

Université KASDI-MERBAH Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies.

Filière : Génie des Procédés.

Spécialité : Génie chimique.

Présenté par :

Gana Oum Keltoum et Draoui Abdessamad

Thème :

Étude de l'efficacité du procédé de phytoépuration appliqué au niveau de la STEP de Mraguen (Wilaya d'Adrar)

Soutenu publiquement le : 15/06/2023

Devant le jury composé de :

MENNOUCHE Djamel
CHAOUKI Mourad
CHAOUCH Noura

Pr
MCA
Pr

Président
Examineur
Rapporteur

UKM Ouargla.
UKM Ouargla.
UKM Ouargla.

Année universitaire : 2022/2023




Dédicace

Ce travail modeste est dédié

À mes chers parents, Ceux qui m'ont entourée de leur amour et leur tendresse, ceux qui n'ont jamais épargné un effort pour mon bien, pour leurs soutiens, encouragement, la patience et de l'aide continue pendant mes années d'études Que Dieu les gardes.

À mon cher frère Mohammed chérif pour qui je souhaite de grands succès. A tous les membres de la famille GANA, chacun en son nom, que Dieu les protège.

Mes aimables amies et à tous les étudiants de la promotion Génie chimique.



Gana Oum Kaltoum

Dédicace

Nous marchons dans les chemins de la vie, et celui qui contrôle nos esprits dans chaque chemin que nous empruntons conserve toujours un visage bienveillant et de bonnes actions. Mon premier professeur et mon plus grand partisan jusqu'à ce que j'atteigne ce moment "Draoui Abden Nabi".

A la personne qui s'est sacrifiée pour moi et n'a ménagé aucun effort pour me faire plaisir, ma mère bien-aimée et la prunelle de mes yeux "Draoui Yamina".

A mes neuf frères, chacun en son nom, a mes amis et tous ceux qui m'ont soutenu et aidé et à tous mes professeurs, je vous dédie cette recherche

Draoui Abdessamad

Remerciement

Nos vifs remerciements s'adressent tous particulièrement à Allah de nous avoir donné le courage et la volonté de poursuivre nos études.

Ce modeste travail est le fruit d'une collaboration de plusieurs personnes aux quelles je tiens à remercier et rendre hommage.

Je voudrais emercier le président et les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie mon encadreur **CHAOUCH Noura** qui nous a vivement encouragés, sans son soutien ce travail n'aurait pas abouti à terme.

Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

Titre	Page
Dédicace	I
Remerciement	III
Sommaire	IV
Liste des figures	VII
Liste des tableaux	VIII
Liste des abréviations	IX
Liste des symboles	X
Introduction général	1
Chapitre I : Généralités sur la pollution des eaux	
I.1- Définition la pollution	4
I.2- Types de pollution des eaux	4
I.2.1- Pollution physique	5
I.2.2- Pollution chimique	5
I.2.3- Pollution biologique	6
I.3- Sources de pollution	6
I.3.1-Pollution ponctuelle	6
I.3.1.1- Eaux usées domestiques	6
I.3.1.2- Eaux usées industrielles	6
I.3.1.3- Eaux pluviales	7
I.3.1.4- Eaux usées urbaines	7
I.3.2-Pollution diffuse	7
I.3.2.1- Pollution atmosphérique	7
I.3.2.2- Pollution agricole	7
I.4- Principaux de polluants des eaux	7
I.4.1- Polluants organiques	7
I.4.2- Polluants minéraux	8
I.4.3- Polluants biologiques	8
I.5- Paramètres de mesure de la pollution des eaux	8
I.5.1- Paramètres physico –chimique	8
I.5.1.1- Température	8
I.5.1.2- Potentiel hydrogène (pH)	9
I.5.1.3- Conductivité électrique	9
I.5.1.4- Matières en suspensions (MES)	10
I.5.1.5- Turbidité	10
I.5.1.6- Oxygène dissous	10
I.5.1.7- Demande chimique en oxygène (DCO)	10
I.5.1.8- Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	11
I.5.2- Indicateurs de pollution	11
I.5.2.1- Composés azotés	11
I.5.2.2- Composé phosphatés : phosphates (PO ₄ ³⁻)	12
I.5.2.3-Matières organique carbonées	12

I.5.2.4-Micropolluants	13
I.5.3- Paramètres biologique	13
I.6- Normes de rejets	13
Chapitre II : Généralités sur la phtoépurat	
II.1-Définition de la phytoépurat	18
II.2-Étapes de traitement par bassins filtres plantés	18
II.2.1-Traitement physique	18
II.2.2-Traitement chimique naturel	18
II.2.3-Traitement biologique	18
II.2.4-Traitement tertiaire	19
II.3-Types de traitements	19
II.3.1-Selon les végétaux utilisés	19
II.3.2-Selon le mode d'écoulement	19
II.3.2.1-Filtres plantés à écoulement vertical	19
II.3.2.1.1-Principe de fonctionnement	19
II.3.2.1.2-Performances	20
II.3.2.2-Filtres à écoulement horizontal	21
II.3.2.2.1-Principe de fonctionnement	21
II.3.2.2.2-Performances	22
II.3.2.3-Filtres plantés à écoulement mixte	22
Chapitre III : Matériels et méthodes	
III.1-Présentation de la région d'étude	24
III.1.1- Situation géographique	24
III.1.2- Climat	24
III.1.3- Géologie et hydrogéologie	24
III.2-Présentation de la station d'épuration de M'raguen	25
III.2.1- Situation géographique	25
III.2.2- Description de la STEP de M'raguen	25
III.2.3- Étapes de traitement des eaux usées domestiques	26
III.2.3.1-Dégrillage	26
III.2.3.2-Déshuilage	26
III.2.3.3-Traitement des eaux usées avec des roseaux	27
III.3-Matériels et méthodes	28
III.3.1-Appareillage	28
III.3.1.1-pH mètre type 315I	28
III.3.1.2-Conductimètre type VSI 85	29
III.3.1.3- Spectrophotomètre Type Perkin Elmer et un Spectrophotomètre Type Turb 555	30
III.3.2-Réactifs	31
III.3.3-Échantillonnage	31
III.3.4-Techniques d'analyse des eaux usées domestiques	32
III.3.4.1- Mesure du pH	32

Sommaire

III.3.4.2- Mesure de la conductivité	32
III.3.4.3- Mesure du la turbidité	32
III.3.4.4- Mesure du DCO	33
III.3.4.5- Mesure du DBO ₅	33
III.3.4.6- Mesure du Azote NH ₄ ⁺	34
III.3.4.7- Mesure du Nitrites NO ₂ ⁻	34
III.3.4.8- Mesure du Nitrates NO ₃ ⁻	34
III.3.4.9- Mesure du Phosphates PO ₄ ³⁻	34
Chapitre IV : Résultats et discussions	
IV.1 .Qualité des eaux usées domestique	36
IV.2 .efficacité de la phytoépuration appliquée au niveau de la STEP de M'raguen	37
Conclusion générale	40
Références bibliographiques	42

Liste des figures

N°	Titre	Page
Chapitre II		
II.1	Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical	20
II.2	Coupe transversale d'un filtre à écoulement horizontal	21
Chapitre III		
III.1	Situation géographique de la wilaya d'Adrar	24
III.2	Situation géographique de la station de M'raguen	25
III.3	Dégrilleur	26
III.4	Bassin de déshuilage	26
III.5	Les trois bassins de filtration à anches installés verticalement	27
III.6	Coupe longitudinale des filtres à écoulement vertical	27
III.7	pH mètre type 315I	29
III.8	Conductimètre type YSI 85	30
III.9	Spectrophotomètre type Turb 555	30
III.10	Spectrophotomètre type PerkinElmer	30
III.11	Échantillon de l'eau brute et de l'eau traitée	31

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Chapitre I		
I.1	Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels selon la réglementation Algérienne.	15
I.2	Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides selon l'OMS	16
Chapitre II		
II.1	Performances épuratoires des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical.	20
Chapitre III		
III.1	Liste des réactifs	31
III.2	Conditions de mesure de la DBO ₅ .	33
Chapitre IV		
IV.1	Résultats de l'analyse de l'eau domestique brute	36
IV.2	Résultats de l'analyse de l'eau domestique brute, traitée et rendement épuratoire	37

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ONA	Office National de L' Assainissement
CE	Conductivité Electrique
pH	Potentiel d'hydrogène
MO	Matière Organique
NUT	Nephelometric Turbidity Unit
T	Température
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
STEP	Station d'Epuration

Liste des symboles

Symbole	Nom	Unité
DBO₅	Demande biochimique en Oxygène	mg/l
DCO	Demande chimique en Oxygène	mg/l



Introduction

Générale

Le développement qu'a connu la plupart des pays du monde, l'augmentation de la population et l'élévation du niveau de vie ont entraîné une augmentation sensible de la demande en eau. Bien que certains pays ne souffrent pas de ce problème en raison de la diversité des sources d'eau qui s'y trouvent et la présence de cette eau en quantité suffisante pour répondre à la demande, la répartition de l'eau conciliée pour un usage à la surface du globe Inégale, ce qui a conduit à réfléchir à diversifier les sources d'eau et à en exploiter le plus possible. La réutilisation des eaux usées traitées est l'une des méthodes d'exploitation de l'eau qui a perçu une acceptation remarquable ces derniers temps.

