

République Algérienne Démocratique Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre:

N° de série:

Faculté des Sciences et Technologies
Département de l'Hydraulique et Génie Civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Thème

ETUDE DE FAISABILITE D'ELIMINATION DES
ELEMENTS POLLUANTS DES EAUX TRAITÉES DE LA
STEP KAF DOUKHANE PAR L'INSTALLATION D'UN
PROCESSUS DE FILTRATION A SABLE

Réalisé par :

- REZMA ANFAL
- MAZOUZ SIHAM

Soutenu publiquement devant le jury:

Mm : BOUAMER Khaira	MCB	Université de Ghardaia	Prisèrent
Mm : HAFSI Radia	MCB	Université de Ghardaia	Examineur
Mr : OULED BELKHIR C	MCB	Université de Ghardaia	Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

REMERCIEMENT

Tout d'abord, je remercie Dieu Tout-Puissant pour sa grâce, car il nous a permis de terminer ce travail grâce à lui, qui nous a donné la force et la patience pour mener à bien ce mémoire.

nous tenons à remercier Notre encadreur Ouled Blkhier Chikh pour l'effort qu'il a déployé pour que se travaille voir le jour.

nous tenons à remercier aussi notre Co-encadreur Mme Bouamer Khaira pour ces efforts.

Nous remercions les honorables membres du jury qui nous ont fait l'honneur de corriger et juger notre travail.

Pour ceux qui nous ont ouvert la voie, la science et les connaissances de tous nos professeurs, en particulier Mme Hafsi et Mr Boulmaiz.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont aidé de près ou de loin à faire cet humble travail.

Résumé

La région de Ghardaïa possède des ressources hydriques non conventionnelles assez importantes comme les eaux de la nappe phréatique, les eaux de la nappe karstique (Gaadet Lahsi), les eaux de la nappe de l'Erg occidental et les eaux usées traitées, Cependant les eaux usées traitées des stations de lagunage de la Wilaya de Ghardaïa d'une quantité de 80000 m³ sont rejetées chaque jour dans la nature. L'objectif de cette étude est de présenter une technique de valorisation de ces eaux traitées par l'utilisation d'un filtre à sable gravitaire. Ces eaux traitées seront destinées à l'agriculture et au tourisme. A cet effet, nous avons proposé un processus de filtration à sable réalisé au laboratoire de l'université de Ghardaïa. Notre travail s'est basé, au début, sur l'analyse des données physico-chimiques de l'eau traitée afin de qualifier sa qualité et de déterminer les processus de traitement appropriés. Ainsi, nous avons réalisé une série d'essais au laboratoire en proposant quatre (4) niveaux différents. A la fin, nous allons analyser la qualité des eaux à la sortie du processus. Ceci nous a permis de sélectionner le mode de filtration le plus adopté qui est caractérisée par sa qualité de sable. Grâce à cette succession d'essais, nous arrivons de proposer les caractéristiques des filtres optimaux pour améliorer la qualité de l'eau et de suggérer des finalités de ces eaux traitées.

Mots clé : STEP Kaf Doukhane, eaux traitées, filtre à sable, valorisation, éléments de pollution.

ملخص:

منطقة غرداية تحتوي على مصادر مياه غير تقليدية مهمة مثل مياه الجوف الكارستية بهضبة الحسي ومياه طبقة العرق الغربية ومياه الصرف الصحي المعالجة. ومع ذلك، يتم رمي مياه الصرف الصحي المعالجة من مختلف محطات الولاية بكمية تصل إلى 80000 متر مكعب يوميا في البيئة. الهدف من هذه الدراسة هو تقديم تقنية لتتمين هذه المياه المعالجة من خلال استخدام مرشح الرمل. سيتم استخدام هذه المياه المعالجة في الزراعة والسياحة و نشاطات صناعية اخرى. لهذا الغرض، قمنا بتنفيذ عملية تصفية بالرمل في مختبر جامعة غرداية. استند عملنا في البداية إلى تحليل المعطيات الفيزيائية والكيميائية للمياه المعالجة لتحديد جودتها وتحديد العمليات المناسبة للمعالجة. بالتالي، قمنا بإجراء سلسلة من التجارب في المختبر باقتراح 4 مستويات مختلفة. في النهاية، سنقوم بتحليل جودة المياه عند خروجها من العملية. وقد سمح لنا ذلك باختيار أكثر وسيلة تصفية معتمدة والتي تتميز بجودة الرمل. من خلال هذه السلسلة من التجارب، نحن قادرون على تقديم خصائص مرشحات مثلى لتحسين جودة المياه واقتراح استخدامات لهذه المياه المعالجة.

كلمات مفتاحية: محطة تصفية كاف الدخان , مياه معالجة . مصفاة الرمل. تتمين ,العناصر الملوثة.

Abstract:

The region of Ghardaïa has quite important unconventional water resources such as groundwater, karst water (Gaadet Lahsi), water from the Western Erg aquifer and treated wastewater, However, treated wastewater from lagoon stations in the Wilaya of Ghardaïa in the amount of 80,000 m³ is rejected into nature every day. The objective of this study is to present a technique for valorizing this treated water by the use of a gravity sand filter. This treated water will be destined for agriculture and tourism. For this purpose, we proposed a sand filtration process carried out at the laboratory of the University of Ghardaïa. Our work was initially based on the analysis of physico-chemical data of the treated water in order to qualify its quality and determine the appropriate treatment processes. Thus, we carried out a series of tests in the laboratory by proposing four (4) different levels. At the end, we will analyze the quality of the water at the end of the process. This allowed us to select the most adopted filtration mode which is characterized by its sand quality. Thanks to this succession of tests, we manage to propose the characteristics of the optimal filters to improve the quality of the water and to suggest the purposes of this treated water.

Keywords: Kaf Doukhane STWW, treated water, sand filter, recovery, pollution elements.

Liste des abréviations

ACP: Analyse en Composantes Principales

Cc: Coefficient de classement

CE: Conductivité Electrique

CHA: Classification Hiérarchique Ascendante

COT: Carbone Organique Total

CU: Coefficient d'uniformité

DBO: Demande Biologique en Oxygène

DBO5: Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours

DCO: Demande Chimique en Oxygène

DE: Diamètre efficace

HPA: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

MCE: Mètre de Colonne d'Eau.

MES: Matières En Suspension

MMS: Matières Minérales Sèches

MO: Matière Organique

MVS: Matières Volatiles en Suspensions

NTK: L azote Total de Kjeldahl

NTU: Néphélométrie

ONA: Office National de l'Assainissement

PH: Potentiel hydrogène

Poly-P: Poly-Phosphate

PPSMVSS: Le Plan Permanent de Sauvegarde et de Mise en Valeur du Secteur
Sauvegarde

R.N: Route National

STEP: Station d'Epuration

Liste des Tableaux

Tableau N° (1):	Évolution de la population de vallée sur la période 2008-2040	18
Tableau N° (2):	Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (1990-2020).....	19
Tableau N° (3):	Fréquences des vents selon leur direction (1990-2020)	21
Tableau N° (4):	Vitesse moyenne du vent (1990-2020).....	21
Tableau N° (5):	Evaporation et insolation mensuelles (1990-2020).....	22
Tableau N° (6):	Les données de bases de la STEP.....	24
Tableau N° (7):	Analyses physico-chimiques ultérieures des eaux usées de la STEP.....	30
Tableau N° (8):	Tableau Résultats de l'analyse granulométrique du Sable d'Oued Metlili	51
Tableau N° (9):	Résultats d'analyse physico-chimique des eaux traitées et des eaux filtrées	52

Liste des Figures

Figure N° 01. :	Schéma en coupe du lagunage naturel.....	6
Figure N° 02.	Principe d'un filtre à sable.....	8
Figure N° 03.	Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.....	16
Figure N° 04.	Carte d'occupation du sol de la vallée du M'Zab	17
Figure N° 05.	Variations des températures (moy, max, min) (1990-2020).....	19
Figure N° 06.	Humidité moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (1990-2020).....	20
Figure N° 07.	Evaporation, Evapotranspiration Penman et insolation mensuelles (1990-2020).....	22
Figure N° 08.	Hydrogramme de pluie de 1970 jusqu'à 2015	23
Figure N° 09.	Situation de la STEP Kaf Doukhane.....	24
Figure N° 10.	Schéma descriptive de la STEP	25
Figure N° 11.	Principe de fonctionnement des bassins primaires.....	26
Figure N° 12.	Schéma de principe.....	37
Figure N° 13.	La courbe granulométrique du Sable d'Oued Metlili	52
Figure N° 14.	pH, aux différents hauteurs du filtre	53
Figure N° 15.	O ₂ -dis aux différents hauteurs du filtre	53
Figure N° 16.	CE aux différents hauteurs du filtre	54
Figure N° 17.	MES aux différents hauteurs du filtre	55
Figure N° 18.	La turbidité aux différents hauteurs du filtre.....	55
Figure N° 19. :	DBO ₅ aux différentes hauteurs du filtre	56
Figure N° 20. :	O-PO ₄ aux différentes hauteurs du filtre	56
Figure N° 21. :	NH ₄ ⁺ aux différentes hauteurs du filtre	57
Figure N° 22.	Plan général de la station de filtration projetée.....	58

Liste des Photos

Photo N° 01: Vue générale de la STEP Kaf Doukhane	25
Photo N° 02: Dégrilleur – Dessableur	27
Photo N° 03: Répartiteurs vers les bassins primaires et secondaires	27
Photo N° 04: Lagunes primaires et secondaires	28
Photo N° 05: Lits de Séchage.....	29
Photo N° 06: Rejet final vers oued M'Zab.	29
Photo N° 07: Photo de sable d'Oued Metlili.....	32
Photo N° 08: Emplacement du carrier d'Oued Metlili.....	33
Photo N° 09: Les Tamis Utilisés	34
Photo N° 10: Eau usée traitée utilisée	35
Photo N° 11: Bande d'essai de filtration	36
Photo N° 12: Machines-outils (vue de face)	38
Photo N° 13: Coffret électrique-outils	38
Photo N° 14: Machines-outils (vue de dos)	39
Photo N° 15: 1 ^{ere} Expérience (25 cm).....	41
Photo N° 16: 2 ^{eme} Expérience (55 cm).....	41
Photo N° 17: 3 ^{eme} Expérience (85 cm).....	42
Photo N° 18: 4 ^{eme} Expérience (110 cm).	42
Photo N° 19: Multi-paramètres portable	44
Photo N° 20: Turbidi- mètre type AL250T-IR	45
Photo N° 21: Mesure des MES	46
Photo N° 22: DBO-mètre type WTW-OXTTOP.....	47
Photo N° 23: Verrerie de préparation des solutions d'étalonnage.....	48
Photo N° 24: Spectrophotomètre Uvi type Line Secomam S	49

Sommaire

Remerciement.....	I
Résumé.....	II
Liste des abréviations.....	III
Liste des Tableaux.....	IV
Liste des Figures.....	IV
Liste des Photos.....	V
SOMMAIRE.....	VI
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
I.1. Introduction.....	5
I.2. Lagunage naturel.....	5
I.2.1. Un système naturel.....	5
I.2.2. Principe de fonctionnement.....	6
I.2.3. Avantages et inconvénients du lagunage naturel.....	6
I.3. Procédés de traitement tertiaire : filtre à sable comme exemple.....	7
I.3.1. Principe de filtration.....	7
I.3.2. Phénomène de colmatage.....	8
I.3.3. L'écoulement à travers d'un filtre à sable.....	8
I.4. Paramètres physico-chimiques et hydro-chimiques des eaux usées.....	9
I.4.1. Paramètres physique.....	9
I.4.1.1. PH :.....	9
I.4.1.2. Conductivité CE unité : $\mu\text{cm/l}$ à une température de 25°C	9
I.4.1.3. Oxygène dissous.....	9
I.4.1.4. Turbidité : unité : NTU.....	9
I.4.1.5. MES (Matières en suspension en mg/l).....	9
I.4.2. Les paramètres de pollution.....	10
I.4.2.1. DCO (Demande Chimique en Oxygène en mg/l).....	10
I.4.2.2. DBO (La demande biochimique en oxygène en mg/l).....	11
I.4.2.3. Azote total de Kjeldahl (NTK).....	11
I.4.2.4. Nitrates (NO_3^- en mg/l) :.....	11
I.4.2.5. Nitrites (NO_2^- en mg/l) :.....	12
I.4.2.6. Le phosphore total.....	12
I.4.3. Les paramètres bactériologiques.....	13
I.4.3.1 Virus.....	13
I.4.3.2 Protozoaires.....	13
I.4.3.3 Les bactéries.....	13
CHAPITRE II : PRESENTATION DU SITE D'ETUDE.....	16
II.1. Introduction.....	16
II.2 Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.....	16
II.3. La vallée du M'Zab.....	17
II.3.1. Cadre socio-économique.....	17
II.3.2. Cadre climatique.....	19

• La température de l'aire	19
• L'humidité relative.....	20
• Le vent	21
• Demande climatique (évaporation et évapotranspiration).....	22
• Pluviométrie.....	23
II.4 Présentation de la STEP Kaf doukhane	23
II.4.1. Situation géographique	24
II.4.2 Dimensionnement de la STEP de Ghardaïa.....	24
II.4.3 Déférents organes constituent la STEP.....	25
• Prétraitement.....	26
• Dégrillage - dessablage.....	26
• Ouvrage de répartition	27
II.4.4 Traitement primaire	28
II.4.5 Traitement secondaire.....	28
II.4.6 Traitement des boues	28
II.4.7 Rejet des eaux traitées	29
II.4.8 Analyses physico-chimiques ultérieures et rendement du système épuratoire.....	30
CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES.....	32
III.1 Introduction	32
III.2 Caractérisation du matériau filtrant.....	32
III.2.1 Sable utilisé	32
III.2.3 Paramètres granulométriques	34
III.3 Prélèvement des eaux usées traitées.....	35
III.4 Bande d'essai expérimentale (filtre à sable).	35
III.4.1 Présentation	35
III.4.2 Schéma et caractéristique	37
III.4.2.1 Schéma de principe	37
III.4.2.2 Installation.....	38
III.5 Mise en marche de la filtration à sable.....	40
III.5.1 Prélèvement de l'eau et du sable	40
III.5.2 Filtration à sable sur une hauteur de 25 cm.....	40
III.5.3 Filtration à sable sur une hauteur de 55 cm.....	41
III.5.4 Filtration à sable sur une hauteur de 85 cm.....	42
III.5.5 Filtration à sable sur une hauteur de 110 cm.....	42
III.6 Matériels et Méthodes d'analyse physico-chimiques des eaux usées traitées et filtrées	43
III.6.1 le pH.....	43
III.6.1.1 Principe.....	43
III.6.1.2 Appareillage	43
III.6.1.3 Mode opératoire	43
III.6.2 La conductivité électrique (CE)	43
III.6.2.1 Principe.....	43
III.6.2.2 Mode opératoire	44
III.6.3 Turbidité	44

III.6.3.1 Principe.....	44
III.6.3.1 Appareillage	44
III.6.4 M.E.S (Matières en suspension).....	45
III.6.4.1 Principe.....	45
III.6.4.2 Appareillage et verrerie	45
III.6.4.3 Mode opératoire	45
III.6.5 LA DBO (Demande biochimique en Oxygène)	46
III.6.5.1 Principe.....	46
III.6.5.2 Mode opératoire	47
III.6.6 Ortho- Phosphates(O ⁻ PO ₄)	48
III.6.6.1 Principe.....	48
III.6.6.2 Mode opératoire	48
III.6.6.3 Appareillage	48
III.6.8 Azote Ammoniacal (NH ₄ ⁺).....	49
III.6.8.1 Principe.....	49
III.6.8.2 Mode opératoire	49
III.6.8.3 Appareillage	49
CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS	51
IV.1 Introduction	51
IV.2 Résultat d'analyse aux laboratoires	51
IV.2.1 Analyse granulométrique du sable.....	51
IV.3 Paramètres physiques : pH, conductivité électrique (CE) et l'oxygène dissoute (O ₂ -Dis)	53
IV.4 Paramètres physiques : matières en suspension (MES) et turbidité	55
IV.5 Paramètres de pollution : DBO ₅ , Ortho-phosphate (O ⁻ PO ₄) et Ammonium (NH ₄ ⁺)	56
IV.6 Dimensionnement des filtres à sable	57
IV.7 Perspective de la réutilisation des eaux traitées.....	58
CONCLUSION GÉNÉRALE	60
Références Bibliographiques.....	63

Introduction Générale

Introduction Général

L'eau, ou autrement dite l'or bleu est la ressource naturelle essentielle. Malgré sa présence en grande quantité sur terre sous la forme d'eau salée, l'eau douce accessible et utilisable par l'homme est beaucoup plus rare. En effet, elle ne représente que 0.001% de l'hydrosphère (Marsily, 2013).

Les cours d'eau, les lacs et les eaux côtières ont été utilisés depuis longtemps à titre de réceptacles pour la dilution et la dispersion des déchets domestiques. La pollution de l'eau due aux rejets d'eaux usées remonte sans doute à la fondation des premières villes, il y a 7000 ans, le long du Tigre et de l'Euphrate et de l'Indus. Bien que des efforts considérables aient été consentis depuis les années 1970 par les pays développés dans le but d'améliorer le traitement des eaux usées, le rejet d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées demeure une préoccupation dans bon nombre de parties du monde (Kendoussi, 2018).

