s'établissent, soit en fonction de la fraction du débit à pleine section, soit en fonction de la hauteur de remplissage de l'ouvrage.

Exemples :

Pour $r_Q = 0,40$, on obtient $r_V = 0,95$ et $r'_H = 0,43$.

Pour $Q_{PS}/10$, on obtient $r'_V = 0,55$ et $r'_H = 0,17$ (autocurage).

Nota. — Pour un débit égal au débit à pleine section, la valeur du rapport $r_Q = 1,00$ est obtenue avec $r'_H = 0,80$.

Le débit maximum ($r_Q = 1,07$) est obtenu avec $r'_H = 0,95$.

La vitesse maximum ($r_V = 1,14$) est obtenue avec $r'_H = 0,80$.

Ces dernières conditions d'écoulement à caractère assez théorique ne peuvent être obtenues que dans des conditions très particulières d'expérimentation.