Le but du traitement des eaux usées est d'accélérer les processus naturels qui se produisent dans cette eau dans des conditions contrôlées et dans un petit volume. L'une des raisons importantes du développement des méthodes de traitement de cette eau est son impact sur la santé publique et l'environnement, le traitement se limitant à l'élimination des matières en suspension et flottantes et à l'élimination des matières organiques décomposées et de certains micro-organismes pathogènes. Du fait des progrès de la science dans le domaine de la chimie, de la biochimie, de la microbiologie, et de l'accroissement des connaissances sur l'impact des polluants sur l'environnement, que ce soit à court ou à long terme, auxquels s'ajoutent les progrès industriels et la production de nouveaux matériaux, il est devenu nécessaire de développer des méthodes de traitement de ces eaux capables d'éliminer la plupart des polluants qui n'étaient pas faciles à éliminer par les méthodes utilisées dans le passé.

Dans le domaine de traitement des eaux, plusieurs procédés ont montrés une efficacité remarquable. La phytoépuration se classe parmi les procédés techniquement et économiquement rentables. L'objectif de notre travail de recherche est d'étudier les résultats de l'application de ce procédé de traitement au niveau de la station d'épuration de la région de Mragen.

La thématique proposée est traitée à travers une introduction générale expliquant l'importance du sujet, suivie Les quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons des généralités sur la pollution des eaux ;
- Le deuxième chapitre présent des généralités sur la phtoépuration;
- Le troisième chapitre résume les matériaux utilisés et la méthodologie de la recherche,
- Le quatrième chapitre englobe les résultats obtenus et les discussions proposés.

Ce mémoire est clôturé par une conclusion générale décrivant les principaux résultats de ce travail de recherche.



Chapitre I

**GÉNÉRALITÉS SUR LA POLLUTION
DES EAUX**

I.1- Définition la pollution

La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux de l'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou au travers des ressources agricoles, en eau ou autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature.

La pollution est multiple et on parlera "des pollutions de l'eau". Elles se distinguent par leurs causes (accidents, éliminations de déchets et résidus, sollicitations excessives du milieu naturel, ...), Leur nature (physique, chimique, bactériologique, radioactive, ...) et Leur ampleur (locale ou étendue, occasionnelle ou saisonnière) dans l'espace et dans le temps. Certaines pollutions seront appelées "diffuses" à l'exemple de pollutions "salines" sur des régions entières (pollutions par les nitrates, les chlorures, les sulfates).

Au sens purement chimique, la pollution se définit comme la dégradation d'un milieu naturel par l'introduction d'un polluant. Cette notion de dégradation est très importante, puisqu'en l'absence de conséquences négatives pour le milieu, on ne peut pas parler de pollution. Concrètement, pour une même substance, son caractère polluant sera plus ou moins élevé en fonction des quantités déversées dans le milieu et de la capacité de ce milieu à l'éliminer naturellement. [1]

I.2- Types de pollution des eaux

L'eau est une ressource indispensable aux activités humaines mais elle constitue également un lieu de vie privilégié. A cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques (les eaux continentales ou océaniques) sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques. En rejetant des effluents contaminés dans le milieu aquatique, les activités humaines industrielles, agricoles ou urbaines polluent les eaux.

Le déversement dans le milieu aquatique de substances ou d'effluents contaminés n'est pas la seule cause de pollution des eaux de surface ou souterraines. En effet, l'eau de

pluie permet aux polluants rejetés dans l'atmosphère de retomber sur les sols et lessive les zones polluées par ruissellement et/ou infiltration, ces xénobiotiques peuvent alors rejoindre le milieu aquatique. La pollution des eaux de surface s'est très diversifiée à partir de nombreuses activités humaines comme la déforestation, l'érosion due aux activités humaines, la construction de barrages, la canalisation de rivières, le comblement de zones humides, l'extraction de granulats. On peut distinguer trois grandes familles de pollution, la pollution physique, chimique et biologique.[2]

I.2.1- Pollution physique

Il s'agit d'une pollution qui se traduit par la présence des particules de taille et de matière très variés dans l'eau; qui lui confèrent un caractère trouble. On distingue aussi les matières décantables (plus lourds que l'eau elle-même), les matières flottables (plus légères que l'eau elle-même) et les matières non séparables (de même densité que l'eau).

La pollution physique désigne d'autres types de pollution, telle que la pollution thermique due à la température élevée et la pollution radioactive où la radioactivité des eaux naturelles qui peut être d'origine naturelle ou artificielle (énergie nucléaire).

Le rejet des eaux des circuits de refroidissement des établissements industrielles spécialement les centrales énergétiques dans l'environnement constitue de nos jours une forme de pollution physique du milieu naturel susceptible de provoquer de véritables bouleversements biocénotiques car elle agit sur un facteur écologique primordial : la température du milieu. L'augmentation de la température de l'eau réduit la solubilité des gaz, en particulier la teneur en oxygène et augmente la vitesse de réactivité chimique.[2]

I.2.2- Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances toxiques dans les cours d'eaux, les nitrates, les phosphates, et autres sels, ainsi que des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses.

Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en cinq catégories, à savoir: les substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les produits apparentés, les détergents et les colorants et autres éléments toxiques.[2]

I.2.3- Pollution biologique

Par définition, une pollution biologique est issue du milieu lui-même. C'est par le surdéveloppement de micro-organismes ou de végétaux micro ou macroscopiques qu'un déséquilibre du milieu environnant peut entraîner une mortalité élevée chez les autres organismes présents.[2]

Ce surdéveloppement est généralement la conséquence d'une action humaine: enrichissement en nitrates d'un milieu (rejets organiques), développement de virus, de bactéries, modification de la température d'un milieu (rejet d'eau chaude), introduction d'espèces invasives, etc...

I.3- Sources de pollution

On peut classer les différentes sources de pollution en trois grandes catégories: la pollution domestique et urbaine, pollution agricole et pollution industrielle. Les sources naturelles peuvent également contaminer le milieu aquatique dans certains cas. Cependant, les pollutions accidentelles peuvent aussi altérer la qualité des eaux. Les rejets des effluents domestiques, urbaines, agricoles et industrielles constituent la principale source de pollution des eaux de surface et souterraine. Le vecteur de transport et de dissémination idéale de ces rejets est l'eau.[2]

I.3.1-Pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle est source de pollution chronique ou accidentelle souvent liée à des sources bien identifiées (rejets domestiques, industriels, pluviales et urbains plus ou moins abondants et partiellement ou non traités). Ce type de pollution peut être éliminé par traitement dans des stations d'épuration

I.3.1.1- Eaux usées domestiques

Ce sont les eaux usées qui proviennent des établissements et services résidentiels, produites essentiellement par le métabolisme humain et les activités ménagères (eaux ménagères et eaux de vannes).[3]

I.3.1.2- Eaux usées industrielles

Ce sont les eaux usées qui proviennent de locaux utilisés à des fins industriels, commerciales, artisanales ou de services, leurs eaux de refroidissement de pompes à chaleur et de climatisation.[4]

I.3.1.3- Eaux pluviales

Ce sont les eaux usées qui proviennent des précipitations atmosphériques, elles sont chargées spécialement de matières minérales en suspension et d'hydrocarbures.

I.3.1.4- Eaux usées urbaines

Elles comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage et de lavage des voies publiques). [3]

I.3.2-Pollution diffuse

Cette source de pollution est difficile à localiser géographiquement et par conséquent difficile à maîtriser. Elle est due au lessivage et à l'érosion plus ou moins rapide et accusée des sols par des polluants d'origine atmosphérique ou agricoles. En effet, l'épandages des pesticides et des engrais sur les terres agricoles, elle concerne l'ensemble d'un bassin versant en mettant connexion de temps pour atteindre les milieux aquatiques, et ne peut être traitée qu'à la source en diminuant l'usage de composants responsables.

I.3.2.1- Pollution atmosphérique

L'atmosphère terrestre contient des polluants qui, sous l'effet des pluies, peuvent contaminer le sol. Par ruissellement ou infiltration, ces polluants migrent vers les eaux superficielles et souterraines. À titre d'exemple, on peut citer la pollution causée par des pluies acides.[5]

I.3.2.2- Pollution agricole

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique des engrais, des pesticides et des herbicides ou des fongicides. Les méthodes modernes pratiquent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants (NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} et Cl^-) vers la nappe phréatique.