Dans le cas des pays en développement, plus de 90 % des eaux usées urbaines sont directement rejetées dans les eaux de surface, sans traitement. Mais même dans bon nombre de pays développés, seulement une partie des eaux usées municipales fait l'objet d'un traitement classique (Lazarova, 1998).

Les eaux usées présentent un risque sanitaire direct de par la présence d'organismes pathogènes, comme des bactéries (choléra, salmonella, shigella), de virus (virus de l'hépatite, entérovirus, poliovirus, virus de Norwalk) et de parasites (protozoaires tels Giardia et Cryptosporidium et helminthes). Les charges en azote et en phosphore peuvent donner lieu à une eutrophisation provoquant des modifications radicales de la productivité et de la biodiversité, les rejets de contaminants peuvent présenter une toxicité aiguë ou chronique pour les organismes des eaux réceptrices et les charges élevées de matières consommant de l'oxygène peuvent abaisser la teneur en oxygène dissous à des concentrations qui menacent la survie des organismes aquatiques (Ouled Haddar, 2020).

Après un usage domestique, agricole ou industriel, l'eau est polluée par diverses matières biologiques, physiques ou chimiques. Cette eau usée est souvent réutilisée ou déversée dans le milieu naturel. Avant sa réutilisation ou son évacuation dans l'environnement, elle doit néanmoins subir une procédure de dépollution dans une station d'épuration. Celle-ci se décline en plusieurs étapes, dont la phase de traitement tertiaire, est une méthode de dépollution des

eaux usées qui consiste à éliminer les polluants non biodégradables. Il succède au traitement primaire et au traitement secondaire. Cette technique permet de débarrasser le phosphore et l'azote contenus dans les eaux pour affiner ces dernières. Elle est basée sur l'utilisation de procédés chimiques et physiques (Saggai, 2004).

L'objectif de ce travail est de présenter une méthodologie de valorisation des eaux usées traitées dans une perspective de développement local durable. Le processus de filtration est une méthode de traitement tertiaire simple, peu coûteuse et respectueuse de l'environnement. Nos travaux consistent à étudier l'effet de la hauteur du sable dans les filtres immergés sur l'élimination des agents polluants dans les eaux traitées de la STEP Kaf Doukhane. Plus précisément, il s'agissait d'étudier l'effet de hauteur de sable (25, 55, 85 et 110 cm) sur l'élimination de : MES, la turbidité, la DBO₅, du NH₄⁺, du O⁻-PO₄, pH, CE, O₂-dis. Les tests de filtration ont été réalisés sur un Bande d'Essai au laboratoire de l'Université de Ghardaïa. Ensuite le travail s'est basé, sur l'analyse des données physico-chimiques de l'eau traitée afin de qualifier sa qualité et de déterminer les processus de traitement appropriés. Par ailleurs, nous avons procédé à la caractérisation des matériaux filtrants par une étude géotechnique, afin d'identifier les différents paramètres pouvant orienter le choix du sable filtrant à adopter. Ainsi, nous avons analysé la qualité des eaux à la sortie du processus pour chaque hauteur de sable dans la bande d'essai. Grâce à cette succession de travaux, nous avons arrivé à proposer le matériau filtrant optimum ainsi que les dimensions de la station de filtration afin d'améliorer la qualité de l'eau traitée et de suggérer des finalités de cette ressource.

Ce travail s'articule en quatre chapitres à savoir :

- Une introduction générale :
- Le premier chapitre est consacré à la synthèse bibliographique sur les caractéristiques des eaux usées et ces compositions, des généralités sur l'épuration et ces procédés approuvés, ainsi on explique le processus de filtration qui est classé comme une étape du traitement tertiaire.
- Le second chapitre portera sur le site d'étude notamment les caractéristiques techniques et socio-économique de la STEP Kef Doukhane à El-Atteuf.
- Dans le troisième chapitre décrit les méthodes expérimentales, le matériel, ainsi que le dispositif expérimental utilisé pour réaliser le traitement par filtration sur sable.

- Le quatrième chapitre est consacré pour présenter la discuter les différents résultats obtenus lors de la réalisation de la filtration sur sable, ainsi que l'analyse granulométrique du massif filtrant.
- Une conclusion générale ainsi que quelques perspectives seront présentées à la fin de ce travail.

Chapitre I :
Synthèse Bibliographique

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction

Le lagunage naturel est un procédé de traitement biologique extensif où l'épuration des eaux usées est réalisée dans des bassins à l'air libre et peu profonds, dans lesquels les eaux usées s'écoulent naturellement. Le procédé par lagunage est la méthode de traitement la plus commune lorsque on dispose de grandes surfaces de terrain, et en extension tant sur le plan technique que scientifique. Le lagunage est très utilisé dans de nombreux pays, notamment les pays en voie de développement. Nous citons dans ce chapitre les principes et les paramètres de lagunage naturel comme traitement secondaire, ainsi les procédures de traitement tertiaire qui s'accompagne le lagunage naturel.

I.2. Lagunage naturel

I.2.1. Un système naturel

Le lagunage est une technique biologique d'épuration naturelle des eaux usées. Le traitement est assuré par la végétation aquatique qui sert de support à des procédés aérobies et anaérobies impliquant un large éventail de microorganismes. Il s'agit en quelque sorte de reproduire le procédé naturel d'autoépuration des eaux que l'on rencontre dans les lacs et rivières. Une station d'épuration par lagunage est en général précédée d'un prétraitement mécanique ou d'un traitement complet de type boues activées (on parle alors de lagunage tertiaire). Une filière de lagunage se compose d'une succession de bassins où l'on privilégie un type d'écosystème épuratoire spécifique (Amir, 2005).

Le lagunage consiste en une succession de trois à cinq bassins peu profonds (0,4 à 1,2 m) dans lesquels l'eau s'écoule gravitairement de lagune en lagune. Il peut s'avérer nécessaire (pour les grosses installations) d'utiliser des bassins de prétraitement (dégraisseurs, déshuileurs, dessableurs) qui sont chargés d'éliminer les particules solides et les graisses. Ces déchets extraits seront éliminés par incinération ou revalorisés (le sable pourra être utilisé en tant que remblais routiers et les huiles pourront être soit régénérées soit incinérées) (Amir, 2005). Les premiers bassins sont des bassins à micro-organismes, où est dégradée la matière organique contenue dans les eaux usées. On trouve dans ces bassins un écosystème constitué de végétaux qui, par photosynthèse produisent de l'oxygène qui nourrit le phytoplancton qui à son tour nourrit le zooplancton (Saggai, 2004).

I.2.2. Principe de fonctionnement

Une station de lagunage est une succession de bassins de rétention peu profonds dans lesquels l'eau s'écoule lentement par gravité. Dans chacun de ces bassins, stagne une tranche d'eau où évolue un écosystème particulier. Cette technique permet essentiellement de s'appuyer sur une association biologique couvrant toute une chaîne alimentaire, à savoir ; les bactéries aérobies, les bactéries anaérobies, les algues ou phytoplancton et le zooplancton dans certains cas. Cette chaîne de dépollution se résume à une décantation des particules solides, à la filtration des effluents à travers la végétation, à la minéralisation aérobie et éventuellement la dégradation anaérobie de la matière organique ainsi que l'utilisation des nutriments produits par la végétation et l'action germicide du rayonnement solaire ainsi que l'aptitude à dégrader certaines molécules, en particulier les hydrocarbures.

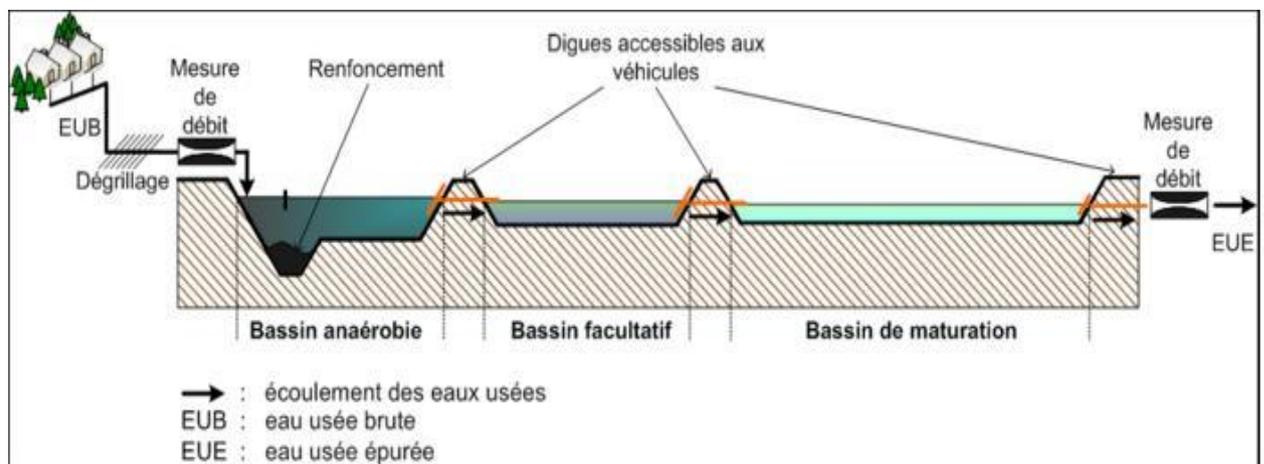


Figure N° 01. : Schéma en coupe du lagunage naturel.

La technique du lagunage est particulièrement bien adaptée aux petites communes rurales où de grandes surfaces sont disponibles. Pour assurer une bonne fiabilité de fonctionnement, on dispose généralement trois bassins en série ; le premier étant beaucoup plus grand que les autres car il s'agit d'un lieu de décantation plus important. En Algérie cette technique a connu une extension importante notamment dans les régions steppiques et sahariennes car on compte plus de 30 stations déjà réalisées et de toutes dimensions (Ouled Haddar, 2020).

I.2.3. Avantages et inconvénients du lagunage naturel

I.2.3.1. Avantages

Le lagunage naturel présente les avantages suivants :

- Bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique - dilution) ;
- Coûts d'investissement limités (en absence de forte contrainte d'étanchéifiassions)

- Faibles coûts d'exploitation ;
- Bonne intégration dans l'environnement ;
- Bonne élimination des germes pathogènes ;
- Boues peu fermentescibles ;
- Raccordement électrique inutile ;
- Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %)

I.2.2.3. Inconvénients

- Emprise au sol importante ;
- Contraintes de nature de sol et d'étanchéité ;
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée ;
- Nuisances en cas de défaut de conception et/ou d'exploitation (rongeurs, odeurs, moustiques) ;
- Élimination de l'azote et du phosphore incomplète ;
- Difficultés d'extraction des boues ;
- Taille > 100 EH ;
- Pas de réglage possible en exploitation ;
- Sensibilité aux effluents septiques et concentrés

I.2.2.4. Contraintes d'exploitation

- Passage de l'exploitant une à deux fois par semaine ;
- Très faible technicité requise pour l'exploitant ;
- Très faible consommation énergétique (voire nulle) ;
- Curage contraignant et coûteux des boues tous les 1 à 5 ans dans le bassin de tête, tous les 10 à 20 ans dans tous les bassins ;
- Faucardage des roseaux tous les ans (hiver), s'ils sont présents.

I.3. Procédés de traitement tertiaire : filtre à sable comme exemple

I.3.1. Principe de filtration

Le filtre à sable gravitaire est proposé comme un procédé de traitement tertiaire. Il consiste à la séparation en utilisant le passage d'un mélange solide- liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides, et laisse passer le liquide (Frank R. 2002). Pour optimiser l'utilisation d'un filtre, on doit le faire fonctionner de telle sorte que, lorsque la turbidité de l'effluent atteint sa valeur maximale et les pertes de charge atteignent-elles aussi, leurs limites maximales permises (Kafi 2008). Le colmatage est l'obstruction progressive des interstices des

matériaux filtrant, la vitesse du colmatage dépend de type de support filtrant et de la qualité de l'eau à filtrer (Kadlec & Knight 2009).

I.3.2. Phénomène de colmatage

Le colmatage est classé suivant les facteurs mis en jeu dans ce phénomène, il est classé comme suit :

- Colmatage physique : Il est dû au tassement de sable du filtre sous l'effet de son propre poids et de l'écoulement de l'eau qui provoque le transport des particules fines en cours d'eau. La matière en suspension est aussi retenue par le matériau filtrant (Rodgers M. 2004).
- Colmatage chimique : L'eau joue le rôle d'un catalyseur pour les réactions chimiques entre les ions existants dans la masse filtrante. Ces réactions seront plus affectant en présence de l'argile (Rodgers M. 2004).
- Le colmatage biologique : Il est dû à l'accumulation de la matière organique dissoute et les micro-organismes sur les surfaces des grains (Aain & Laurence. 2001).

I.3.3. L'écoulement à travers d'un filtre à sable

Le concept de filtration est basé sur la loi de Darcy, qui exprime que le débit traversant une section d'un milieu filtrant est proportionnel au gradient hydraulique et à sa surface (Marsily G. 1994) :

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{H}{L}$$

Avec :

- Q : le débit traversant la couche filtrante (m³/s)
- K : le coefficient de perméabilité (m/s)
- H: la charge hydraulique (m)
- L : hauteur du filtre (m)
- H/L : le gradient hydraulique ≈ 1 (filtration gravitaire)

K (m/s)		10 ¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹¹
GRANULOMETRIE	homogène	Gravier pur		Sable pur		Sable très fin		Silt		Argile				
	variée	Gravier gros et moyen		Gravier et sable		Sable et argile-Limons								
DEGRES DE PERMEABILITE	TRES BONNE		BONNE		MAUVAISE				NULLE					
TYPES DE FORMATIONS	PERMEABLES				SEMI-PERMEABLES				IMPER.					

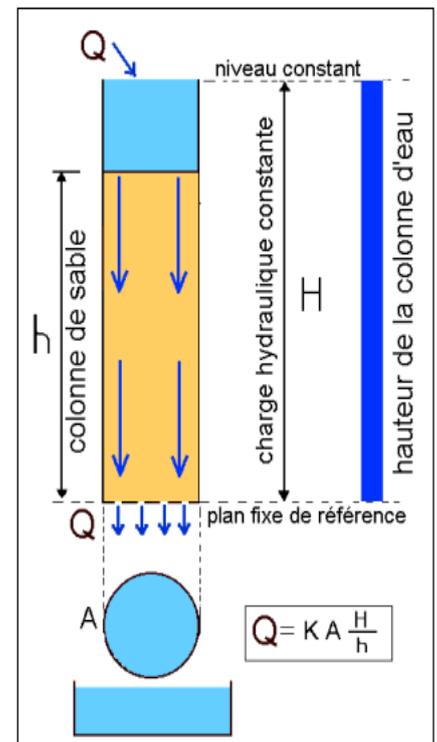


Figure N° 02. Principe d'un filtre à sable (Marsily, 1994)

I.4. Paramètres physico-chimiques et hydro-chimiques des eaux usées

I.4.1. Paramètres physique

I.4.1.1. PH :

Le pH d'une eau permet de mettre en évidence les espèces chimiques présentes dans un échantillon. On parle alors de pH acide, de pH neutre ou de pH basique. La mesure du pH est réalisée par une méthode potentiométrique en mesurant la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence (Rodier, 1996).

I.4.1.2. Conductivité CE unité : $\mu\text{cm/l}$ à une température de 25°C

La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau. La mesure de conductivité est réalisée en mesurant la conductance d'une eau entre 2 électrodes métalliques, elle est l'inverse de la résistivité électrique (Rodier, 2005).

I.4.1.3. Oxygène dissous

L'oxygène est toujours présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau, l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l (Ouled Haddar, 2020).

I.4.1.4. Turbidité : unité : NTU

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. La mesure se fait par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par une gamme étalon (Rodier, 2005).

I.4.1.5. MES (Matières en suspension en mg/l)

La turbidité est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. La mesure de la turbidité est très utile pour le contrôle d'un traitement mais ne donne pas d'indications sur les particules en suspension qui l'occasionne. La mesure se fait par comparaison de la lumière diffusée et de la lumière transmise dans l'échantillon d'eau et par une gamme étalon (Rodier, 2005).

Les matières en suspension (MES) 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). Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon (JORA, 2018).

L'abondance des matières en suspension dans l'eau favorise la réduction de la luminosité et abaisse la production biologique du fait, en particulier, d'une chute de l'oxygène dissous consécutive à une réduction des phénomènes de photosynthèse. Les MES s'obtiennent soit par filtration des effluents peu chargés soit par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à obtenir un résidu sec. Pour le suivi d'une STEP, la détermination des MES se fera par filtration sur filtre en fibres de verre compte tenu de l'origine domestique des effluents. La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur une membrane (préalablement pesée à vide) de 1,5 microns et les résidus sur cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en milligramme/litre (Rodier, 2005).

I.4.2. Les paramètres de pollution

L'azote est présent dans les eaux usées domestiques principalement sous forme organique et ammoniacale. Les différentes formes de l'azote dans les eaux usées sont les suivantes (Ouled Haddar, 2020):

I.4.2.1. DCO (Demande Chimique en Oxygène en mg/l)

La dégradation des matières organiques (d'hydrates de carbone, de matières protéiques, d'acides aminés, de lipides et autres substances de réserves) déversées dans les cours d'eau entraîne une consommation de l'oxygène dissout dans l'eau. Cela se fait au détriment des organismes vivants et peut entraîner ainsi l'asphyxie du milieu. La pollution par les matières organiques est provoquée par les rejets industriels (industries chimiques, pétrolières, agro-alimentaires, ...) et les rejets des populations urbaines. L'importance de cette pollution dans un effluent peut être évaluée par la demande chimique en oxygène (DCO) (Rodier, 2005).

La DCO permet d'apprécier la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. Ainsi, par la mesure de la DCO, on pourra évaluer la charge polluante d'une eau usée en matières organiques avant et après un traitement physique, chimique ou biologique afin de contrôler le fonctionnement d'une STEP et l'activité des microorganismes (Ouled Haddar, 2020).

Dans des conditions opératoires bien définies, certaines matières contenues dans l'eau sont oxydées par le dichromate de potassium en milieu acide et en présence de catalyseurs. Un agent masquant permet d'éviter l'interférence éventuelle des chlorures. L'excès de dichromate introduit est dosé par un réducteur, le sulfate ferreux, on peut ainsi remonter à la quantité de dichromate consommé par les matières oxydables. Un indicateur approprié permet de détecter la fin du dosage (Kadlec & Knight, 2009).

I.4.2.2. DBO (La demande biochimique en oxygène en mg/l)

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation et au moyen des bactéries aérobies, les matières organiques des eaux usées. Cette oxydation s'effectue en deux stades :

- Oxydation des composés de carbone, phénomène qui à 20°C, se trouve pratiquement terminer en 20 jours
- Oxydation des combinaisons comprenant de l'azote, réaction qui ne s'amorce qu'au bout d'une dizaine de jour.

La DBO5 exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours, c'est la DBO5 (Ouled Haddar, 2020).

I.4.2.3. Azote total de Kjeldahl (NTK)

Il s'agit de la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. La méthode de Kjeldahl est une méthode couramment utilisée pour déterminer la quantité totale d'azote dans un échantillon.

I.4.2.4. Nitrates (NO₃⁻ en mg/l) :

Les nitrates sont une forme oxydée de l'azote. En présence d'un milieu oxydant, l'ammonium peut se transformer en nitrite, puis en nitrate. Les nitrates sont souvent présents dans les eaux usées en raison de l'activité bactérienne et des processus de dégradation (Ouled Haddar, 2020).

I.4.2.5. Nitrites (NO_2^- en mg/l) :

Les nitrites sont une forme intermédiaire de l'azote dans le processus de conversion de l'ammonium en nitrate. Les nitrites sont également toxiques pour les organismes aquatiques à des concentrations élevées. Outre la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote peut contribuer au phénomène de l'eutrophisation. L'eutrophisation est le processus par lequel une eau devient riche en nutriments, tels que l'azote et le phosphore, favorisant ainsi une prolifération excessive d'algues et d'autres plantes aquatiques. Cela peut entraîner une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau et perturber l'équilibre écologique de l'écosystème aquatique. Il est donc essentiel de caractériser et de quantifier l'azote dans les rejets liquides afin de contrôler son impact sur l'environnement naturel et de mettre en place des mesures appropriées de traitement des eaux usées (Ouled Haddar, 2020).

I.4.2.6. Le phosphore total

Le phosphore total dans les eaux résiduaires se présente sous différentes formes (Rodier, 2005) :

- **Ortho-phosphate soluble ($\text{O}^- \text{PO}_4$ en mg/l) :** Il s'agit de la forme de phosphore la plus courante et soluble dans l'eau. L'ortho-phosphate est généralement issu de l'hydrolyse des poly-phosphates ou de la dégradation de matières organiques phosphorées.
- **Poly-phosphate :** Le phosphore peut également se trouver sous forme de poly-phosphate, qui a tendance à s'hydrolyser en ortho-phosphate soluble. Les poly-phosphates sont souvent utilisés comme agents de dosage pour le traitement des eaux.
- **Phosphore non dissous :** Il s'agit de la forme de phosphore qui n'est pas soluble dans l'eau et peut se présenter sous forme de particules solides ou de matière organique en suspension. Le phosphore non dissous peut provenir de sources telles que les sédiments, les matières en suspension dans l'eau ou les particules de phosphore adsorbées sur des substances colloïdales. Bien que le phosphore non dissous soit moins biodisponible que l'ortho-phosphate, il peut encore contribuer à la charge en phosphore des écosystèmes aquatiques.

La mesure du phosphore total dans les eaux résiduaires est importante pour évaluer la pollution et la qualité de l'eau, ainsi que pour mettre en œuvre des mesures de traitement appropriées afin de réduire les concentrations de phosphore et de minimiser les impacts négatifs sur les écosystèmes aquatiques (Ouled Haddar, 2020)..

I.4.3. Les paramètres bactériologiques

Les micro-organismes présents dans les eaux usées sont responsables du traitement biologique de ces eaux. Voici quelques informations sur certains micro-organismes pathogènes rencontrés :

I.4.3.1 Virus

Les virus se trouvent dans les eaux usées à des concentrations élevées, généralement de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées peuvent être difficiles, ce qui conduit souvent à une sous-estimation de leur nombre réel. Les virus présents dans les eaux usées urbaines sont généralement estimés entre 10^3 et 10^4 particules par litre (Pierre & Lienard, 1990).

I.4.3.2 Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Ils se trouvent dans les eaux usées sous forme de kystes. Certains protozoaires pathogènes pour l'homme couramment rencontrés dans les eaux usées sont *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*. Il est importants de prendre en compte ces paramètres microbiologiques lors de l'évaluation et du traitement des eaux usées, car ils peuvent présenter des risques pour la santé publique et nécessitent des mesures adéquates pour prévenir leur propagation dans l'environnement (Rodier, 2005).

I.4.3.3 Les bactéries

Effectivement, les bactéries sont des organismes unicellulaires qui se caractérisent par l'absence de noyau dans leur structure cellulaire. Elles font partie du règne des procaryotes, par opposition aux organismes eucaryotes tels que les animaux et les plantes, qui ont des cellules avec un noyau délimité par une membrane (Rodier, 2005).

Les bactéries ont une taille variante généralement entre 0,1 et 10 micromètres (μm). Cette taille relativement petite leur permet de se propager facilement dans différents environnements, y compris l'eau, l'air, le sol et les organismes vivants. Concernant les eaux usées urbaines, il est vrai qu'elles contiennent généralement une quantité importante de bactéries. Le nombre de bactéries présent dans les eaux usées peut varier en fonction de nombreux facteurs, tels que la population, la saison et les pratiques de traitement des eaux usées. La concentration typique est d'environ 10^6 à 10^7 bactéries par 100 ml. Parmi les bactéries couramment rencontrées, vous avez mentionné les salmonelles. Les salmonelles sont un groupe

de bactéries appartenant à la famille des Enterobacteriaceae. Certaines souches de salmonelles peuvent être pathogènes pour l'homme et provoquer des maladies telles que la typhoïde, la paratyphoïde et des troubles intestinaux. Ces infections peuvent être contractées par la consommation d'aliments contaminés par les salmonelles, généralement d'origine animale (Rodier, 2005).

Il convient de noter que la plupart des bactéries ne sont pas pathogènes et jouent même des rôles importants dans les écosystèmes. Par exemple, certaines bactéries sont bénéfiques pour la digestion, la production d'aliments fermentés tels que le yaourt et le fromage, et la décomposition des déchets organiques dans l'environnement.

Il est essentiel de prendre des mesures appropriées pour prévenir les infections bactériennes, notamment en adoptant de bonnes pratiques d'hygiène, en veillant à une manipulation et à une cuisson appropriées des aliments, ainsi qu'en traitant adéquatement les eaux usées pour éviter la propagation de bactéries pathogènes (Franck, 2002).

Chapitre II :

Présentation du site d'étude

CHAPITRE II : PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

II.1. Introduction

Toutefois, il est nécessaire de bien connaître la zone d'étude afin de déterminer et cerner les principaux facteurs influençant le traitement des eaux usées, et de ce fait, la qualité des eaux épurées. Ainsi, on s'intéressera à l'environnement du site : situation géographique, conditions climatiques, ressources en eau et en sol, agricultures, structures sociales locales ainsi qu'aux caractéristiques des eaux usées à traiter. D'autant plus que, c'est en fonction de ces derniers, que se fait le choix même de l'implantation de la station d'épuration.

Le présent chapitre donne un aperçu sur la wilaya de Ghardaïa, ainsi les caractéristiques techniques et socio-économiques liées à la STEP Kaf – Doukhane.

II.2 Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaïa se situe dans la zone septentrionale du Sahara Algérien. Elle se situe à 600 km au sud d'Alger. Elle est limitée (figure 3) :

- Au Nord par les wilayas de Laghouat et Djelfa.
- Au Sud par la wilaya de Meniaa.
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla.
- A l'Ouest par les wilayas d'El-Bayad .



Figure N° 03. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.

II.3. La vallée du M'Zab

La vallée du M'Zab à laquelle se rattache notre étude, La vallée du M'Zab fait partie de la région centrale de la Chebkha (Dorsale du M'Zab), cette dernière se caractérise par un relief cisailé, ravine et serpenté d'innombrables Oueds. Le substratum géologique est constitué de calcaire dolomitique et de marne d'âge Turonien. Le tissu urbain de Ghardaïa se prolonge le long d'Oued M'Zab e même dans les affluents et les Chaabats. En effet on peut distinguer (Ouled Belkhir, 2018):

- Le plateau de la chebkha : caractérisé par une faible pente ($i=3\%$) comportant quelques micros dépressions.
- Les versants des chaabats : caractérisés par une pente importante ($i=25\%$) et d'une faible capacité d'infiltration.
- Les fonds des chaabats ($i=2-3\%$) : pouvant comporter un léger remplissage alluvionna

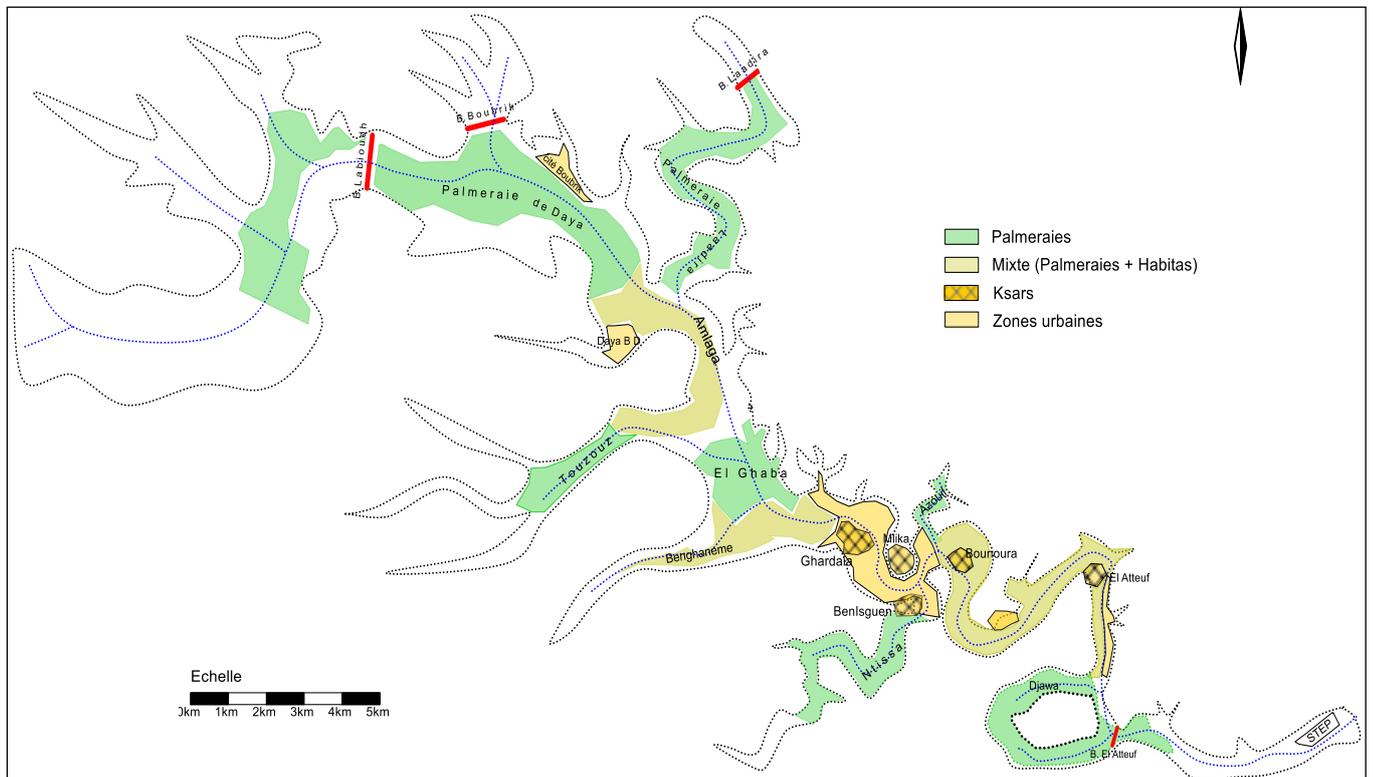


Figure N° 04. Carte d'occupation du sol de la vallée du M'Zab (Ouled Belkhir, 2018)

II.3.1. Cadre socio-économique

La Wilaya de Ghardaïa a été créée en 1984 lors du redécoupage administratif. Avant cette date, l'ensemble de son territoire dépendait de la Wilaya de Laghouat. A cette occasion, huit nouvelles communes ont été créées. La population de la Wilaya à différentes horizons a due d'être estimée

sur la base des données du taux de croissance de l'année 2008. Les conclusions générales pour la période 2008-2040 sont les suivantes (Ouled Belkhir, 2018):

Tableau N° (1): Évolution de la population de vallée sur la période 2008-2040

Commune	2008	Croissance %	2010	2020	2030	2040
Ghardaïa	93 423	0,7	94 735	101 580	108 919	116 788
Bounoura	35 405	2,5	37 197	47 616	60 952	78 024
El Atteuf	14 752	1,5	15 198	17 638	20 469	23 756
Daya B D	12 643	3,3	13 491	18 666	25 826	35 732
Total	137 213	-	160 622	185 499	216 166	254 299

D'après le tableau il ressort que :

- Le rythme de croissance de la population de la Wilaya est supérieur à celui de l'Algérie.
- La densité moyenne de peuplement sur la vallée est de 116 habitants / km², soit 379,83 habitants / km² à Ghardaïa, 49,24 habitants / km² à Bounoura, 23,87 Habitants / km² à El-Atteuf et 18.25 habitants / km² à Daya B. D.
- Le taux de croissance à la commune de Ghardaïa est trop faible par le fait que cette commune est dépourvue des extensions urbanistiques.
- La Population de la vallée du M'Zab est fortement agglomérée (97 %).
- Un déséquilibre dans la répartition spatiale : 3 communes concentrent plus de 80 % de la population : Ghardaïa, Bounourah et El Atteuf.

L'exploitation des données de l'État civil sur l'ensemble de la vallée a donné les résultats suivants pour l'année 2016 (données DPAT-Ghardaïa 2022) :

- Taux de natalité : 2,20%.
- Taux de mortalité : 0.26 %.
- Taux de mortalité infantile : 2,72 %.
- Taux de croissance moyenne: 2,53 %.

II.3.2. Cadre climatique

La station météorologique la plus proche de la vallée du M'Zab est celle de l'ONM à aéroport de Noumeratte (à 18 km vers le sud). Elle est repérée par les coordonnées suivantes :

- Latitude : 32°,40 N
- Longitude : 3°,81 E
- Altitude : 450 m

Les données disponibles sur la station qu'on peut les exploiter sont de la période 1990-2020 pour les paramètres : Température, Humidité, Vent, Evaporation (Ouled Belkhir, 2018).