I.4- Principaux de polluants des eaux**I.4.1- Polluants organiques**

Les matières organiques ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent des déchets domestiques (ordures ménagères, excréments), agricoles (lisiers) ou industriels (papeterie, tanneries, abattoirs, laiteries, huileries, sucreries...), lorsque ceux-ci sont rejetés sans traitement préalable.[6]

I.4.2- Polluants minéraux

La pollution minérale correspondant à l'excès d'ions minéraux de l'eau peut également avoir des conséquences sur les êtres vivants. L'augmentation accidentelle de la teneur en certains ions de consommation courante peut entraîner des intoxications graves. Il s'agit en particulier de métaux lourds considérés actuellement comme étant les métaux les plus nocifs pour l'homme et l'environnement.[2]

I.4.3- Polluants biologiques

Elle correspond à la présence dans l'eau de germes pathogènes pour l'homme. Elle provient en général de rejets directs d'effluents contaminés non traités : eaux usées domestiques, ou déchets animales (fumier par exemple). Les principaux polluants biologiques : Virus, Protistes (bactéries, champignons, protozoaires et algues), Animaux et plantes (rotifères, crustacés, etc.) [7]

I.5- Paramètres de mesure de la pollution des eaux**I.5.1- Paramètres physico –chimique**

Ces paramètres résultent de l'introduction dans un milieu des substances conduisant à son altération, se traduisant généralement par des modifications des caractéristiques physico chimiques du milieu récepteur. La mesure de ces paramètres se fait au niveau des rejets, à l'entrée et à la sortie des usines de traitement et dans les milieux naturels.

L'estimation de la qualité physico-chimique d'une eau ne peut s'effectuer pas la mesure d'un seul, mais d'un ensemble des paramètres de nature diverses. Des résultats anormaux dans le contrôle de paramètres permettent de déceler et d'évaluer les niveaux de pollutions. La pollution de l'eau est fonction des substances dissoutes susceptibles d'être nuisibles et, dont la plupart, ne sont décelables que par l'analyse.[8]

I.5.1.1- Température

La température est un facteur écologique vital des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement le milieu aquatique (pollution thermique). Elle joue un rôle important dans la nitrification et la dénitrification biologique. La nitrification est optimale dans le domaine de température variant entre 28 et 32°C, elle est fortement diminuée à des températures de 12 à 15°C et s'arrête à des températures inférieures à 5°C.

La température influence la cinétique des réactions. En effet, l'activité biologique du milieu est d'autant plus élevée que la température augmente. Une température trop élevée conduit à l'épuisement de l'oxygène dissous par abaissement de la valeur de saturation tout en modifiant l'équilibre biologique du système. Le manque d'oxygène dissous pouvant entraîner : la disparition de certaines espèces, la réduction de l'auto-épuration, l'accumulation de dépôts, la croissance accélérée des végétaux dont les algues. Pour le maintien d'une bonne activité épuratoire, les limites inférieure et supérieure de la température sont respectivement de 10°C à 30°C.[8]

I.5.1.2- Potentiel hydrogène (pH)

Les organismes sont très sensibles aux variations du pH, et un développement correct de la faune et de la flore aquatique n'est possible que si sa valeur est comprise entre 6 et 9. L'influence du pH se fait également ressentir à travers le rôle qu'il exerce sur les ions métalliques dont il peut diminuer ou augmenter leur mobilité en solution et donc leur toxicité. Le pH joue un rôle vital dans l'épuration d'un effluent et le développement bactérien. La nitrification optimale ne se fait qu'à des valeurs de pH variantes entre 7,5 et 9.[9]

Ce paramètre, qui se mesure souvent sur le terrain avec des bandelettes test ou un pH-mètre), donne le degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau. Il est le reflet de la concentration d'une eau en ions H^+ et doit être compris entre 6 et 8 pour permettre la vie aquatique.[8]

I.5.1.3- Conductivité électrique

La conductivité est la propriété qui mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est plus importante lorsque la température augmente. Cette propriété mesurée au moyen d'un conductimètre s'exprime souvent en micro Siemens par centimètre $\mu S/cm$. Nous présentant dans ce qui suit une échelle indicative de conductivités naturelles de différentes eaux

- 60 à 100 $\mu S/cm$: Eau de pluie,
- 50 à 300 $\mu S/cm$: Eaux peu minéralisées (sols schisteux, volcaniques, granitiques)
- 300 à 700 $\mu S/cm$ Eaux minéralisées (sols calcaires, marneux)

- 700 à 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Eaux fortement minéralisées (sols gypseux, eaux salées) [10]

I.5.1.4- Matières en suspensions (MES)

Elles représentent la fraction constituée de l'ensemble des particules, organiques ou minérales non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel. [11]

I.5.1.5- Turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau [8] Ce paramètre mesuré au moyen d'un turbidimètre ou un spectrophotomètre s'exprime en NTU (Nephelometric Turbidity Unit). La turbidité permet de classer l'eau en trois classes à savoir [9] :

- Eau claire : turbidité < 5 NTU
- Eau légèrement trouble : turbidité < 30 NTU
- Eau trouble : turbidité > 50 NTU.

I.5.1.6- Oxygène dissous

La présence de l'oxygène dans l'eau est indispensable pour la respiration des êtres vivants aérobies aquatiques. En dessous d'un seuil absolu, soit 6 mg/l, la faune aquatique peut être alors être menacée d'asphyxie. Une sursaturation en oxygène dissous est probable également quand une oxygénation supplémentaire est apportée par des plantes vertes aquatiques qui produisent de l'oxygène à la lumière du soleil. L'oxygène de l'eau permet l'oxydation des matières organiques (autoépuration), mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène.[10]

I.5.1.7- Demande chimique en oxygène (DCO)

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique oxydable contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O_2/l . [12]

Le degré biodégradabilité K est défini par le rapport suivant :
 $K = \text{DCO} / \text{DBO}_5$ permet de définir l'origine d'une eau :

- $\text{DCO} = 1.5$ à 2 fois la DBO_5 pour les eaux usées urbaines ;
- $\text{DCO} = 1$ à 10 fois la DBO_5 pour l'ensemble des eaux résiduaires ;
- $\text{DCO} > 2.5$ fois la DBO_5 pour les eaux usées industrielle.

Il permet de déterminer également le type de traitement à appliquer pour une eau de classe donnée :

- Si $K < 2$: l'effluent est biodégradable, un traitement biologique est recommandé.
- Si $2 < K < 3$: l'effluent est moyennement biodégradable, un traitement biologique avec adaptation de souches est le plus adéquat dans ce cas.
- Si $K > 3$: l'effluent n'est pas biodégradable, un traitement physico-chimique est préconisé.

I.5.1.8- Demande biochimique en oxygène (DBO_5)

La DBO_5 est définie comme étant la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour oxyder en cinq (5) jours à l'obscurité et à 20°C les matières biodégradables présentes dans l'eau. Elle s'exprime en mg/L [13][14]. de O_2 . La mesure de la DBO_5 est un paramètre prescrit pour la surveillance des rejets et du fonctionnement des stations d'épuration[30] :

- $1,2$ kg de $\text{DBO}_5/\text{j.}$ (c-à-d rejetée par jour) correspondent à une pollution de 20 EH
- 12 kg de $\text{DBO}_5/\text{j.}$ correspond à une pollution de 200 EH,
- 120 kg de $\text{DBO}_5/\text{j.}$ correspondant à la pollution de 2000 EH,
- 600 kg de $\text{DBO}_5/\text{j.}$ correspondant à la pollution de 10000 EH.

I.5.2- Indicateurs de pollution

I.5.2.1- Composés azotés

- **Ammonium NH_4^+** : l'azote ammoniacal est souvent le plus important indicateur chimique de pollution directe d'une eau. Naturellement dans les eaux la présence d'ammoniac ne dépasse pas $0,1\text{mg/L}$. Dans l'eau, en fonction du pH et de la température, l'azote ammoniacal se rencontre sous deux formes ammonium et ammoniaque.[15]

- **Nitrites NO_2^-** : constituent une phase intermédiaire entre les ions ammoniums et les ions nitrates c'est à dire qu'elle résulte soit de l'oxydation de l'ammonium soit de la réduction des nitrates.
- **Nitrates NO_3^-** : peuvent être à l'origine de l'oxydation biologique de toutes les formes d'azote. Soulignons que les nitrates des eaux souterraines et des cours d'eau proviennent principalement du secteur agricole en raison du recours aux engrais azotés.

I.5.2.2- Composé phosphatés : phosphates (PO_4^{3-})

Les phosphates (appelés aussi orthophosphates) sont la forme la plus simple et la plus répandue du phosphore dans l'eau. Dans les eaux superficielles, la teneur naturelle en phosphates est de l'ordre de 0,1 à 0,2 mg de PO_4^{3-} /l. pour moins de 0,1mg de P/l. en phosphore total. La mesure de la fraction organique de phosphore d'une eau s'obtient à l'analyse par différence entre le phosphore total et les orthophosphates.[16]

Il est impératif de noter que le phosphate de calcium minéral contenu dans les roches calcaires est peu soluble et n'est donc pas responsable de la pollution des eaux par excès de phosphore. Nous présentons dans ce qui suit quelques critères analytiques relatifs aux taux du PO_4^{3-} dans l'eau :

- de 0 à 0,1mg/l : très bon.
- de 0,1 à 0,5 mg/l. : bon.
- 0,5 à 1 mg/l. : médiocre.
- 1 à 2 mg/l. : pollution.
- >2 mg/l. : très pollué. (phosphore sédimentaire). Dans les cours d'eau, les sédiments peuvent stocker ou relarguer du phosphore en fonction de l'état physico-chimique des eaux.