- **La température de l'aire**

Les données de la température de l'aire sont résumées sur le tableau et la figure suivants :

Tableau N° (2): Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales (1990-2020)

Mois	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
T moy	27.3	22.0	15.7	11.3	10.4	12.2	16.4	20.3	24.7	29.4	33.2	31.8
T max	35.3	29.5	22.5	17.6	16.9	18.9	23.7	27.8	32.4	37.8	41.8	40.4
T min	22.9	17.9	11.4	7.2	6.1	7.6	11.3	14.9	19.2	24.1	28.2	27.3
Moy saisonniers	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	21.67			11.29			20.45			31.47		

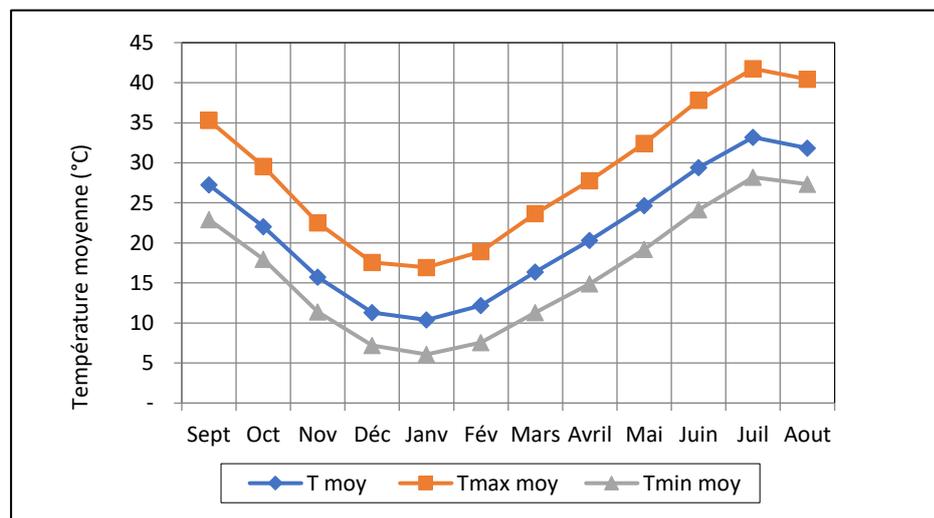


Figure N° 05. Variations des températures (moy, max, min) (1990-2020)

A partir des données exposées, on peut déduire que :

- La valeur moyenne annuelle enregistrée pour la période considérée est de 22.3 °C.
- La période chaude s'étend du mois mai à octobre pendant lequel les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle.
- La période froide commence du mois de novembre jusqu'au mois d'avril.
- La température la plus basse apparaît au mois de janvier avec -2 °C, alors que la plus élevée se présente en juillet où elle atteint 57 °C.
- Les plus fortes amplitudes thermiques sont rencontrées en période estivale oscillant entre 13 à 15 °C. Ceci est l'une des caractéristiques du climat désertique.

• **L'humidité relative**

L'humidité relative représente le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la même température. Les données recueillies de la station de Ghardaïa donnent une moyenne annuelle de l'ordre de 39,2%. Les moyennes mensuelles varient de 46,6% à 58,1% en hiver et de 22,9 à 26,2% en été.

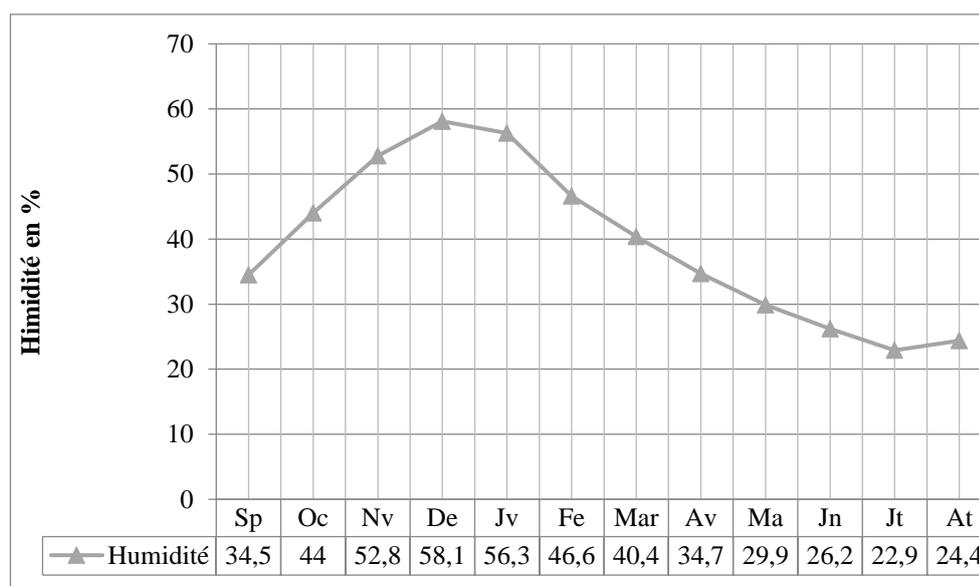


Figure N° 06. Humidité moyenne mensuelle et annuelle de station de Ghardaïa (1990-2020)

On constate que les valeurs de l'humidité mensuelle sont inversement proportionnelles à la température moyenne mensuelle.

• **Le vent**

Le vent est l'un des facteurs déterminant du climat. Il se caractérise par sa vitesse et sa direction. La région de Ghardaïa est régie d'une part, par les circulations des masses d'air propres à la méditerranée occidentale amenant l'humidité d'origine Atlantique nord, et d'autre part, à l'ouverture des vents sahariens chauds (Sirocco).

Tableau N° (3): Fréquences des vents selon leur direction (1990-2020)

Mois	Temps	Fréquences en % des vents en direction du :							
	Calme	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E
Janvier	34				15	17	18		
Février	29				14	18	17		
Mars	21				11	15	25		
Avril	17				10	10	25	15	
Mai	15					10	22	14	
Juin	20		11				18	20	12
Juillet	23		15				11	17	14
Août	23		15				12	17	11
Septembre	24						17	20	13
Octobre	30						22	15	
Novembre	34				12	14	17		
Décembre	33				17	18	14		

Les vents dominants soufflent du NO. Les vents d'hiver sont froids secs et humides de direction NO et ONO, les vents d'été sont secs et chauds de direction NE, les siroccos soufflent en moyenne 11 jours par année pendant la période qui va du mois de mai au mois de septembre, avec un pourcentage de vents calmes de 25%.

Tableau N° (4): Vitesse moyenne du vent (1990-2020)

Mois	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At	Ans
Vitesse (m/s)	3,6	3,2	3,3	3,5	3,6	3,7	4,4	4,8	4,5	4,2	3,6	3,3	3,8

Les vitesses moyennes mensuelles observées au niveau de la station de Ghardaïa, montrent une répartition assez régulière comprise entre 3,3 et 4,8 m/s sur toute l'année, ce qui nous permettrait de les classées dans la catégorie des vents modérés. Les vitesses les plus élevées s'observent en printemps avec un maximum au mois d'avril de 4,8 m/s. En période sèche le

sirocco prédomine, il s'agit d'un vent sec et chaud qui souffle du continent vers la méditerranée desséchant ainsi l'atmosphère.

- **Demande climatique (évaporation et évapotranspiration)**

Les données de l'évaporation et l'insolation de la période 1990-2020 sont mentionnées sur le tableau suivant :

Tableau N° (5): Evaporation et insolation mensuelles (1990-2020)

Mois	Sp	Oc	Nv	De	Jv	Fe	Mar	Av	Ma	Jn	Jt	At	AN
Évaporation (mm)	225	143	96	59	76	102	143	188	250	310	309	276	2178
Insolation(Nbr h/mois)	272	262	245	233	321	245	259	299	328	335	358	328	3400

On constate généralement des valeurs élevée de l'évaporation (276-310 mm) pendant les périodes chaudes (juin- août). Les valeurs les moins élevées sont enregistrées au cours du mois de janvier. L'évaporation annuelle à la station de Ghardaïa est de l'ordre de 2178 mm. Les exigences hydriques des cultures dépendent essentiellement des facteurs climatiques ainsi que de l'évapotranspiration potentielle calculée à partir des données climatiques (méthode de Penman). Par l'usage du logiciel Cropwat-Fao, les calculs des demandes climatiques ETP ont été effectué sur la période 1990-2020, les résultats sont résumés sue la figure 07.

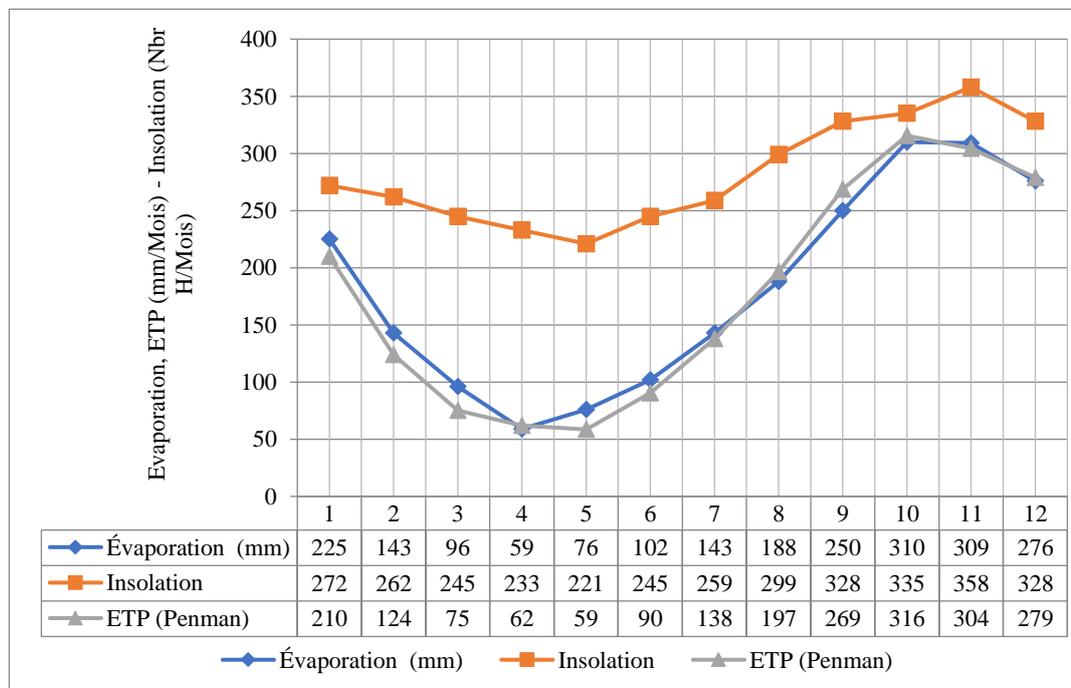


Figure N° 07. Evaporation, Evapotranspiration Penman et insolation mensuelles (1990-2020).

- **Pluviométrie**

On n'a ci-dessus un hydrogramme de pluie de 1970 jusqu'à 2015, on n'a remarqué que 1994 représente le pic des précipitations mais aussi qu'elle est une forme d'axe de changement dans la répartition Des précipitations, on déduit que les pluies rares (de plus de 30mm) sont de plus en plus fréquentes ce qui constitue un vrai danger pour la vallée lors des crues, et c'est dans ce cas qu'en trouve toute l'importance de notre étude.

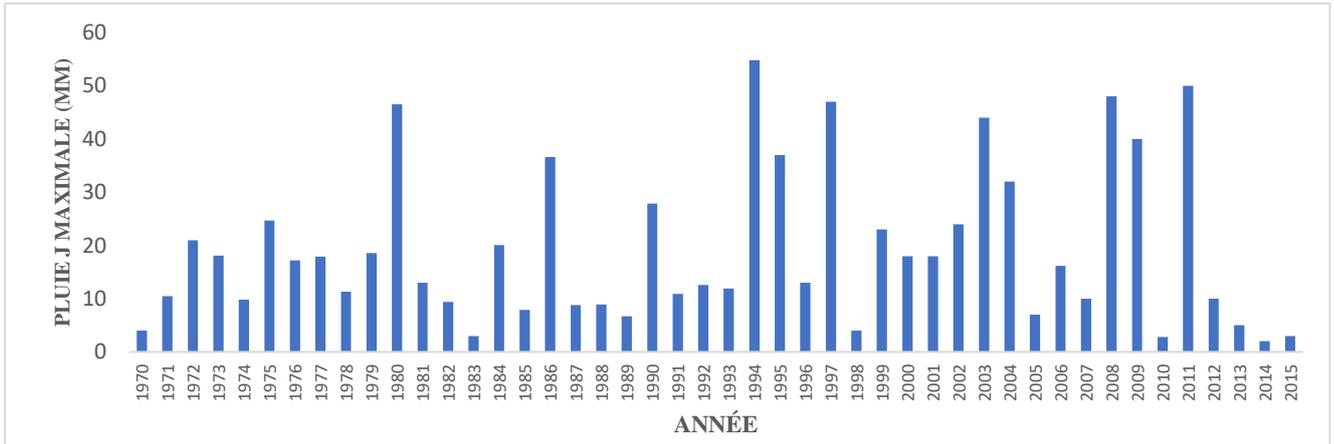


Figure N° 08. Hydrogramme de pluie de 1970 jusqu'à 2015

II.4 Présentation de la STEP Kaf doukhane

La station d'épuration de Ghardaïa est construite pendant la période 2008-2012 par AMENHYD SPA : entreprise de réalisation avec collaboration de BG et AQUATECH- AXOR (Canada) : bureau d'étude de contrôle et suivi. Elle a été mise en service en novembre 2012 et traite les eaux usées, par le procédé du lagunage naturel avec prétraitement, traitement primaire et traitement secondaire pour la filière eau, et déshydratation dans les lits de séchages pour la filière boues. Aujourd'hui, la station a une capacité de traitement de 25000 m³/j, correspondant à 168 323 éq/hab et 46 400 m³/j, correspondant à 331 700 éq/hab à l'horizon de 2030, elle traite des eaux usées d'origine urbaines. Le milieu récepteur des eaux usées traitées est l'oued M'Zab. Actuellement la station est gérée par l'ONA (Office National de l'Assainissement), les communes raccordées à la STEP sont : Ghardaïa, Bounoura, El-atteuf, par un réseau d'assainissement de type unitaire (ONA, 2021).

II.4.1. Situation géographique

La STEP Kaf Doukhane est situé en l'aval de la vallée du M'Zâb, à environ de 20 km vers sud-est du centre-ville de Ghardaïa à la commune d'El Affeuf (Ouled Belkhir, 2018).

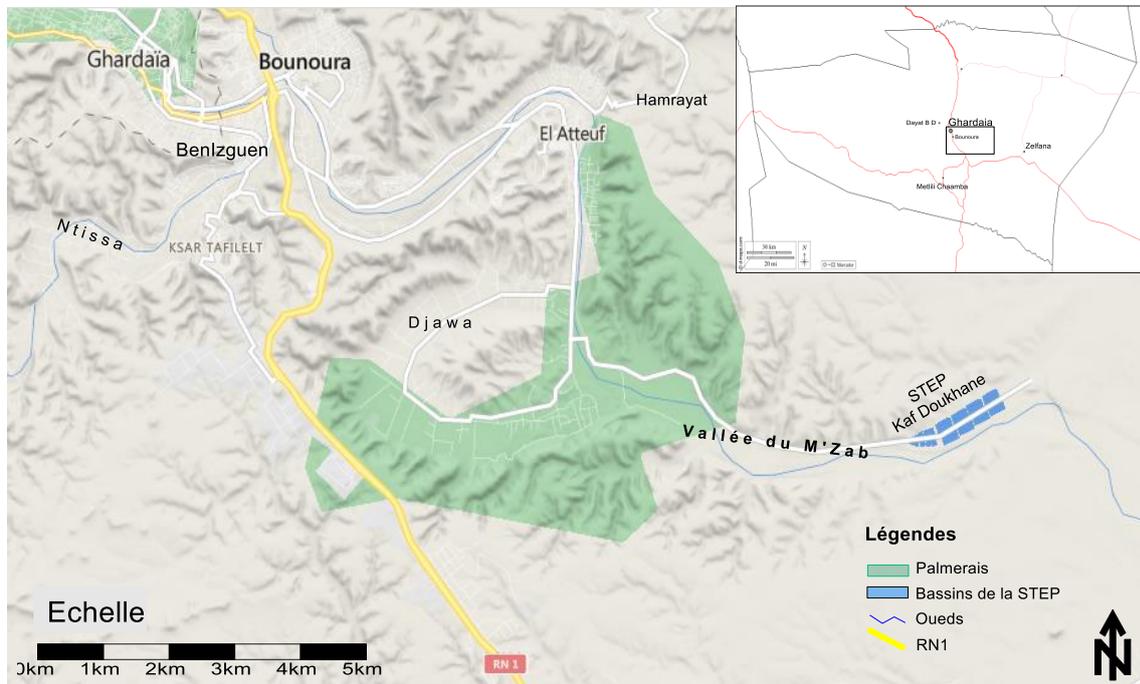


Figure N° 09. Situation de la STEP Kaf Doukhane

II.4.2 Dimensionnement de la STEP de Ghardaïa

- Capacité : 331 700 eq/hab.
- Surface totale : 79 ha.
- Nombre de lit de séchage : 10 lits.
- Nombre de bassins : 16 bassins devisés en 02 niveaux.
- Débit moyen journalier à capacité nominale : 46 400 m³/j.

Tableau N° (6): Les données de bases de la STEP (ONA, 2022)

Capacité nominale	
Premier niveau	
Nombre de lagunes	08 lagunes
Volume total des lagunes	174 028,50m ³
Volume par lagune	21 753,56m ³
Surface totale	4,97ha
Surface par unité de lagune	0,62ha
Profondeur des lagunes	3,6m
Temps de séjour	3 jours
Fréquence de curage 1 fois tous les ...	3 ans
Charge organique résiduelle	5800 kg DBO ₅ /j
Abattement DBO ₅ minimal	50%
Deuxième niveau	
Nombre de lagunes	08 lagunes

Volume total des lagunes	464 000m ³
Volume par lagune	58 000 m ³
Surface totale	30,4ha
Surface par unité de lagune	3,8ha
Profondeur des lagunes	1,6 m
Temps de séjour	10 jours
Fréquence de curage 1 fois tous les ...	3 ans
Charge organique résiduelle	2 320 kg DBO ₅ /j
Abattement DBO ₅ minimal	60%



Photo N° 01: Vue générale de la STEP Kaf Doukhane

II.4.3 Différents organes constituant la STEP

Les organigrammes suivants présentent une vue générale sur les différents organes constituant la STEP.

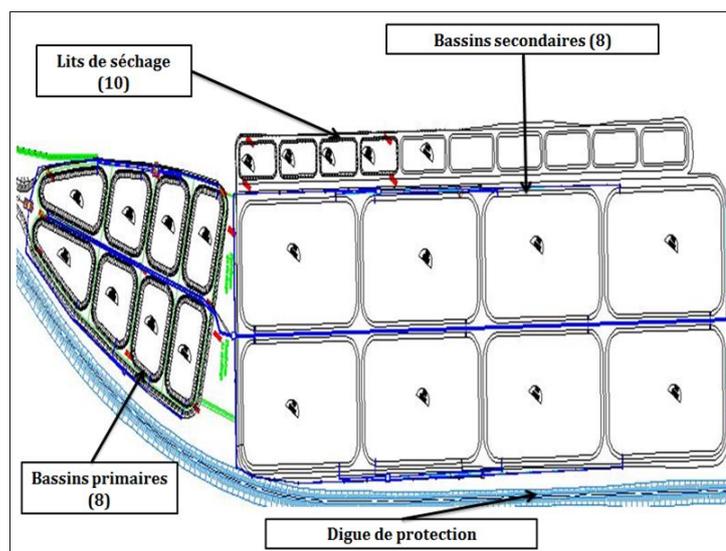


Figure N° 10. Schéma descriptive de la STEP (ONA, 2022)

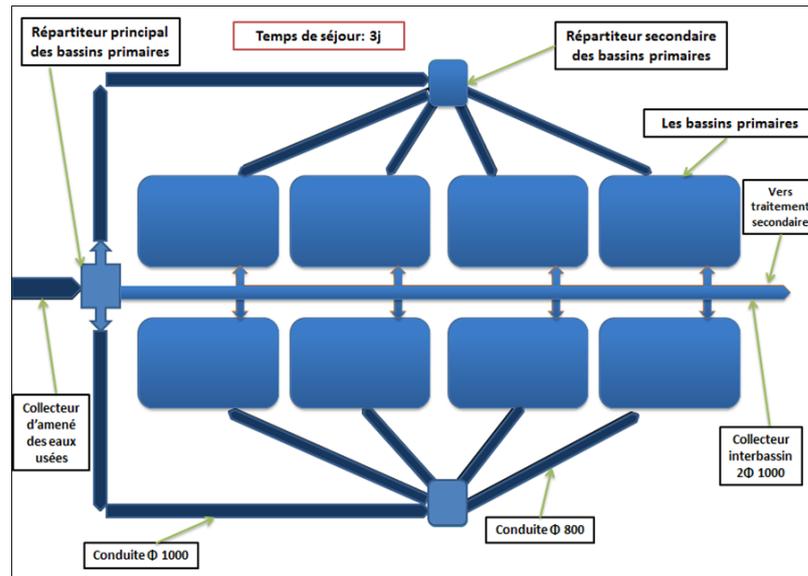


Figure N° 11. Principe de fonctionnement des bassins primaires (ONA, 2022)

- **Prétraitement**

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses. A l'arrivée dans la station d'épuration, les eaux "brutes" doivent subir, avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables de dégrossissage, appelés "prétraitements" et destinés à extraire des effluents la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs(ONA, 2022).

- **Dégrillage - dessablage**

Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) disposés en parallèle. En cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques. Un système de batardeaux calés au-dessus de la cote plane d'eau maximal équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40 mm) disposé en parallèle permet de by passer complètement l'ensemble du prétraitement (ONA, 2022).

Au niveau de la jonction avec le collecteur principal des eaux usées de l'ensemble des collecteurs des différents bassins de collecte sont prévues des dispositifs de dessablage, de ce fait, les particules non retenues à ce niveau et qui se retrouvent directement dans les lagunes sont en quantité négligeable et sont évacuées lors des opérations de curage. Le dessableur et le dégrilleur sont localisés à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire.



Photo N° 02: Dégrilleur – Dessableur

- **Ouvrage de répartition**

La répartition des débits vers les huit lagunes primaires opère au niveau du répartiteur principal disposé en tête de chacun des deux niveaux d'épuration, cet ouvrage se compose des éléments suivants, d'amont en aval, à l'aval immédiat des canaux de dégrillage (pour le répartiteur primaire), une cloison siphonide participe à la tranquillisation des flux.

L'élargissement de la section de l'ouvrage permet de ralentir le cheminement des eaux usées avant leur passage sur un seuil frontal décomposé en huit seuils de largeur 1m. Les eaux usées se déversent dans deux chambres d'où partent les deux conduites de diamètre 1000mm de liaison avec les répartiteurs secondaire (ONA, 2022).



Photo N° 03: Répartiteurs vers les bassins primaires et secondaires

- **Répartiteurs secondaires :**

Ils sont destinés à répartir les eaux usées vers les lagunes d'un même étage de traitement (primaire ou secondaire), implantées sur une même plage.

II.4.4 Traitement primaire

Le traitement primaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux usées au sein des lagunes primaires dites « anaérobies », constituées de 8 bassins d'une superficie de l'ordre de 0,62 ha et d'une profondeur d'eau de 3.6 m, la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géo- membrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien (Ouled Haddar, 2020).

II.4.5 Traitement secondaire

Le circuit hydraulique du traitement secondaire est similaire à celui du traitement primaire avec les éléments suivants :

- Deux conduites de diamètre 1000mm, qui collectent les eaux ayant subi le traitement primaire, arrive sur répartiteur principale du traitement secondaire.
- Les eaux sont ensuite réparties vers les huit lagunes secondaires.

Le traitement secondaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux au sein des lagunes secondaires constituées de huit bassins d'une superficie de l'ordre de 3.8ha et d'une profondeur d'eau de 1.6m, la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géomembrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien(Ouled Haddar, 2020).



Photo N° 04: Lagunes primaires et secondaires

II.4.6 Traitement des boues

Le système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes primaires et secondaires à l'air libre sur 10 lits de séchage. Les lits de séchage sont implantés à une cote supérieure à celle des lagunes afin de pouvoir évacuer les lixiviats drainés vers les lagunes de manière gravitaire. En effet, les lits de séchage sont constitués d'une couche de sable lavé

surmontant des couches de granulométrie plus importante incluant le réseau de drainage. De ce fait, on assiste dans un premier temps à un ressuyage de l'eau interstitielle qui donc est renvoyée vers les lagunes, et dans un second temps l'évaporation permet l'obtention de siccités élevées(Ouled Haddar, 2020).



Photo N° 05: Lits de Séchage

II.4.7 Rejet des eaux traitées

Après le traitement dans les bassins secondaires, et à travers les ouvrages de sortie des lagunes, les eaux traitées sont évacuées gravitairement vers le rejet final par deux collecteurs de diamètre 1000mm. Les eaux traitées sont rejetées directement à l'oued M'Zab(Ouled Haddar, 2020).



Photo N° 06: Rejet final vers oued M'Zab.

II.4.8 Analyses physico-chimiques ultérieures des eaux usées et rendement du système épuratoire

Afin de déterminer l'efficacité du système épuratoire, des analyses ont été effectuées à partir de 11 variables qui sont : DBO5 DCO, MES, Turbidité, NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+ , salinité, pH, conductivité et O_2 dissout. Ces paramètres sont dosés aux laboratoires de l'université de Ghardaïa, l'ONA et l'ADE à différentes époques. Les résultats des analyses hydrochimiques ont été également comparés aux valeurs guides de l'OMS (2018) dans le cadre des eaux usées traitées destinées à l'irrigation.

Tableau N° (7): Analyses physico-chimiques ultérieures des eaux usées de la STEP

Paramètres	Laboratoire ADE-Gh Avril 2016		Laboratoire Univ-Ghardaia Mai 2020		Laboratoire ONA-Gh Aout 2022	
	Entrée	Rejet	Entrée	Rejet	Entrée	Rejet
DCO (mg/l)	310	186	287	85	258	163
DBO5 (mg/l)	94	56	113	32	120	29
MES (mg/l)	118	50	120	72	43	77
Turbidité (NUT)	-	-	320	55	-	-
O_2 dissout (mg/l)	2	2.8	-	-	3.79	4.11
Salinité (mg/l)	2.1	2	-	-	2	1.90
Conductivité($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3.47	3.26	-	-	4.13	3.75
pH	7.86	8.33	-	-	7.08	7.26
NO_3^- (mg/l)	1.53	0.42	2	0.46	-	-
NO_2^- (mg/l)	0.36	0.11	0.82	0.48	-	-
NH_4^+ (mg/l)	-	-	7.6	2.30	-	-

Les rendements épuratoires moyennes sur les paramètres DBO5 DCO, MES, Turbidité, NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+ sont respectivement : 62% ,50% , 48%, 83% , 74%, 55% et 70%.

Chapitre III :
Matériels et Méthodes

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

III.1 Introduction

Notre étude s'intéresse à l'optimisation d'un filtre à sable des eaux traitées. Pour matérialiser cette tâche, nous avons dû passer par la présentation des matériels et méthodes utilisées dans le processus de filtration ainsi que les analyses physicochimiques effectuées pour juger ce processus.

III.2 Caractérisation du matériau filtrant

III.2.1 Sable utilisé

Le sable utilisé a été prélevé du carrier d'Oued Metlili. Selon l'analyse ci-dessous, le sable d'Oued Metlili est considéré comme le meilleur sable en termes de rendement épuratoire par rapport à la plupart des éléments de pollution étudiés. Ce résultat a été confirmé par une étude précédemment réalisée ([Ouled Haddar, 2020](#)). Il présente aussi l'avantage d'être à proximité de la STEP qui n'est qu'à 15 km de celle-ci.



Photo N° 07: Photo de sable d'Oued Metlili



Photo N° 08: Emplacement du carrier d'Oued Metlili

III.2.2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et le pourcentage pondéraux de grains constituant les échantillons du sable. L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés (AFNOR n°X11.501) empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas. Chaque tamis donne deux produits, un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus.

L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique. L'efficacité de tamisage dépend de plusieurs facteurs tels que (Duguet & Bernazeau 2006) :

- La masse de l'échantillon.
- La qualité de mouvement (amplitude de vibrations) ou brassage.
- Le temps de tamisage.
- Le débit d'eau d'arrosage



Photo N° 09: Les Tamis Utilisés

III.2.3 Paramètres granulométriques

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur des graphiques spéciaux et les courbes ainsi tracées fournissent des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques, on distingue :

- **Le diamètre efficace DE :** Le diamètre efficace D_{10} exprime le diamètre de l'ouverture de tamis qui laisse passer 10% de l'échantillon du sable. Il représente conventionnellement, le diamètre moyen des grains du sable (Marsily,1994).

- **Le coefficient d'uniformité CU :** Le coefficient d'uniformité, représente l'homogénéité de la distribution des diamètres des grains dans l'échantillon. Par convention.

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Pour que la granulométrie soit uniforme, il faut que $2 < CU < 2.5$ (Marsily,1994).

Dans le cas du Sable de Oued Metlili $CU = 2.1$

- **Le coefficient de classement C_c :** Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 75% et respectivement 25% des particules soient inférieures. Ce coefficient constitue un indice de variation relative de la pente de la courbe :

$$C_c = \frac{d_{75}}{d_{25}}$$

Dans le cas du Sable de Oued Metlili $C_c = 2.6$

III.3 Prélèvement des eaux usées traitées

Actuellement les eaux épurées sont rejetées directement dans la nature (Oued M'Zab). Sont des eaux a microphytes importantes qui favorisent le développement des micro-algues (couleur verdâtre). Le prélèvement d'eau a été effectué directement au niveau du canal de rejet de la STEP. Après la prise d'échantillons, on procède à la conservation des eaux dans les conditions appropriées jusqu'au laboratoire d'analyse (université de Ghardaïa).



Photo N° 10: Eau usée traitée utilisée

III.4 Bande d'essai expérimentale (filtre à sable).

III.4.1 Présentation

Pour arriver aux objectifs de notre travail de recherche on à utiliser le dispositif de la filtration dans la masse (filtre à sable) installée au laboratoire d'hydraulique de l'université de Ghardaïa.



Photo N° 11: Bande

d'essai de filtration

Il s'agit d'une description d'une installation pilote utilisée pour étudier la filtration dans la masse et vérifier la loi de Darcy. Voici les différents points qui seront abordés lors des travaux pratiques :

- **Schéma du dispositif expérimental** : Il s'agit d'une représentation graphique du dispositif utilisé pour l'expérience.
- **Étude de la porosité du lit de sable** : Cette étape vise à déterminer la porosité du lit de sable, c'est-à-dire la fraction de volume du lit occupée par les vides ou pores.
- **Étude de l'écoulement de l'eau à travers le lit de sable** : L'objectif est de vérifier la loi de Darcy, qui décrit la relation entre la vitesse d'écoulement de l'eau à travers un milieu poreux et la perte de charge induite. Cette étape sera réalisée en travaillant en circuit fermé.
- **Détermination de la perméabilité (A)** : Pour une même hauteur d'eau dans la colonne, on fera varier le débit d'eau à travers le lit de sable. Les pertes de charge dans le lit de sable seront mesurées et les courbes $P = f(Q)$ et $P = f(z)$ seront tracées pour déterminer la perméabilité du milieu filtrant.
- **Étude du colmatage du filtre** : On préparera une solution floculée de CuSO_4 avec de la chaux et, pour un débit donné, les pertes de charge seront mesurées pour étudier le colmatage du filtre.

- **Étude de l'efficacité du lavage à contre-courant** : Cette étape consiste à évaluer l'efficacité du lavage à contre-courant pour nettoyer le filtre. Des prises de pression à différentes hauteurs dans la colonne permettront d'étudier le colmatage du filtre et de dimensionner le système. L'installation comprend une colonne en Altuglas d'une hauteur de 1300 mm et d'un diamètre interne de 100 mm, équipée d'une surverse. Des prises de pression espacées de 50 mm sur une hauteur de 750 mm permettent la mesure de la perte de charge en hauteur d'eau. Une pompe centrifuge est utilisée pour alimenter la colonne soit par le haut pour la filtration, soit par le bas pour le lavage. La solution d'alimentation est préparée dans une cuve de 120 L. Le sable est utilisé comme matière filtrante et est retenu par des grilles inox à chaque extrémité de la colonne (Ouled Haddar, 2020) .

III.4.2 Schéma et caractéristique

III.4.2.1 Schéma de principe

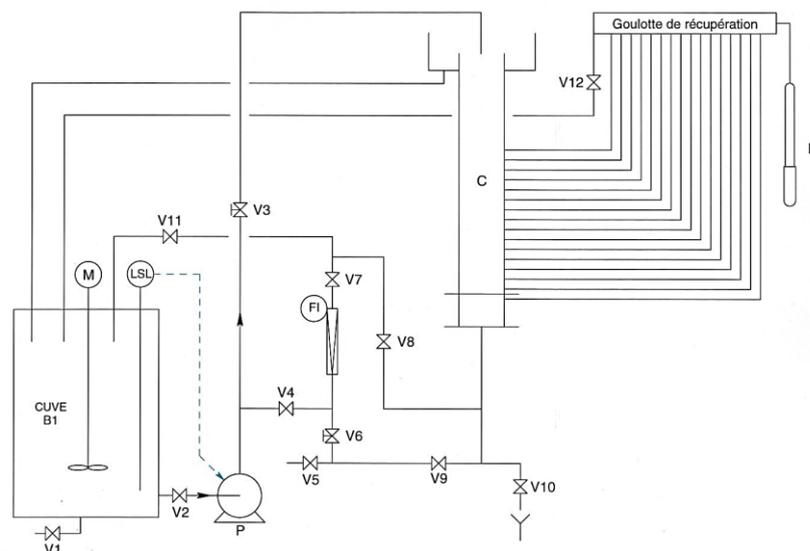


Figure N° 12. Schéma de principe

III.4.2.2 Installation

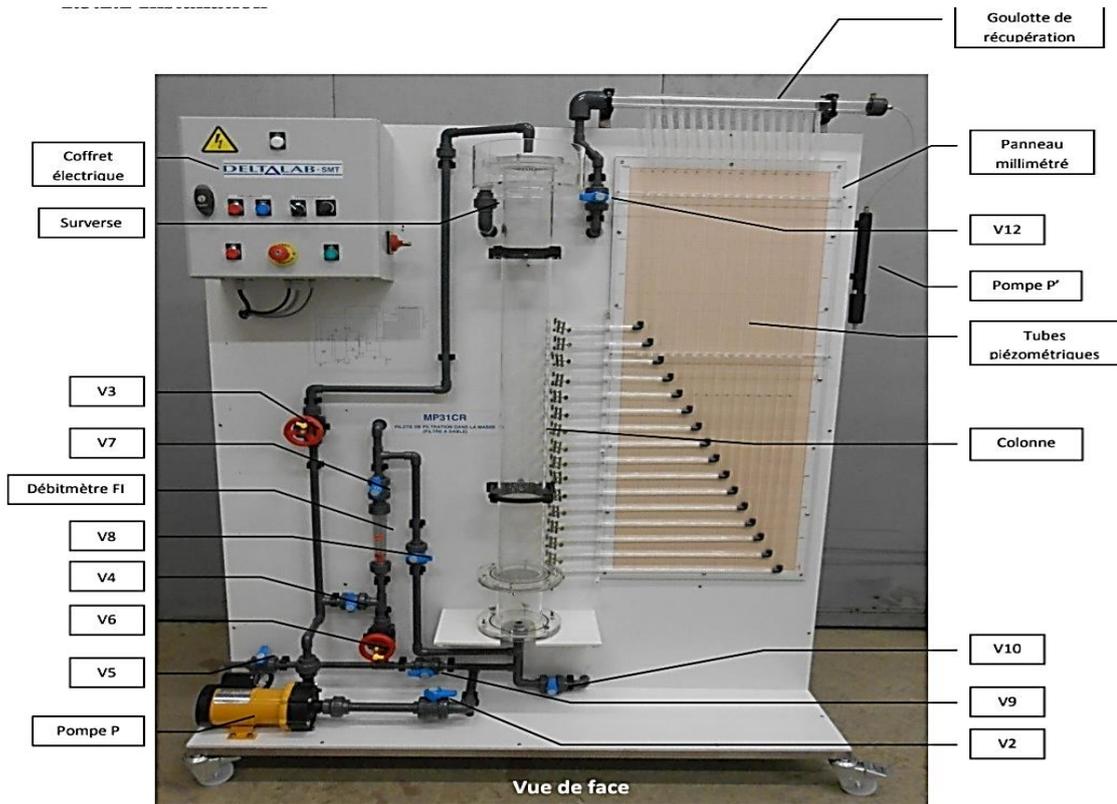


Photo N° 12: Machines-outils (vue de face)