Les nitrates et les phosphates associés contribuent au développement excessif et anarchique des algues ce qui engendre l'eutrophisation du milieu aquatique.

I.5.2.3-Matières organique carbonées

La matière organique (MO) contenue dans les eaux est la partie non encore décomposée. Elles sont donc naturellement présentes dans l'eau, mais à faible concentration. S'il y en a plus, il y a pollution provenant de rejets d'eaux usées

domestiques mal épurés, d'effluents agricoles, etc. La MO peut se rencontrer dans l'eau soit dissoute, soit sous forme particulaire visible.[17]

La pollution organique est quantifiable par les méthodes normalisées de mesure de la DCO et de la DBO₅. La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante : $MO = (2 DBO_5 + DCO)/3$

I.5.2.4-Micropolluants

Il s'agit de composants minéraux ou organiques présents dans l'eau même à très faible quantité (en microgramme (µg/l), voire en nanogramme (ng/l)). Ils sont dangereux pour les êtres vivants et donc pour les écosystèmes. Certains micropolluants sont toxiques. Les mécanismes de leurs effets sont encore trop mal connus :

- Les éléments mutagènes agissent sur les cellules reproductives ou directement sur l'ADN des êtres vivants;
- Les éléments tératogènes qui affectent le fœtus;
- Les éléments cancérigènes qui induisent le cancer;
- Les éléments neurotoxiques qui agissent sur le système nerveux;
- Les éléments perturbateurs endocriniens;
- Les éléments bioaccumulables dans les chaînes alimentaires.

I.5.3- Paramètres biologique

Les analyses microbiologiques permettent de déceler et d'évaluer la présence de microbes pathogènes dangereux dans les eaux. Ces analyses reposent sur la recherche de bactéries indicatrices de leur éventuelle contamination fécale, les Escherichia coli et les Entérocoques. Ces organismes, d'origine intestinale sont naturellement présents dans les déjections animales ou humaines qui suite aux déversements des eaux usées et épandages peuvent se retrouver dans l'eau. Les Entérocoques sont pathogènes de même que certains colibacilles. Une présence très importante de germes fécaux dans une eau indique une pollution fécale importante d'origine humaine ou animale.

I.6- Normes de rejets

En Algérie, le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique. Ces politiques interviennent

notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions par des unités de collectes, de traitement et de recyclage des déchets, ainsi que par une nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement. Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :

- Décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels ;
- La loi du 01-02 du 19 juillet 2001 instaure la création d'un Fond National pour l'environnement et la dépollution ;
- L'ordonnance N°96-13 du 15 juin 1996 modifiant la loi N°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux stipule l'obligation d'épuration des eaux usées d'origines urbaines ou industrielles ;
- Décret exécutif N° 93 – 160 du 10 juillet 1993 règlementant les rejets d'effluents liquides industriels ;
- La loi N°91-25 du 18 décembre 1991 instaure la taxe sur les activités polluantes ou dangereuses.

Selon l'article 4 du la Décret exécutif n° 06-141 19 avril 2006, Journal Officiel De La République Algérienne, toutes les installations générant des rejets liquides industriels doivent être conçues, construites et exploitées de manière à ce que leurs rejets liquides industriels ne dépassent pas à la sortie de l'installation les valeurs limites des rejets (tableau I.1), et doivent être dotées d'un dispositif de traitement approprié de manière à limiter la charge de pollution rejetée.**[18]**

Tableau I.1. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels selon la réglementation Algérienne.[19]

Paramètres	Unité	Valeurs limites	Tolérances aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	30
pH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
MES	mg/l	35	40
Azote Kjeldahl	"	30	40
Phosphore total	"	10	15
DCO	"	120	130
DBO ₅	"	35	40
Aluminium	"	3	5
Substances toxiques bioaccumulables	"	0,005	0,01
Cyanures	"	0,1	0,15
Fluor et composés	"	15	20
Indice de phénols	"	0,3	0,5
Hydrocarbures totaux	"	10	15
Huiles et graisses	"	20	30
Cadmium	"	0,2	0,25
Cuivre total	"	0,5	1
Mercure total	"	0,01	0,05
Plomb total	"	0,5	0,75
Chrome Total	"	0,5	0,75
Etain total	"	2	2,5
Manganèse	"	1	1,5
Nickel total	"	0,5	0,75
Zinc total	"	3	5
Fer	"	3	5
Composés organiques chlorés	"	5	7

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé (OMS) respective pour les eaux usées sont présentées dans le tableau suivant. [20]

Tableau I.2. Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides selon l'OMS.

Paramètres	Unité	Valeurs limites
Température	°C	< 30
pH	-	6,5 - 8,5
MES	mg/l	< 20
DCO	"	< 90
DBO ₅	"	< 30
NH ₄ ⁺	"	< 0.5
NO ₂ ⁻	"	1
NO ₃ ⁻	"	< 1
P ₂ O ₅	"	< 2
Couleur	-	incolore
Odeur	-	inodore



Chapitre II

**GÉNÉRALITÉS SUR LA
PHYTOEPURATION**

II.1-Définition de la phytoépuration

La phytoépuration est un système de traitement des eaux usées utilisant le pouvoir épurateur des plantes. Ces dernières sont des microphytes et/ou des macrophytes. Elle peut être réalisée à travers différents systèmes, caractérisés par le fait que l'eau s'écoule lentement et sous stipulations contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser l'épuration naturel, qui s'effectue à travers des processus d'aération, de sédimentation, d'absorption et de métabolisation de la section des microorganismes et de la flore.

Les macrophytes et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui apportent de l'oxygène aux bactéries aérobies. Ces bactéries, ainsi que la macrofaune du sol assurent la dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. [21]

II.2-Étapes de traitement par bassins filtres plantés**II.2.1-Traitement physique**

Le prétraitement physique est l'ensemble des opérations qui consiste à éliminer la fraction grossière des particules entraînées, et de retirer de l'effluent des matières susceptibles de gêner les traitements ultérieurs. [22]

II.2.2-Traitement chimique naturel

Précipitation de composés insolubles, absorption par les plantes de nitrates et de phosphates ; décomposition de divers polluants ménagers par des phénomènes d'oxydation et de réduction sous l'action d'exsudats racinaires des roseaux. Ces plantes développant un réseau racinaire très dense (la rhizosphère).

II.2.3-Traitement biologique

Les bactéries fixées sur les racines des plantes se nourrissent de l'oxygène et décomposent les matières organiques en éléments simples solubles dans l'eau et nutritifs pour les plantes.

II.2.4-Traitement tertiaire

Les plantes vont compléter cette filtration en éliminant les phosphates et en réduisant le taux de certaines pollutions (l'azote et le phosphore). L'exposition de l'eau à des rayons ultra-violetts complète efficacement ce traitement par l'action stérilisante de ceux-ci. [23]

II.3-Types de traitements

II.3.1-Selon les végétaux utilisés : Selon les végétaux utilisés on distingue:

- Le lagunage à microphytes: végétaux de très petite taille : algues, etc.
- Le lagunage à macrophytes: espèces végétales se développant en milieu aquatique comme le nénuphar ou le roseau, etc.

II.3.2-Selon le mode d'écoulement : Il existe trois types

- Filtres plantés à écoulement vertical
- Filtres plantés à écoulement horizontal
- Filtres plantés à écoulement mixte

II.3.2.1-Filtres plantés à écoulement vertical

II.3.2.1.1-Principe de fonctionnement

Les filtres verticaux sont des bassins remplis de couches de graviers de granulométries différentes superposées recouvertes d'une couche de sable, dans laquelle sont plantés les macrophytes.

L'effluent brut est réparti directement, sans décantation préalable, à la surface du filtre. Il s'écoule en son sein en subissant un traitement physique (filtration), chimique (adsorption, complexation...) et biologique (biomasse fixée sur support fin). Les eaux traitées sont collectées dans le fond du bassin par une couche drainante constituée de gros graviers disposés autour d'un réseau de tuyaux de drainage connecté à l'atmosphère par des cheminées d'aération. [24]

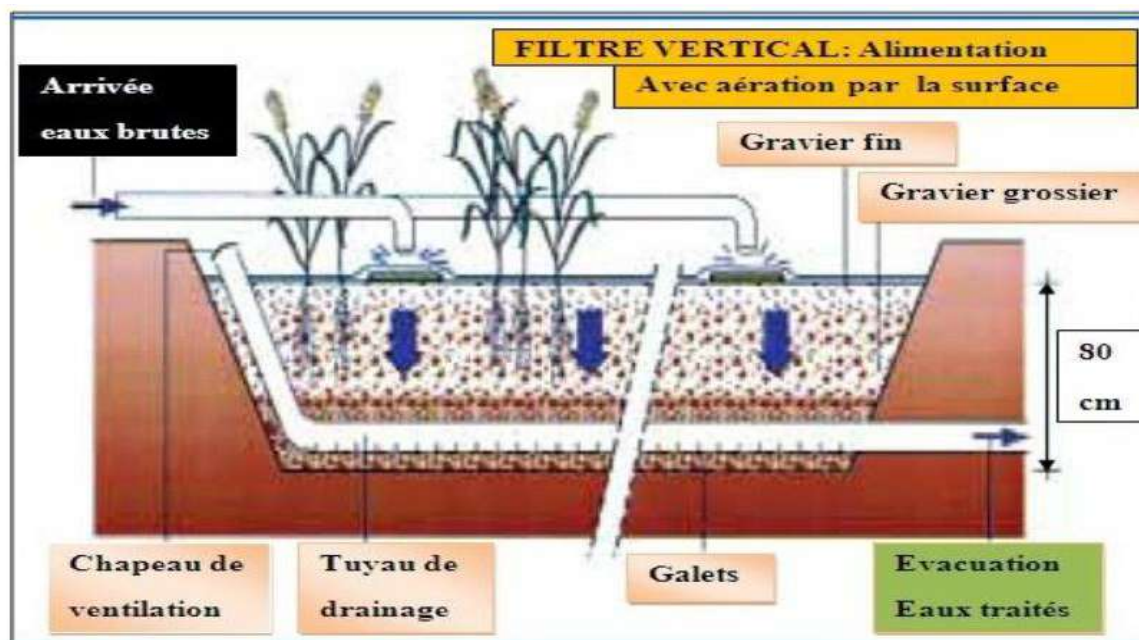


Figure II.1: Coupe transversale d'un filtre planté à écoulement vertical.

Ce système présente de nombreux avantages notamment :

- Faible coût d'exploitation ;
- Aucune consommation énergétique si la topographie le permet ;
- Possibilité de traiter des eaux usées domestiques brutes ;
- Gestion réduite au minimum des boues;
- Bonne adaptation aux variations saisonnières de population.

II.3.2.1.2-Performances

Les performances enregistrées pour les filtres plantés à écoulement vertical sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau II.1 Performances épuratoires des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical. [25]

Paramètres	Performance %
DBO ₅	≤25 mg O ₂ /l
DCO	≤90 mg O ₂ /l
MES	≤30 mg/l
NTK	≤10 mg/l en général avec des pointes ne dépassant pas 20 mg/l
Phosphore	Abattement faible (dépend de la capacité d'adsorption du substrat et de l'âge de l'installation)
Germes pathogènes	Élimination limitée

II.3.2.2-Filtres à écoulement horizontal

II.3.2.2.1-Principe de fonctionnement

Les filtres horizontaux sont des bassins remplis de manière homogène de sable, de gravier ou de sol dans lesquels ont été plantés des macrophytes. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du filtre par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin; il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. L'évacuation se fait par un drain placé à l'extrémité opposée du lit, au fond et enterré dans une tranchée de pierres rainâtées. Ce tuyau est relié à un siphon permettant de régler la hauteur de surverse et donc celle de l'eau dans le lit, de façon à ce qu'il soit saturé pendant la période d'alimentation. [24]

Le niveau de l'eau doit être maintenu à environ 5 cm sous la surface du matériau. En effet, l'eau ne doit pas circuler au-dessus de la surface pour ne pas court-circuiter et pour éviter le développement de mauvaises herbes.. Le temps de séjour hydraulique dans ces dispositifs est de plusieurs jours. [26]

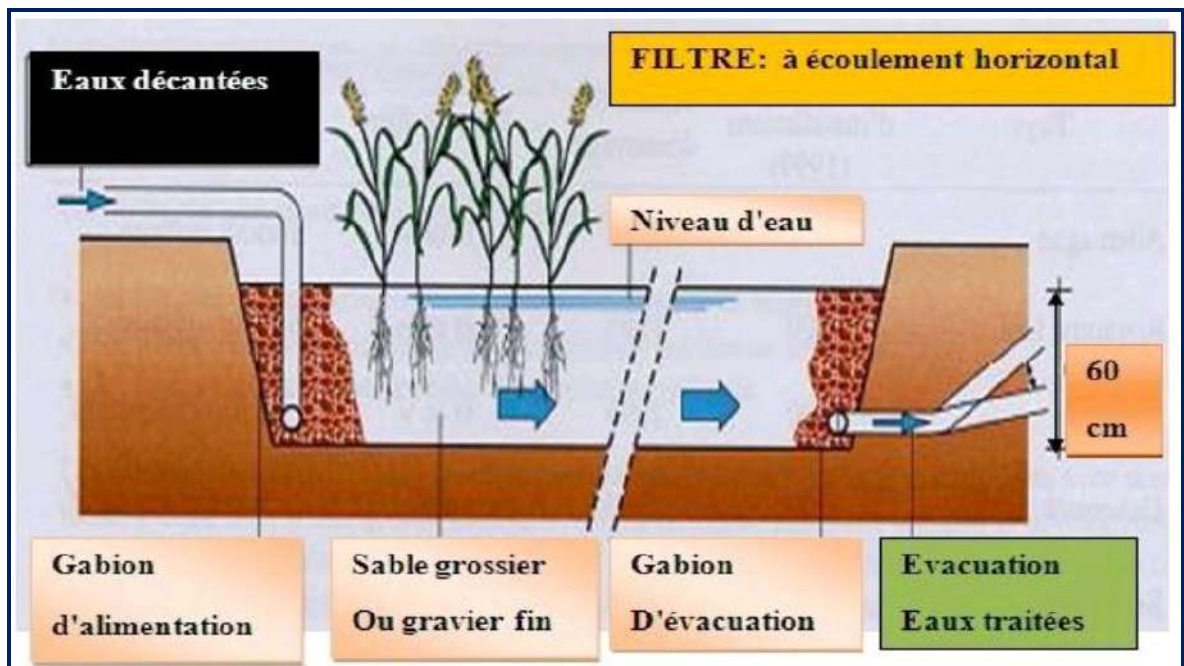


Figure II.2 : Coupe transversale d'un filtre à écoulement horizontal

Ce système de faible consommation énergétique ne nécessite pas une pente importante pour l'écoulement. Sa gestion est plus facile vu qu'il ne nécessite pas une qualification poussée pour l'entretien. Ses performances sont bonne vis avis des variations de charge. [24]

II.3.2.2-Performances

En terme de performance sur la DBO_5 pour des concentrations d'entrée variant de 50 à 200 mg/l, et pour un dimensionnement de 3 à 5 m²/EH, des systèmes à écoulement horizontal et garni de gravier atteignent des rendements de l'ordre de 70 à 90 %. D'une manière générale, en traitement secondaire, la nitrification est limitée mais la dénitrification est très bonne. Les rendements sur le phosphore sont dépendants du type de sol utilisé [25]

II.3.2.3-Filtres plantés à écoulement mixte

En vu d'augmenter l'efficacité du traitement, de réduire l'espace requis pour la station de traitement et d'évitez le recyclage de l'eau, des filtres plantés à écoulement mixte ont été proposés : (FH+FV) ou (FV+FH) ou (FH+FV+FH). Le dernier système est le plus performant.[27]



Chapitre III

MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1-Présentation de la région d'étude

III.1.1- Situation géographique

Le palais de M'raguen est situé dans le sud ouest de l'Algérie, à 12 km au Nord du chef-lieu de la Wilaya d'Adrar. Il est limité par la commune de Sbaa, au sud par la ville d'Adrar, à l'est par la commune de Tamentit et à l'ouest par la commune de Bouda.

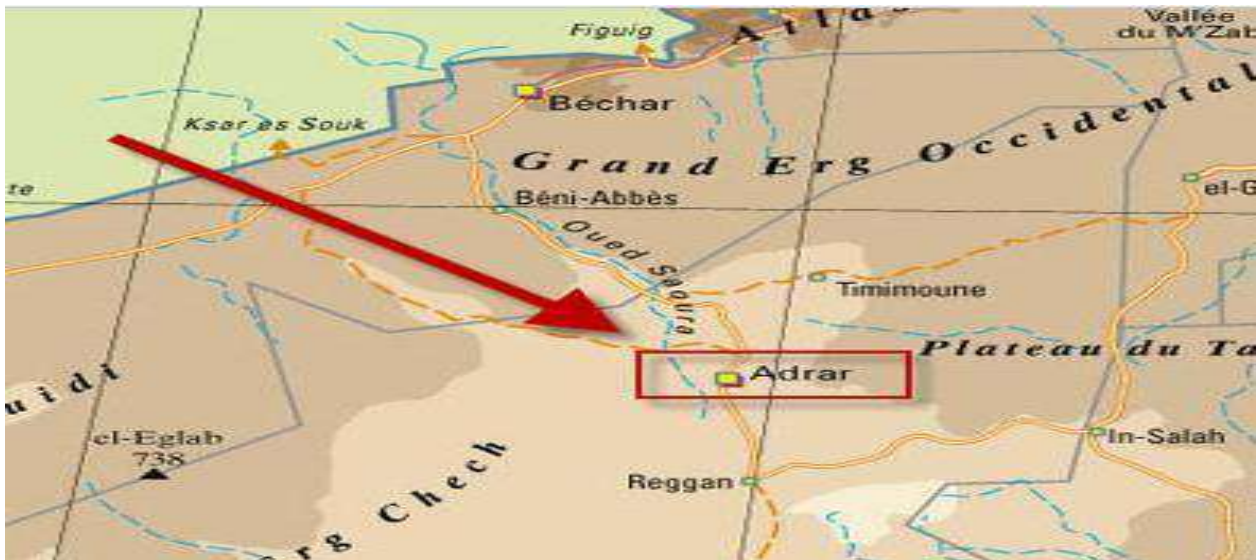


Figure III.1 : Situation géographique de la wilaya d'Adrar.