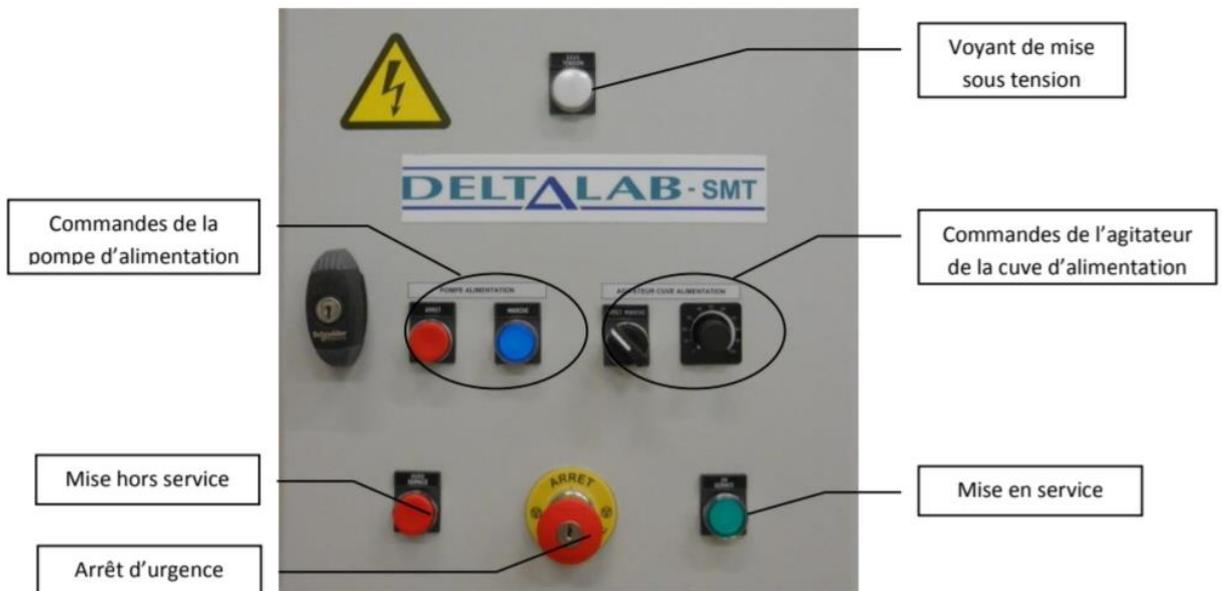


Photo N° 13: Coffret électrique-outils



Photo N° 14: Machines-outils (vue de dos)

Nom en clôture

- Les vannes
- V1 Vanne de vidange de la cuve d'alimentation B1.
- V2 Vanne d'isolation de la cuve d'alimentation B1.
- V3 Vanne de réglage du débit d'arrivée d'eau lors de la filtration.
- V4 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
- V5 Vanne d'arrivée d'eau du réseau (lors de la connexion au réseau pour le lavage du filtre).
- V6 Vanne à membrane pour ajustement du débit de sortie du filtre.
- V7 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
- V8 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
- V9 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
- V10 Vanne d'évacuation des eaux traitées.
- V11 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
- V12 Vanne de vidange de la goulotte de récupération.
- B1 Cuve d'alimentation de 120L en PVC transparent.
- C Colonne en Altuglas Ø intérieur 100mm, H: 1 300mm avec 16 tubes de prise de pression aux côtes -25, +25, 75... et 725. Les tubes sont espacés de 50mm le long de la colonne, la

cote 0 est au niveau de la grille en pied de colonne. 2 grilles de maille 375 m sont à placer à chaque bout de la colonne.

- P Pompe centrifuge en polypropylène à entraînement magnétique (1,8m³/h à 4m).
- P Pompe de mise en pression des tubes piézométriques.
- M Agitateur.
- FI Débitmètre à flotteur 60 – 600 L/h.
- LSL Sonde de niveau bas (protection de la pompe).
- Goulotte de récupération du liquide des tubes de pression.
- Panneau millimétré 500 x 1200 mm pour lecture des pertes de charge.
- Armoire électrique de commande contenant
- Sectionneur général cadenas sable.
- Bouton d'arrêt d'urgence.
- Voyant de mise sous tension.
- Bouton Marche de la pompe.
- Bouton Arrêt de la pompe.

III.5 Mise en marche de la filtration à sable

III.5.1 Prélèvement de l'eau et du sable

Un prélèvement d'eau est effectué le 20 avril 2023 à 11h du matin au niveau du canal de rejet de la STEP. Dans la même période nous avons ramené 50 kg de sable d'Oued Metlili. Les échantillons de l'eau et de sable sont conservés dans les normes au niveau de laboratoire d'hydraulique de l'université de Ghardaïa.

III.5.2 Filtration à sable sur une hauteur de 25 cm

Dans la première expérience, la hauteur du sable était 25cm, et le volume d'eau était de deux litres. Cela a pris un temps de 12 minutes.



Photo N° 15: 1^{re} Expérience (25 cm)

III.5.3 Filtration à sable sur une hauteur de 55 cm

La deuxième expérience a duré 1.5 H, et le volume d'eau utilisé était de 4 litres sur une hauteur du sable de 55cm.



Photo N° 16: 2^{eme} Expérience (55 cm)

III.5.4 Filtration à sable sur une hauteur de 85 cm

La troisième expérience a duré 3 H, on a versé 6 litres d'eau usée sur une couche de sable 85 cm d'hauteur.



Photo N° 17: 3^{ème} Expérience (85 cm).

III.5.5 Filtration à sable sur une hauteur de 110 cm

Quant à la quatrième expérience, dans laquelle le sable avait une hauteur de 110 cm et le volume de l'eau versée était 8 litres, le temps de filtration était estimé de 6h.



Photo N° 18: 4^{ème} Expérience (110 cm).

III.6 Matériels et Méthodes d'analyse physico-chimiques des eaux usées traitées et filtrées

Nous mentionnons ici que tous les travaux de laboratoire et d'analyse ont eu lieu dans les laboratoires de l'Université de Ghardaïa, et c'est un bon précédent pour notre université et le travail de recherche dans son ensemble, car c'est la première fois que notre université a abordé les analyses de ce type par ces propres moyens disponibles. Les analyses ont été effectuées en première lieu sur les eaux traitées de la station juste après 4 heures de prélèvement. En seconde, les mêmes analyses ont été effectuées immédiatement sur les eaux filtrées après chaque expérience.

III.6.1 le pH

III.6.1.1 Principe

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Le pH-mètre est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de la forte résistance présentée par l'électrode de mesure.

III.6.1.2 Appareillage

Le matériel de mesure du pH se compose de :

- Un pH mètre WTW 521 équipé d'une électrode combinée ;
- Un thermomètre intégré ;
- Un agitateur magnétique.

III.6.1.3 Mode opératoire

- Rincer le vase, le barreau magnétique, l'électrode, avec de l'eau distillée puis avec l'échantillon.
- Remplir le vase de mesure avec l'échantillon.
- Faire la correction de température.
- Immerger l'électrode avec les précautions habituelles et agiter.
- Lire directement le pH lorsque la valeur s'est stabilisée.

III.6.2 La conductivité électrique (CE)

III.6.2.1 Principe

La mesure de la conductivité se ramène à celle de la résistance d'une colonne d'eau. A cet effet on utilise un conductivimètre qui n'est en fait qu'une résistivité un peu particulière. Le conductivité-mètre fait appel à un montage dérivé du pont de WHEATSTONE, le pont de

KOHLRAUCH. Ce pont est alimenté par un courant alternatif à une fréquence de 1000 à 4000 Hz, afin d'éviter le phénomène de polarisation des électrodes.

III.6.2.2 Mode opératoire

Quel que soit l'appareil utilisé Vérifier les connexions cellule /conductivimètre Rincer soigneusement la cellule de mesure à l'eau distillée et l'essuyer convenablement.



Photo N° 19: Multi-paramètres portable

III.6.3 Turbidité

III.6.3.1 Principe

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est déterminée à l'aide d'un néphélémètre. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

III.6.3.1 Appareillage

Les marques de commerce apparaissant ci-dessous ne sont mentionnées qu'à titre de renseignement : Turbidimètre de marque Hach, modèle AL250T-IR. Cuvettes de travail d'environ de 30 ml



Photo N° 20: Turbidimètre type AL250T-IR

III.6.4 M.E.S (Matières en suspension)

III.6.4.1 Principe

Les MES s'obtiennent soit par filtration des effluents peu chargés soit par centrifugation des solutions, séchage jusqu'à obtenir un résidu sec. Pour le suivi de la station du CREPA, la détermination des MES se fera par filtration sur filtre en fibres de verre compte tenu de l'origine domestique des effluents. La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur une membrane (préalablement pesée à vide) de 1,5 microns et les résidus sur cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en milligramme/litre.

III.6.4.2 Appareillage et verrerie

- Equipement de filtration sous vide
- Filtres en microfibres de verre Wattman GF/C (24mm)
- Fioles jaugées ou éprouvettes graduées

III.6.4.3 Mode opératoire

- Prendre une membrane GFC et la marquer avec précaution pour ne pas l'abîmer
- Peser la membrane et noter sa masse à vide M0

Placer la membrane sur la rampe de filtration

- Bien agiter l'échantillon

- Prélever un volume de l'échantillon et le transvider sur la membrane
- Procéder à la filtration : le volume filtré ne doit pas dépasser 1 litre et la filtration ne doit pas durer plus d'une demie heure.
- Récupérer la membrane après la filtration, puis la placer dans une étuve à 105°C pendant 1h30 mn pour enlever l'excès d'eau
- Peser de nouveau la membrane, après séchage, puis noter sa masse M1.



Photo N° 21: Mesure des MES

III.6.5 LA DBO (Demande biochimique en Oxygène)

III.6.5.1 Principe

Une quantité d'eau est versée dans une bouteille d'incubation de 300 ml, reliée à un manomètre à mercure ou fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression (oxytop). Le volume choisi est fonction de la gamme de mesures souhaitée. L'appareil de mesure, de type IS 602, est placé dans un réfrigérateur maintenu à 20°C. On suit ensuite, en fonction du temps, soit tous les jours pendant 5 jours pour la DBO5, la consommation d'oxygène, qui se traduit par une diminution de la pression d'air. On procède enfin à la correction de la mesure par un facteur correctif qui dépend de la quantité d'échantillon prélevée et de la gamme de mesure souhaitée.

L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO₂ qui sera piégé par une solution de KOH. Ainsi il se développe une dépression dans la bouteille. L'adjonction de 1

allyle 2 thio-urée : $C_4H_8N_2S$ permet d'inhiber la nitrification car l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène. Cette amine joue un rôle d'inhibiteur. A introduire pour la mesure des eaux de sortie.

III.6.5.2 Mode opératoire

- Mesurer la quantité désirée (cf. tableau ci-après) avec le ballon jaugé de trop-plein et verser dans la bouteille propre.
- Introduire l'agitateur magnétique dans chaque bouteille.
- Ajouter une pincée de l'allyle thio-urée.
- Mettre 2 pastilles d'hydroxyde de potassium dans chaque bouchon intérieur (noir) avec deux pincettes.
- Visser sans fermer hermétiquement le bouchon.
- Mettre sur le système d'agitation à 20 °C.
- Laisser s'établir l'équilibre pendant 30 mn et fermer hermétiquement le bouchon.
- Relever les valeurs après 5 jours (système Oxytop).
- Utiliser les mesures des autres groupes et déterminer la précision des mesures.

Il est recommandé d'effectuer le double de chaque dosage (selon la disponibilité du matériel de mesure).



Photo N° 22: DBO-mètre type WTW-OXTTOP

III.6.6 Ortho- Phosphates (O^-PO_4)

III.6.6.1 Principe

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartratedouble d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'un vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm (Rodier ,2005).

III.6.6.2 Mode opératoire

- 40 ml d'eau à analyser.
- 1ml acide ascorbique.
- 2ml du molybdate d'acide.
- Attendre 20 mn le développement de la couleur bleue.
- Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880nm
- Epruvette graduée
- Cuvette dévaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre.

III.6.6.3 Appareillage

- Spectrophotomètre UV-Visible
- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes...)
- Epruvette graduée
- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm de diamètre



Photo N° 23: Verrerie de préparation des solutions d'étalonnage

III.6.8 Azote Ammoniacal (NH_4^+)

III.6.8.1 Principe

Mesure spectrométrique à environ 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitro prussiate de sodium (Rodier, 2005).

III.6.8.2 Mode opératoire

- Prendre 40 ml d'eau analyser
- Ajouter 4 ml du réactif coloré 1
- Ajouter 4 ml du réactif 2 dichlorosoyanurate de sodium
- Ajuster à 50 ml avec H_2O distillée et attendre 1h
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH_4^+ à la lecture à 655nm.

III.6.8.3 Appareillage

- Spectrophotomètre UV-Visible



Photo N° 24: Spectrophotomètre Uvi type Line Secomam S

Chapitre IV :
Résultats et Discussions

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction

Les caractéristiques physicochimiques de l'eau usées ont un impact déterminant sur l'environnement, le milieu de rejet et la destination finale des eaux filtrées de réutilisation. Donc il est nécessaire de caractériser les eaux prélevées au niveau du rejet de la STEP et celles issus de la filtration à sable.

IV.2 Résultat d'analyse aux laboratoires

IV.2.1 Analyse granulométrique du sable

L'analyse granulométrique de l'échantillon Sable d'Oued Metlili a été effectuée par un tamisage à sec d'une masse de 1000 g.

Tableau N° (8): Tableau Résultats de l'analyse granulométrique du Sable d'Oued Metlili

Poids de l'Echantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisats %
1000 g	80	0	0	0,00	100,00	100
	50	0	0	0,00	100,00	100
	31.5	0	0	0,00	100,00	100
	20	0	0	0,00	100,00	100
	10	0	0	0,00	100,00	100
1000g	5	4,5	4,5	0,45	99,55	100
	2	0,5	5	0,50	99,50	100
	1	0,5	5,5	0,55	99,45	99
	0.4	89	94,5	9,45	90,55	91
	0.2	322	416,5	41,65	58,35	58
	0.1	376,5	793	79,30	20,70	21
	0.08	164	957	95,70	4,30	4

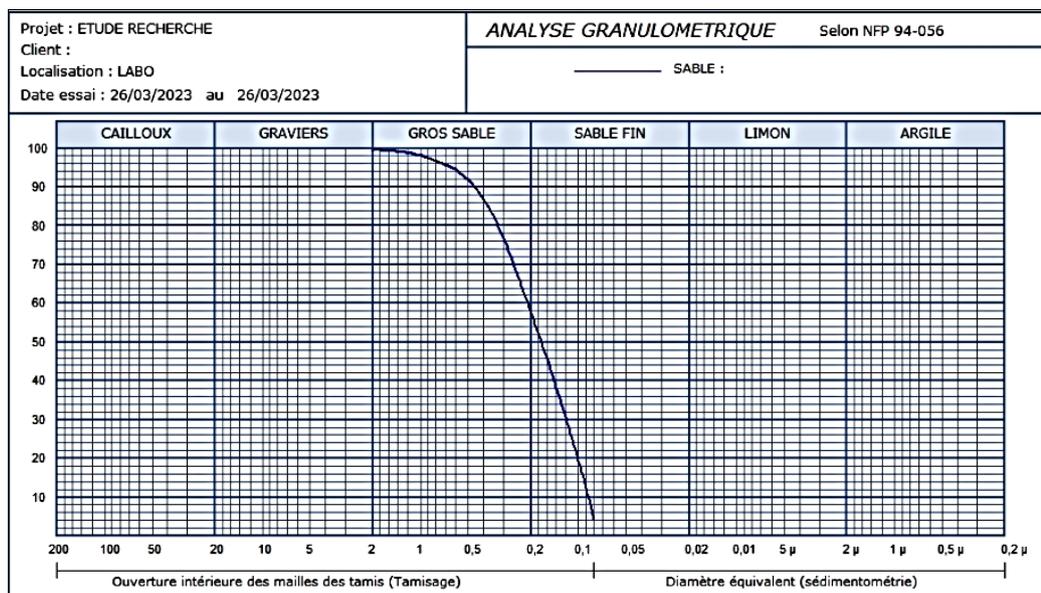


Figure N° 13. La courbe granulométrique du Sable d'Oued Metlili

IV.2.2 Résultats d'analyse physico-chimique des eaux traitées et des eaux filtrées.