III.1.2- Climat

Le climat dans la région d'étude est saharien de type hyper aride. Il est connu par sa température élevée, ses précipitations rares et irrégulières et ses tempêtes de sable violent. Les précipitations moyennes annuelles ne dépassent pas les 14mm/an, avec une température moyenne de l'ordre de 26°C. Dans la période allant de mars à août, le climat de la région est connu pour de nombreuses fluctuations météorologiques, notamment une élévation de température allant jusqu'à 50°C et des vents dont la vitesse peut atteindre 80km/h. [28]

III.1.3- Géologie et hydrogéologie

La zone d'étude est une entité géomorphologique faisant partie de l'ensemble du bassin occidental du système Aquifère du Sahara septentrional. Pour cela, il est utile de cerner le cadre géologique de l'ensemble de ce bassin et plus précisément l'aquifère de continental intercalaire qui renferme la ressource en eau la plus importante dans la zone d'étude. [29]

III.2-Présentation de la station d'épuration de M'raguen

III.2.1- Situation géographique

La station d'épuration du Ksar de M'raguen nommée également « Station d'épuration à filtres plantés de roseaux ksar M'raguen » a été réalisée par la société française « gaz de France », mise en service le 10 novembre 2015, gérée et exploitée par l'Office National de l'Assainissement (ONA) depuis le 11 janvier 2016. Elle se situe au nord du chef-lieu de la wilaya d'Adrar, à l'ouest de la route nationale N°6.



Figure III.2 : Situation géographique de la station de M'raguen.

III.2.2- Description de la STEP de M'raguen

La station d'épuration du Ksar de M'raguen est conçue pour une population de 850 EH, d'une capacité de 20 à 60 m³/j. L'assiette réservée pour ce projet est 1000m², mais actuellement seule 600 m² sont exploités. La station fonctionne sur le principe « filtres plantés de roseaux à écoulement vertical » pour le traitement des eaux usées domestiques provenant des localités de Ksar M'raguen par un raseaux d'assainissement Collectif.

L'usine compte trois petits bassins de filtration en roseau à montage vertical et un petit bassin avec une pompe pour récupérer et utiliser l'eau traitée pour l'arrosage. Les avantages de cette usine se résument dans ce qui suit :

- Entièrement écologique et inodore ;
- Fonctionnement simple et économique ;
- Dispositif technique efficace (très bonne performance de purification) ;
- Bon conditionnement grâce à la tolérance des plantes pour toutes les conditions climatiques

- Faible coût d'exploitation pour les produits chimiques nécessaires et entretien facile
- Possibilité d'installer des pompes solaires
- L'eau épurée peut être utilisée pour l'irrigation des arbres ornementaux

III.2.3- Étapes de traitement des eaux usées domestiques

Le processus de traitement des eaux usées au niveau la station M'ragune comporte les étapes suivantes:

III.2.3.1-Dégrillage

Le but de cette étape est de retenir des éléments grossiers qui peuvent nuire aux équipements utilisés dans le traitement. Lorsque la grille est remplie de déchets, elle doit être enlevée, puis nettoyée en la plaçant dans un bac d'égouttage et remise en place. [30, 31]



Figure III. 3 : Degrilleur.

III.2.3.2-Déshuilage

Le déshuilage est réalisé à travers un bassin de 1m de longueur où les huiles flottant au-dessus de l'eau sont récupérées. À la sortie du bassin les eaux sont pompées vers les bassins de filtration. [30]



Figure III.4 : Bassin de déshuilage.

III.2.3.3-Traitement des eaux usées avec des roseaux

La station dispose de trois filtres qui fonctionnent alternativement planté de roseaux. Chaque filtre est constitué d'une couche de membrane et d'une couche de pavé.



Figure III. 5 : Les trois bassins de filtration à anches installés verticalement

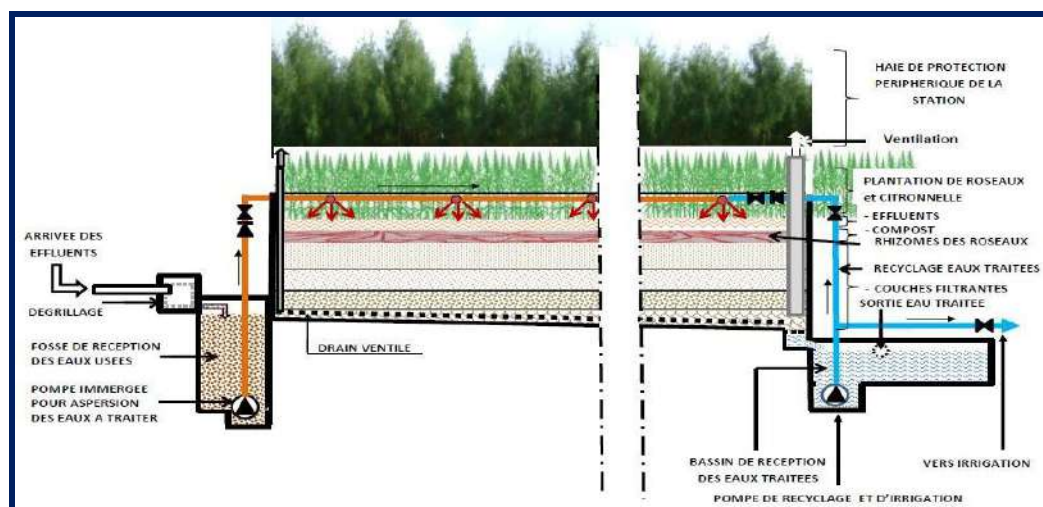


Figure III. 6 : Coupe longitudinale des filtres à écoulement vertical.

Pour le pompage des eaux usées domestiques, la station emploie deux pompes de 1.1 Kwh de puissance avec des débits de 20 m³/h et 16 m³/h respectivement. Ces pompes fonctionnent 5 heures par jour : de 11 à 14 H et de 18 à 20 H.

Les eaux épurées sont pompées par deux pompes de 1.1 Kwh de puissance avec des débits de 16 m³/h. Elles sont utilisées pour le nettoyage des fosses réceptives des eaux usées et pour l'irrigation des roseaux.

Notons que le sol est restauré une fois par mois. Les feuilles sont coupées lorsque leur longueur atteint 1m et les maintenir à 30 cm de préférence.

III.3-Matériels et méthodes [9, 32]

Nous avons effectué la partie pratique à l'usine de filtration des eaux usées dans la région de M'raguen entre le mois de Février et le mois de mars en coordination avec l'Agence Nationale des Ressources en Eau.

III.3.1-Appareillage

Les appareils employés dans cette partie sont :

III.3.1.1-pH mètre type 315I: la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence plongée dans une même solution est fonction linéaire du pH de celle-ci selon la loi de Nernst :

$$E = E_0 + \frac{2,3 RT}{n F} \log a_h \quad \text{Équation (III.1)}$$

- **E** : potentiel mesuré (volt)
- **E₀** : constante dépendant de l'électrode de référence et de la solution interne (volt)
- **R** : constant des gaz parfait (J/mole.K)
- **T** : température absolue (K)
- **n** : charge des ions
- **F** : constant de faraday (96500c)
- **a_h** : activité de l'ion H⁺ dans l'échantillon. [9]



Figure III.7 : pH mètre type 3151

III.3.1.2-Conductimètre type YSI 85 : Le conductimètre est lié à une cellule constituée de deux lames carrées de 1 cm de côté en platine maintenue parallèles dans un tube de verre à une distance de 1 cm lorsque ce montage est plongé dans l'eau. Une colonne de liquide de 1 cm et d'une section de 1 cm² et ainsi délimité et on peut mesurer sa conductance qui est basée sur le principe du pont Wheatstone c'est à dire qu'il s'agit de déterminer la valeur d'une résistance inconnue R_x à partir de trois résistances étalonnées (R_1 , R_2 et R_3) par le biais de la relation suivante. [9]

$$R_x = R_2 R_3 / R_1$$

Équation (III.2)



Figure III.8 : Conductimètre type YSI 85

III.3.1.3- Spectrophotomètre Type PerkinElmer et un Spectrophotomètre Type Turb 555 : l'analyse par ces appareils est basée sur le fait que toute solution colorée traversée par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ laisse passer une fraction de lumière incidente, la quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration du composé coloré recherché.[9]



Figure III.9 : Spectrophotomètre type Turb 555.