Les résultats d'analyse des paramètres physiques et chimiques réalisée sur les eaux usées brute et traite par filtre sable sont consignés dans le tableau N°9

Tableau N° (9): Résultats d'analyse physico-chimique des eaux traitées et des eaux filtrées

Paramètres	Avant filtration	Sable d'Oued Metlili				Rendement en %	Norme OMS 2018 (eau irri)
		25 cm	55 cm	85 cm	110 cm		
pH	7.17	8.17	8.15	8.16	8.05	/	6.5-8.5
CE (ms/cm)	3.74	3.76	3.75	3.83	3.71	/	5
O ₂ Dis (mg/l)	2.68	6.27	5.43	5.80	5.73	-114 %	≥ 5
MES (mg/l)	378	99	82	42	13	91.33 %	30
Turbidité NTU	13.30	3.34	3.20	3.09	2.46	81.50 %	35
DBO5 (mgO ₂ /l)	47	2	3	2	3	93.61 %	10
O-PO ₄ (mg/l)	156	28	6.2	4.3	5.8	96.28 %	10
NH ₄ ⁺ (mg/l)	1404	174	46.4	8.7	1	99.50 %	2

Les rendements moyens d'épuration calculés reflètent la bonne qualité du traitement, avec une réduction de 81 % à 93% pour le MES, la turbidité et la DBO5. Concernant la pollution phosphatée, le rendement épuratoire est de 96%. Ainsi, pour la pollution azotée, le rendement est de 69 % à 99 %, l'augmentation du taux de l'oxygène dissoute témoignant de la bonne aération de l'environnement filtrant. L'oxydation d'ammonium (NH₄⁺) illustre la rétention d'azote dans le filtre et dans les algues qui se développent dans le filtre. Par contre on observe une croissance de taux d'oxygène dissoute dans les eaux filtrées avec l'augmentation de la profondeur de filtre expliqué par la diminution de la charge organique polluante qui consomme d'avantage d'oxygène. Dans l'ensemble, les concentrations dans les eaux usées traitées sont conformes aux exigences minimales de traitement des eaux usées urbaines fixées par l'OMS. Les différences dans les résultats d'analyse sont plus marquées dans les figures 7 à 9 qui montrent la variation des paramètres de pollution des eaux usées traitées à différentes hauteurs de filtre.

IV.3 Paramètres physiques : pH, conductivité électrique (CE) et l'oxygène dissoute (O₂-dis)

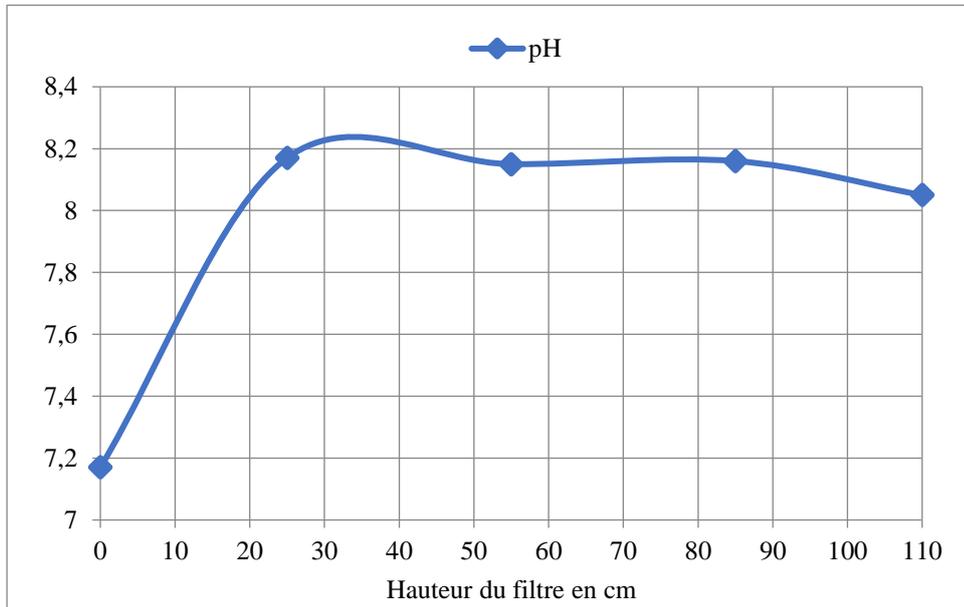


Figure N° 14. pH, aux différents hauteurs du filtre

Sur le graphe de la figure 14 on observe une augmentation significative de pH après filtration et une stabilité dans la zone alcaline aux différentes hauteurs de filtre, ce qui explique que le filtre à sable a diminué la pollution organique qui favorise l'acidité des eaux usées traitées.

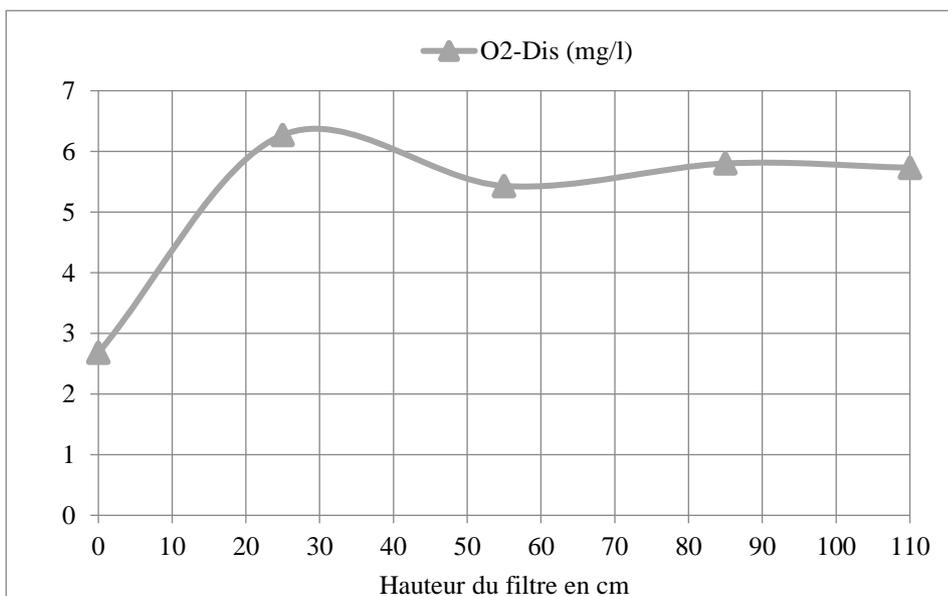


Figure N° 15. O₂-dis aux différents hauteurs du filtre

De la même façon on remarque sur la figure 15 que le taux oxygène dissoute augmente après la première filtration et puis se stabilise, ce qui explique l'efficacité du processus de filtration par diminution de la matière organique, et que l'eau filtrée est revenue plus ventilée. On remarque aussi que le pH et O₂-dis sont en concordance.

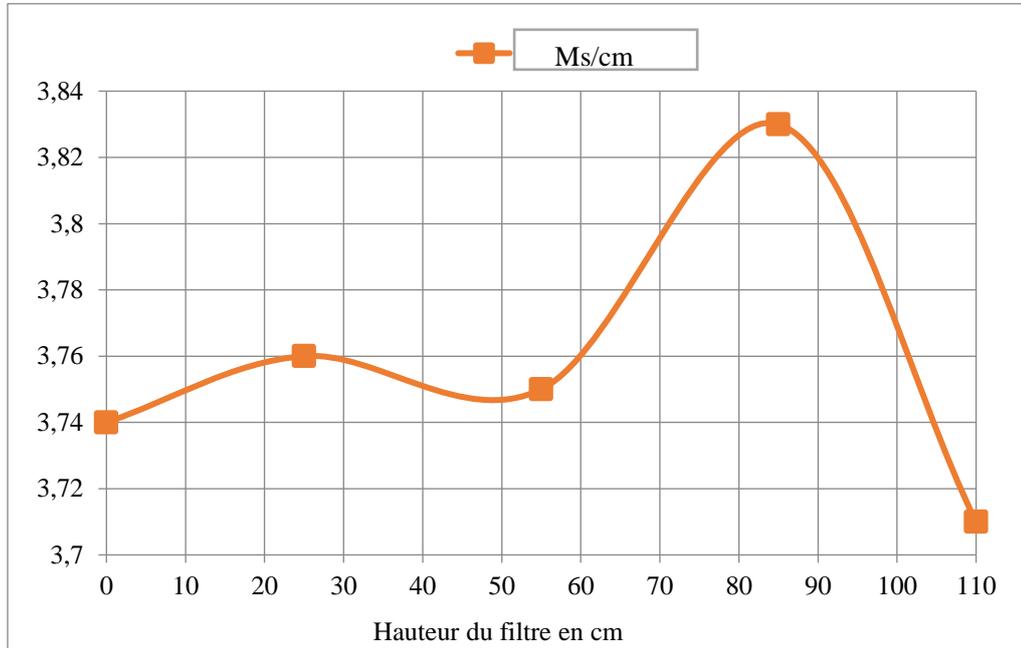


Figure N° 16. Ms / cm aux différents hauteurs du filtre

Par contre on observe sur la figure 16 une stabilité de la CE même après filtration, vue que le changement est toujours dans l'intervalle de (3.74 à 3.84)ms/cm expliqué par le fait que le matériau filtrant est un sable propre et qu'il n'a pas modifié le comportement des eaux filtrées vis-à-vis à la salinité.

IV.4 Paramètres physiques : matières en suspension (MES) et turbidité

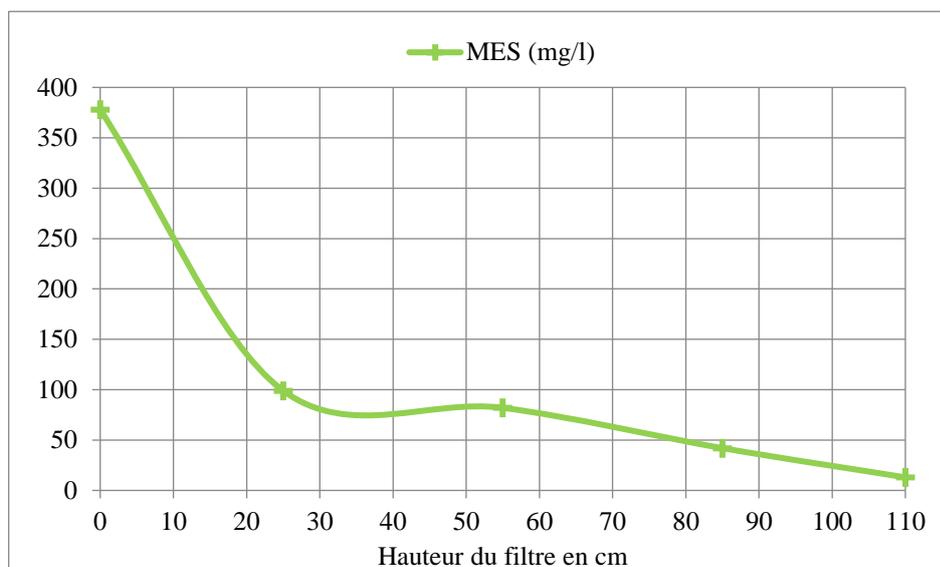


Figure N° 17. MES aux différents hauteurs du filtre

Sur le graphe de la figure 17 on observe que la MES des eaux traitées avant la filtration présente une valeur importante (+378 mg/l) qui traduit le mauvais traitement dans la STEP de Kaf Doukhane. On observe aussi qu'une diminution significative de la MES par rapport à la hauteur du filtre. Le déclin de la MES est d'une forme exponentielle négative, car les valeurs de MES présentent une forte diminution après l'emploi du filtre, ce qui explique l'efficacité de filtration pour l'élimination de la matière en suspension.

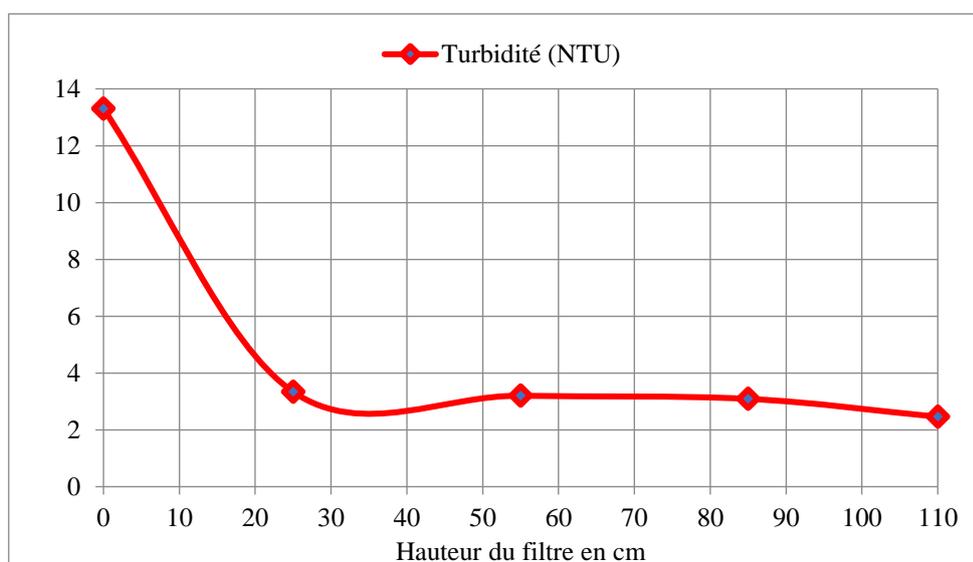


Figure N° 18. La turbidité aux différents hauteurs du filtre

De même pour la turbidité on observe sur la figure 18 toujours une diminution significative par rapport à la hauteur du filtre. Le déclin de la turbidité est d'une forme exponentielle négative avec une décroissance lente.

IV.5 Paramètres de pollution : DBO5, Ortho-phosphate ($O^{-}PO_4$) et Ammonium (NH_4^+)

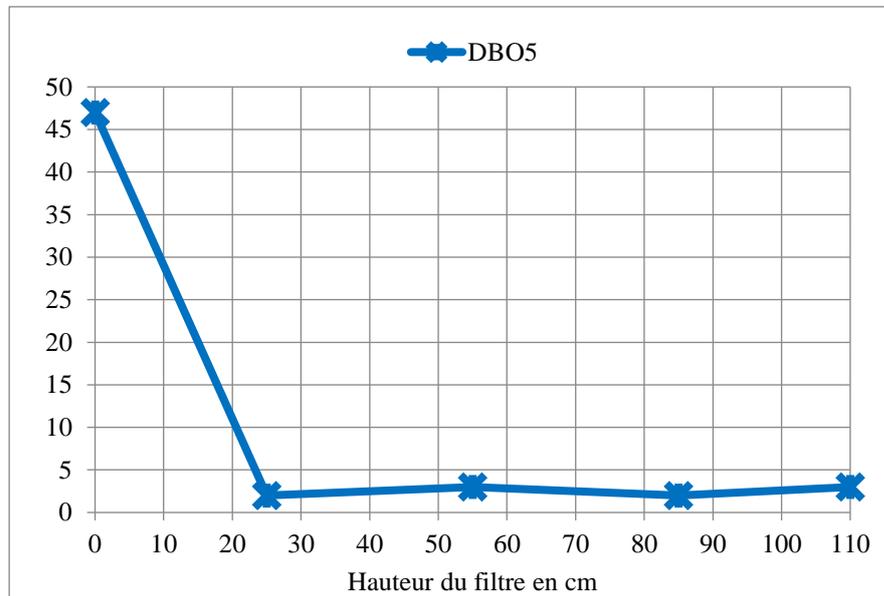


Figure N° 19. : DBO5 aux différentes hauteurs du filtre

Sur le graphe de la figure 19 on observe une diminution significative de DBO5 en fonction de la hauteur de filtre. Le déclin de la DBO5 est brusque après la première filtration ensuite elle se stabilise autour de 2.5 mg/l pour les autres hauteurs.