Figure III.10 : Spectrophotomètre type PerkinElmer.

III.3.2-Réactifs

Les réactifs employés dans cette étude sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Liste des réactifs.

Réactifs	Formule chimique
Dichromate de potassium	$K_2Cr_2O_7$
Acide sulfurique	H_2SO_4
Sulfate d'argent	Ag_2SO_4
Sulfate de mercure	$HgSO_4$
Sel de mohr	$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$
Hypochlorite de sodium	$NaClO$
Phénol	C_6H_6O
Nitroprussiate de sodium	$Na_2[Fe(CN)_5NO] \cdot 2H_2O$
Acide sulfanilinique	$H_2N C_6H_4SO_3H$
acide chromotrope	$C_{10}H_6O_8S_2Na_2$
Hydroxide de sodium	$NaOH$
Hydrazine	N_2H_4
Sulfate de cuivre	$CuSO_4$
Molybdate d'ammonium	$Mo_7(NH_4)4H_2O$
Acide ascorbique	$C_6H_8O_6$

III.3.3-Échantillonnage

- **Localisation du point de prélèvement** : dans cette étude on a effectué le prélèvement à l'entrée (flacons no 26) et à la sortie (flacons no 27) de la station de M'raguen. [9]



Figure III.11 : Échantillon de l'eau brute et de l'eau traitée.

- **Paramètres analysés** : les paramètres de qualité des eaux domestiques analysés sont :
 - pH
 - Conductivité
 - Turbidité
 - DCO
 - DBO₅
 - Azote NH₄⁺
 - Nitrites NO₂⁻
 - Nitrates NO₃⁻
 - Phosphates PO₄³⁻

III.3.4-Techniques d'analyse des eaux usées domestiques

III.3.4.1- Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre muni d'une électrode préalablement étalonnée avec des solutions tampon pH = 4 puis pH = 7. La méthode consiste à plonger l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bêcher. Après la stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH- mètre, la valeur du pH sera notée. [9, 34]

III.3.4.2- Mesure de la conductivité

La mesure de la conductivité comporte les étapes suivantes :

- Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, avec de l'eau distillée ;
- Plonger l'électrode complètement dans un récipient contenant l'eau à analyser
- Agiter l'échantillon afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide, cette agitation permet d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes ;
- Noter la valeur finale affichée dans le conductimètre. [9, 35]

III.3.4.3- Mesure de la turbidité

La mesure de la turbidité comporte les étapes suivantes :

- Mettre le spectrophotomètre sous tension ;
- Entrer le numéro du programme mémorisé pour la turbidité ;
- Ajuster la longueur d'onde ;
- Placer le blanc (eau distillée) ;
- Ajuster le zéro de l'appareil en appuyant sur la touche "zéro" ;
- Retirer le blanc et placer la prise d'essai de l'échantillon ;
- Appuyer " READ " et le résultat en NTU s'affiche. [9, 35]

III.3.4.4- Mesure du DCO

La détermination de la DCO comprend deux étapes :

- Oxydation chimique de la matière organique réductrice contenue dans l'eau, par un excès de dichromate de potassium. Cette oxydation se réalise en milieu acide, en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure pour limiter l'interférence des chlorures, le mélange est porté à l'ébullition à reflux pendant 2 h.
- Dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr. [9]

III.3.4.5- Mesure du DBO₅

La mesure de la DBO₅ nécessite la connaissance des informations regroupées dans le tableau suivant [36] :

Tableau III.2 : Conditions de mesure de la DBO₅.

DCO (mg /l) x 0,8	Volume (ml)	Facteur de dilution	Inhibiteur de nitrification (gouttes)
0 – 40	432	1	10
40 – 80	365	2	10
80 – 200	250	5	5
200 – 400	164	10	5
400 – 800	97	20	3
800 – 2000	43,5	50	3
2000 – 4000	22,7	100	1

Les échantillons sont disposés dans des flacons bruns auxquels sont ajoutés deux capsules d'hydroxyde de sodium (pour absorber le CO₂ dégager par les microorganismes) et quelques gouttes de l'inhibiteur de nitrification. Ces flacons sont ensuite connectés par leurs bouchons aux capteurs de pression.

L'incubation des échantillons dans l'obscurité à 20 °C dans une armoire thermostatique pendant cinq jours (05) produit une dépression proportionnelle à la quantité d'oxygène consommée. Cette différence de pression est convertie en DBO₅ (mg/l) une fois multipliée par le facteur de dilution.

III.3.4.6- Mesure du Azote NH₄⁺

L'ammonium, en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue (réaction de Berthelot). On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur. La mesure colorimétrique est effectuée à 625 nm. [37]

III.3.4.7- Mesure du Nitrites NO₂⁻

Les Nitrites présent dans les échantillon réagissent avec l'acide sulfanilinique pour former un sel de diazonium qui réagit avec l'acide chromotrope pour former un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnel à la quantité de nitrites présent ceci à une longueur d'onde de 520 nm. [17, 38]

III.3.4.8- Mesure du Nitrates NO₃⁻

Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin

et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur. La solution obtenue est analysée conformément au protocole précédant. [17, 39]

III.3.4.9- Mesure du Phosphates PO_4^{3-}

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les phosphates forment un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développent une coloration bleue pouvant être dosée colorimétriquement à une longueur d'onde de 825 nm. [40, 41]



Chapitre IV

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1-Qualité des eaux usées domestique

Les résultats de l'analyse d'un échantillon d'eau prélevé à 'entrée de la station de M'raguen sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau IV.1: Résultats de l'analyse de l'eau domestique brute.

Paramètres	Valeurs	Normes algérienne	Normes OMS
Ph	7.39	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	2490	-	-
Turbidité (NTU)	46.98	-	-
DCO ($\text{mg O}_2/\text{l}$)	672	130	<90 mg/l
DBO₅ ($\text{mg}/\text{O}_2/\text{l}$)	180	40	<30 mg/l
Azote NH_4^+ (mg/l)	5.42	-	<0,5 mg/l
Nitrites NO_2^- (mg/l)	0.02	-	1 mg/l
Nitrates NO_3^- (mg/l)	0	-	<1 mg/l
Phosphates PO_4^{3-} (mg/l)	33.62	-	-

L'eau traitée au niveau de la station de M'raguen est caractérisée par un pH légèrement alcalin et un taux élevé de matières organiques. un pH alcalin constitue un milieu idéale pour la prolifération des microorganismes qui établissent un parfait équilibre biologique, permettant la dégradation de la matière organique ce qui conduit à la décontamination de l'eau.

La conductivité électrique des eaux usées se caractérise par une valeur relativement élevée due probablement aux charges polluantes. En effet, tout rejet polluant s'accompagne d'un accroissement de la conductivité.

La comparaison des résultats obtenus avec les normes de rejets des effluents liquides appliquées à l'échelle national montre que mis à part le pH, la DCO et la DBO₅ dépassent largement la norme. Notons que seuils limites du reste des paramètres analysés ne figure pas dans la dite norme.

La norme OMS confirme les résultats précédant et affirme que le taux d'azote ammoniacal est hors norme également ce qui témoigne d'une pollution récente qui n'a pas us le temps de se dégrader vu le taux de nitrite faible et l'absence de nitrate.

IV.2-Éfficacité de la phytoépuration appliquée au niveau de la STEP de M'raguen

Les résultats de l'analyse d'un échantillon d'eau prélevé à l'entrée et à la sortie de la station de M'raguen ainsi que le rendement épuratoire relatif à chaque paramètre analysé sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2: Résultats de l'analyse de l'eau domestique brute, traitée et rendement épuratoire.

Paramètres	Valeurs à l'entrée de la STEP	Valeurs à la sortie de la STEP	Rendement épuratoire (%)
pH	7.39	7.42	- 0.41
Conductivité (ms/cm)	2.295	2.414	- 5.18
Turbidité (NTU)	46.987	0.653	98.61
DCO (mg O ₂ /l)	672	96	85.71
DBO ₅ (mg/O ₂ /l)	180	36	80
Azote NH ₄ ⁺ (mg/l)	5.42	4.77	11.99
Nitrites NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.02	5.28	- 26300
Nitrates NO ₃ ⁻ (mg/l)	0	59.73	-
Phosphates PO ₄ ³⁻ (mg/l)	33.62	19.44	42.18

Après phytoépuration :

- Le pH a augmenté légèrement de 7.39 à 7.42. Cette valeur est dans la norme.
- La conductivité a augmenté de 2.295 à 2.414 ms/cm. Il est probable que l'augmentation de la conductivité des eaux est liée à des processus comme le lessivage des minéraux du sol et la minéralisation de la matière organique. Comme elle peut être aussi liée au phénomène d'évaporation des eaux usées.
- La turbidité a diminué de 46.987 à 0.653 NTU, soit une réduction de 98.61 %. Cet abaissement peut être causé par la rétention de matières en suspension (MES) plus fines comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes.
- La DCO et la DBO₅ ont diminué de 85.71 % et 80 % respectivement, ce qui confirme l'efficacité de l'épuration biologique réalisée au niveau des bassins de filtration.
- La réduction de la valeur de l'azote ammoniacal dans les eaux traitées de 5.42 à

4.77 mg/l. En effet, l'azote ammoniacal est oxydé par nitrification en nitrite un état intermédiaire, puis ce dernier est rapidement oxydé en nitrate. Cette transformation est effectuée en présence d'oxygène par des bactéries autotrophes nitrifiantes en deux étapes, la première étant assurée par des bactéries Nitrosomonas et la deuxième par des bactéries Nitrobacter. Ainsi, les taux des nitrites et des nitrates atteignent respectivement 5.28 et 59.73 mg/l dans les eaux traitées. Ces valeurs sont largement supérieures aux normes de l'OMS.