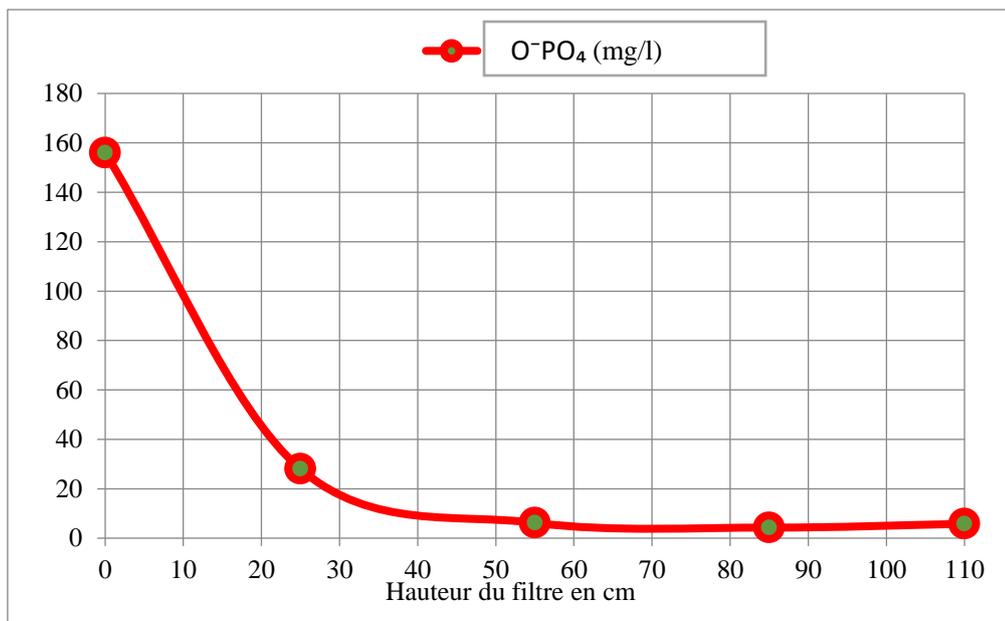


Figure N° 20. : $O^{-}PO_4$ aux différentes hauteurs du filtre

Concernant les $O\text{-PO}_4$, la figure 20 présente une décroissance exponentielle douce ce qui explique le bon rendement de filtration avec l'augmentation de la hauteur de filtre.

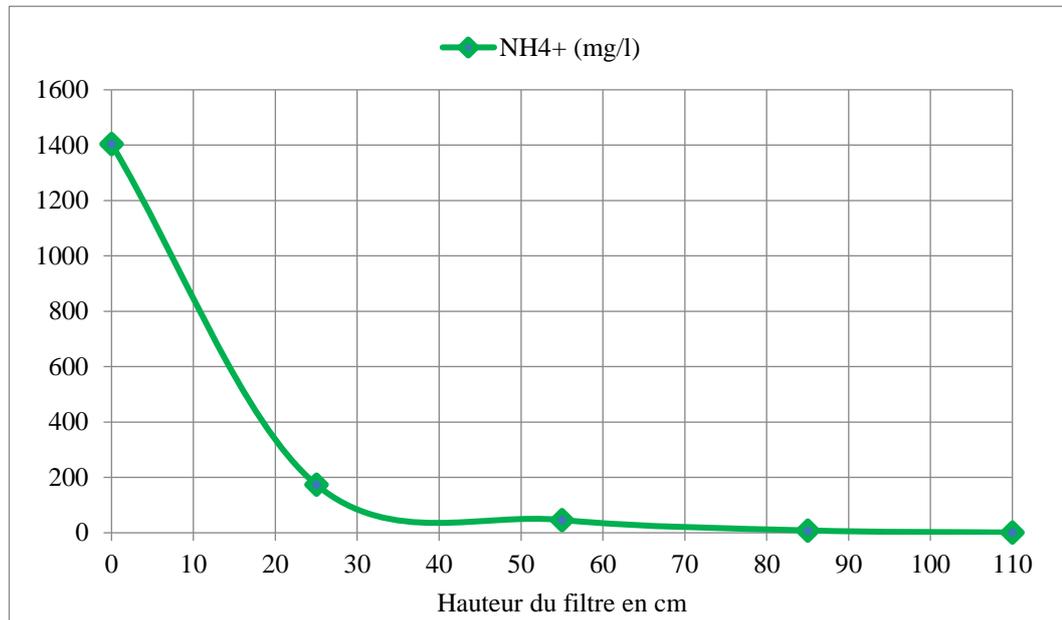


Figure N° 21. : NH_4^+ aux différentes hauteurs du filtre

L'ammonium (NH_4^+) et aussi présente une forte valeur dans les eaux brute (Figure 21), malgré le processus de traitement par lagunage dans la STEP (+1400 mg/l). Après filtration sur une hauteur de 25 cm les valeurs se chutent d'une façon exponentielle négative pour atteins des chiffres tolérables à 110 cm de profondeur.

IV.6 Dimensionnement des filtres à sable

La conception du nouveau filtre à sable repose sur l'application directe de la loi de Darcy, qui énonce que le débit traversant une section d'un milieu granulaire est proportionnel au gradient hydraulique et à sa surface. Ainsi, uniquement le filtre à sable qui présente le meilleur rendement épuratoire a été pris en compte. Les filtres sont retenus pour un dimensionnement des surfaces nécessaires au traitement de la totalité du débit sortant. Le débit des eaux usées sortants actuelle de la STEP est de 0.25 à 0.35 m^3/s (23000 à 37300 m^3/j), il correspond à un débit de moyen terme du projet (ONA, 2021). Selon Darcy le débit qui circule dans le filtre est s'écrit :

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{H}{L} \quad \text{Avec}$$

- $H/L \approx 1$
- $K = 2.5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ (pour un sable fin et propre)

L'application a abouti à une emprise de **140 m²** pour un débit de 0.35 m³/s et de **100 m²** pour un débit de 0.25 m³/s . Les emprises des filtres et les autres accessoires représentent moins de 2% de la surface totale de la STEP. La station de filtration est constituée de trois ouvrages :

- Un bassin de pre-filtre (décantation) de débit unitaire de 1260 m³/h et d'une capacité de 1500 m³ (HxLxl = 2mx40mx20m).
- Une batterie de sept filtres à sable de dimensions identiques (HxLxl = 1.5mx7m x3m) et de débit unitaire de 180 m³ /h pour chacune (avec v= 9 m/h et un temps de séjour de 30 mn).
- Un bassin réservoir de 2000 m³ aménagé en talus de remblais et membranes géotextiles.

Un robinet flotteur placé à l'entrée de chaque filtre permet de maintenir une charge d'eau constante de 0.10 m sur le lit filtrant. Des robinets de puisage et des piézomètres placés suivant la verticale dans le lit filtrant et espacés de 0.15 m permettent la lecture de pertes de charges. Les organes de régulation de débit (vitesse constante par l'amont), les vannes, les conduites de vidanges et de trop plein permettent de gérer le flux d'eau.

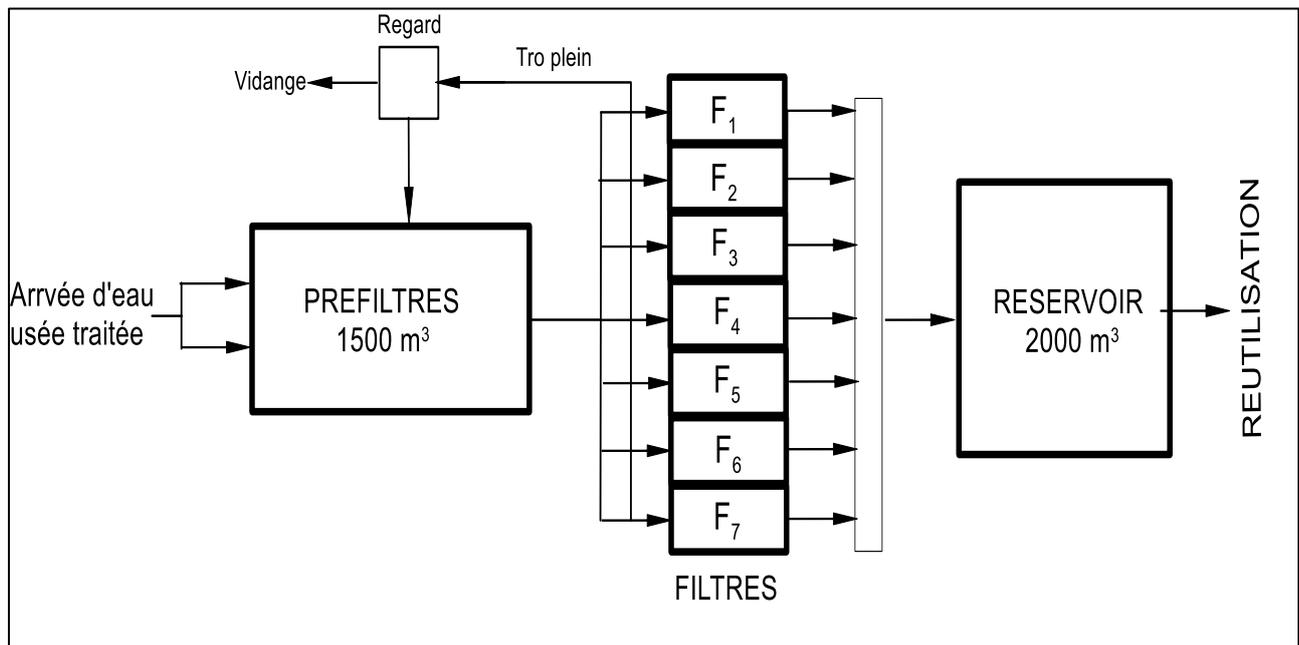


Figure N° 22. Plan général de la station de filtration projetée

IV.7 Perspective de la réutilisation des eaux traitées

Les possibilités de la réutilisation des eaux traitées sont multiples. Elles dépendent de contexte socio-économique et écologique de la région du rejet:

- **Agriculture** : sur la base d'un volume d'eau traitée de 30 000 m³/j actuel et de 46 000 m³/j à l'horizon du projet, la superficie de palmeraie qu'il sera possible d'irriguer est respectivement de 350 hectares et de 500 hectares. Pour éviter les risques d'obstruction des systèmes d'irrigation et limiter les possibilités de colmatage des sols, il est important d'utiliser des systèmes d'irrigation localisée avec un matériel d'arrosage comportant de larges orifices.

- **Tourisme** : la création d'un lac artificiel sur une superficie de 200 hectares. Les terrains plats en aval de la STEP permettent la formation de ce lac, en plus d'un aménagement nécessaire pour détourner les eaux de surfaces. Ce projet permettra la promotion de l'écotourisme dans la région et créer des opportunités d'emploi et d'investissement.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Le système expérimental mis en place dans le laboratoire de l'université de Ghardaïa a permis de juger que la valorisation des eaux usées traitées de la STEP Kaf Doukhane est très faisable par l'emploi de processus de filtration, ainsi elle a permis de tester le matériau de filtration de provenance d'Oued Metlili. Les rendements épuratoires moyens calculés traduisent l'efficacité du processus, avec un abattement de de 81 % à 93% pour le MES, la turbidité et la DBO5. Concernant la pollution phosphatée, le rendement épuratoire est de 96%. Ainsi, pour la pollution azotée, le rendement est de 69 % à 99 % , l'augmentation du taux de l'oxygène dissoute témoignant de la bonne aération de l'environnement filtrant. La réduction d'ammonium (NH_4^+) illustre la rétention d'azote dans le filtre et dans les algues qui se développent dans le filtre. Par contre on observe une croissance de taux d'oxygène dissous dans les eaux filtrées avec l'augmentation d'hauteur du filtre expliqué par la diminution de la charge organique polluante qui consomme d'avantage d'oxygène. Les valeurs très fortes de MES et celle de NH_4^+ dans les eaux traitées avant la filtration traduite le faible rendement de traitement les ouvrages de la STEP de Kaf Doukhane notamment le traitement primaire qui dépourvue de certaines ouvrages importants tel que le déshuileur, dégrilleur et déssableur (ouvrages en arrêts).

D'une manière globale, les concentrations dans les eaux traitées sont conformes aux exigences minimales de traitement des eaux résiduaires urbaines fixées par l'OMS. Par conséquent, toute hauteur de sable comprise supérieur à 110 conviendrait pour le dimensionnement d'une station de filtration dans la STEP Kaf Doukhane.

Les débits des eaux usées sortants de la STEP retenues pour le dimensionnement sont : 0.25 à 0.35 m^3/s . l'application de la loi de Darcy sur le système a abouti à une emprise entre **100 m^2** et **140 m^2** du surface, soit une batterie de sept filtres de dimensions identiques ($H \times L \times l = 1.5 \text{m} \times 7 \text{m} \times 3 \text{m}$) et de débit unitaire de 180 m^3 / h pour chacune. Les ouvrages accessoires tels que le bassin de pré-filtration et le bassin de stockage permettent l'amélioration du fonctionnement de système. Les organes de régulation de débit (vitesse constante par l'amont), les vannes, les conduites de vidanges et de trop plein permettent de gérer le flux d'eau.

Les possibilités de la réutilisation des eaux traitées sont multiples. Elles dépendent du contexte socio-économique et écologique de la région du rejet:

- **Agriculture** : création d'un périmètre irrigué de 500 Ha,
- **Tourisme**; création d'un lac artificiel et village touristique de 200 Ha,

Il sera par la suite important de profiter de cette expérimentation pour mettre en place une application en vraie grandeur et le dimensionnement proposé ici est spécifique le site Kaf Doukhane. La facilité d'exécution et la simplicité des ouvrages de traitement par filtration, ainsi que la relative faiblesse des charges d'exploitation font de cette technique de traitement l'une des plus appropriées aux conditions de la région.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- 1 Alain Botta, Laurence Bellon. (2001). Pollution de l'eau et santé humaine. Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro Méditerranée Tehys.
- 2 Amir S. (2005). Contribution à la valorisation de boue de station d'épuration par compostage. thèse de doctorat à l'institut polytechnique Toulouz.
- 3 Branchu Ph, Rollin C, Michaud V. (2021). Traitement extensif des surverses de réseaux unitaires par temps de pluie - Retour d'expérimentation par filtre planté de roseaux. HAL Id. Lyon, France. pp.1-8.
- 4 Colomb R. (1989). Hydraulique urbaine. Edition Eyrolles. Paris.
- 5 Desjardins R.(1997). Traitement des eaux. Deuxième édition. Montréal. Canda.
- 6 Duguet J-P. Bernazeau F. (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. Lyon. France. 356 p.
- 7 Feray C. (2000). Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes. Thèse de doctorat sciences naturelles. Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon. Lyon. France. 204 p.
- 8 Franck R. (2002). Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP Aquitaine. Bordeaux. P165-239.
- 9 JORA. (2018). Spécifications des eaux usées traitées utilisées à des fins d'irrigation. Annexe N° 41 (p. 18-21). Journal Officiel de la République Algérienne.
- 10 Kadlec R.H. & Knight R.L. (2009). Treatment Wetlands. Lewis Publishers,U.S. 2nde edition. 1016p.
- 11 Kafi M., Gasperi J., Moilleron R., Gromaire M.C. & Chebbo G. (2008). Spatial variability of the characteristics of combined wet weather pollutant loads in Paris. Water Research,N° 42, 539 – 549.
- 12 Kayser K. & Kunst S. (2004). Processus mis en jeu dans les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical :nitrification, transfert d'oxygène et colmatage. L'Ingénieur, N° Spécial, 33-34.
- 13 Kendoussi Md A.(2018). Étude de risque de pollution des eaux souterraines de la ville de Bechar et valorisation du sable en vue de son utilisation en traitement des eaux usées. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Science. Université d'Oran – Mouhamed Boudiaf'.
- 14 Lazarova V. (1998) La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000. N°212. Paris. pp.39-46.
- 15 Pierre J. Lienard A, Heduit A. P Duchene. (1990). Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités (Documentation technique FNDAE n° 25). Paris. 250p.
- 16 Marsily G. (1994). Hydrogéologie : comprendre et estimer les écoulements souterrains et le transport des polluants. Edition Ecole de mines de Paris.
- 17 ONA. (2021). Spécifications des eaux usées traitées de la station de Kaf Doukhane, Rapport technique interne (35p). ONA –Ghardaia.

- 18 Ouled Belkhir C..(2018). Quantification de l'impact d'activité humaine sur le bilan hydrologique d'une nappe alluviale en zone aride (cas de la vallée du M'Zab à Ghardaïa, sud Algérien). Thèse de Doctorat en sciences. ENAS-Alger,165 p.
- 19 Ouled Haddar I. (2020). Optimisation d'une filtration à sable pour traitement tertiaire des eaux traitées de la STEP Kaf Doukhane Ghardaïa, Mémoire de Master. Université de Ghardaïa. 95p.
- 20 Rodgers M. (2004). Surface clogging in an intermittent stratified sand filter Soil. Sci. Soc. Am. 1827-1832. P 68.
- 21 Rodier J. (1996). Analyse de l'eau. Edition DUNOD-technique. Paris.. 870p.
- 22 Rodier J. (2005). Analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer, 8ème Edition DUNOD-technique. Paris. (P1008-1043).
- 23 Saggai M (2004) Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla . Mémoire de Magister. Université d'Ouargla. 64p.
- 24 Satin M. Selmi B. (1999). Guide technique de l'assainissement. Edition le Moniteur Paris.