- Les phosphates ont diminué de 33.62 à 19.44 mg/l en raison de la possibilité d'absorption de ces derniers par le système de traitement mis en place.

Le traitement des eaux usées de la région de M'raguen par filtres plantés garantit une élimination importante de la matière organique. Cependant, la présence de pollution azotée, en particulier le taux élevé des nitrates limite à la fois le rejet des eaux traitées dans la nature et leur réutilisation pour l'irrigation.



Conclusion Générale

Au terme de ce travail nous pouvant tirer les conclusions suivantes :

L'eau traitée au niveau de la station de M'raguen est caractérisée par un pH légèrement alcalin, une conductivité électrique et une turbidité relativement élevées ainsi qu'un taux élevé de matières organiques.

L'objectif de cette étude était de mettre en évidence les potentialités des filtres plantés de roseaux à épurer les eaux usées domestique, de Ksar de M'raguen, sous un régime d'écoulement vertical. L'intérêt est porté plus particulièrement sur la possibilité de rejeter les eaux traitées dans le milieu naturel sans aucun risque.

Les résultats obtenus permettent de distinguer une grande différence entre les valeurs des eaux usées brutes et celles des eaux traitées, ceci dévoile que le procédé de traitement par filtres plantés est très adapté pour l'épuration des eaux usées domestiques de la région de M'raguen. Ainsi, l'abattement de la matière organique s'effectue avec des rendements satisfaisants, où nous avons enregistré des taux d'éliminations, de 98.61 %, 85.71 % et 80.% respectivement pour la turbidité, la Demande Chimique en Oxygène et la Demande Biochimique en Oxygène (DBO). La dépollution des phosphates était de l'ordre de 42,18 %.

Toutefois, on constate une légère augmentation du pH et de la conductivité de 0,41 % et 5,18 % respectivement. La pollution azotée persiste toujours dans les eaux traitées. En effets les taux d'ammonium, des nitrites et des nitrates en particulier dépassent de loin les normes de rejets recommandées par l'organisation mondiale de la santé.

On conclut de ces résultats que le traitement des eaux usées de la région de M'raguen par filtres plantés garantie une élimination importante de la matière organique. Cependant, la présence de pollution azotée constitue un facteur limitant à la fois le rejet des eaux traitées dans la nature et leur réutilisation pour l'irrigation



Références

Bibliographiques

- [1] The Environmental Pollution Panel President's Science Advisory Committee (2007),
- [2] L. TOUATI (2021): Cours de pollution des eaux. Université Frères Mentouri Constantine 1.
- [3] O.THOMAS, (1955). Météorologie des eaux résiduaires, Tec et Doc, Ed Lavoisier, Cedeboc, 135 p.
- [4] F. MEKHALIFF, (2009). Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, Université du 20 Août 1955 Skikda.
- [5] Dupont, D. (2008). L'assainissement écologique des eaux usées domestiques. Mémoire formation environnementale, ENSAL. Lyon.
- [6] M.BOUTELLI et S.MENASIA, (2008). Conception d'une station d'épuration pour la ville de Ghardaïa, possibilités de réutilisation des eaux épurées. Mémoire. Ing. Hydraulique urbaine. Université de Ouargla. 132 p.
- [7] <http://www.cotebleue.org.pollbiolo> (Consulté juin 2023)
- [8] J.RODIER, (2005). Analyse de l'eau : Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. Edition Dunod, Paris. 1384 p.
- [9] J.RODIER, (2009). Analyse de l'eau. Edition Dunod, Paris 1526 p
- [10] F. REJSEK. (2002). Analyse de l'eau : Aspects et règlementaire et technique, Ed : CRDP d'Aquitaine, France, 358 p.
- [11] J. BOUTOUX, (1993). Introduction à l'étude des eaux douce (eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson). Qualité et santé. 2ème édition, CEBEDOC. Paris, pp 160-165.
- [12] Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement.
- [13] N. CHAOUCH, (2014). Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées. Thèse de Doctorat en Chimie. Université Hadj Lakhdar Batna
- [14] D.COUILLARD, (1979). Sources et caractéristiques des eaux usées issues des différents procédés de l'industrie des pâtes et papiers. The Science of the Total Environment 12, 169 – 197.
- [15] .REDDY, K. R., D'ANGELO, E. M. and DEBUSK, T. A, (1989). "Oxygen transport through aquatic macrophytes: The role in Wastewater treatment.J. Environ, Qual. 19: 261-267.
- [16] POULET, J.B., TERFOUS, A., DAP, S. et GHENAIM, A. (2004). Stations d'épuration à lits filtrants plantes de macrophytes. Courrier du Savoir – N°05. France

- [17] A.G .P Martin, (1908) : Les oasis sahariennes (Gourara-Touat-Tidikelt), Ed. Imprimerie d'Algérienne, Alger, 406p.
- [18] DEGREMANT, (1992) .Memento Technique de l'Eau", Editions Lavoisier, p 60
- [19] A.DAHOU et A. Brek, (2013). Lagunage aéré en zone aride performance epuratoires cas de (region d'ouargla),université d'ouargla
- [20] HB.NANI, M. NANI et A . TOUIL, (2021). Réutilisation des eaux usées en agriculture à partir de la STEP de la wilaya d'el Oued. Mémoire de master en hydraulique, Université d'EL Oued, 90 p.
- [21] Y.MEDJDOUB, (2014). Bio-écologie de la cochenille noire Parlatoria ziziphi (Homoptera, Diaspididae) sur les agrumes dans la station d'El Fhoul à Tlemcen. Mémoire de master en Agronomie, Université d'Abou-Bekrbelkaid Tlemcen
- [22] M. BOUZIAN, (2000). L'eau de la pénurie aux maladies. Ed .Ibn Khaldoun,Oran
- [23] <https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/2/7/traitement-eaux-usees#:~:text=La%20fondation%20de%20l'eau,utilis%C3%A9%20des%20fins%20scientifiques>. (Consulté juin 2023)
- [24] B. BAUDOT et P.PERERA, (2001). Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eqhab) Mise en oeuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Office International de l'Eau.
- [25] M.ABDELLAHI, (2009), Performance épuratoires d'un filtre hybride plante de roseaux avec recirculation de l'effluent, Expérience de l'IAV Hassan II et Université de Guelph, Canada
- [26] Maas E.V, (1984). Salt tolerance of plants. The handbook of land science in agriculture. B.R. Cristie (Ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [27] BRIX, H.(1994)."Function of Macrophytes in Constructed Wetlands." Wat.Sci. Tech. 29(4): 71-78.
- [28] M. AKKOUCHE, (2007) : Application de la datation par traces de fission à l'analyse de la thermicité de bassins à potentialités pétrolières. Exemple de la cuvette de Sbaâ et du bassin de l'Ahnet-Nord (plate-forme saharienne occidentale, Algérie) Thèse d'état université de Bordeaux1, 297 p
- [29] H ASKRI et al, (2001) : Géologie de l'Algérie, Contribution de SONATRACH Division Exploration, Centre de Recherche et Développement et Division Petroleum Engineering et Développement. 93 p.

- [30] R. SALGHI, (2015). Chimie des eaux. École nationale des sciences appliquées. Agadir.
- [31] Nitrogen and phosphorus, (1997). *Agronomy Journal*, 89: 900-904.
- [32] Manuel opératoire de l'ANRH
- [33] M.H TARADAT, (1992). Chimie des eaux. Première, le griffon d'argile inc, canada. 537p.
- [34] J VYAMAZAL et al, (1998). Constructed waste water treatment in Europe; Backhuys Publisher, Lriden. 76: 16-18
- [35] A. MIZI, (2006). Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba
- [36] G. ALABISO et al, (1997). Particulate matter and chemical – physical conditions of an inner sea The Mar piccolo in Taranto. A new statistical approach. *Marine Chemistry* 58, 37388.
- [37] R.H KADLEC et al, (2000). Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation. IWA Publishing. Scientific and Technical Report N°8, pp 96-99.
- [38] M. BELAHMADI. (2011). Étude de la biodégradation du 2, 4-dichlorophénol par le microbiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'ibn Ziad. Benelmouaz. Mémoire de magister, université de Mentouri, Constantine
- [39] P. MOLLE et al, (2005). How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of the French systems, *Water Science and Technology*, p. 11-21.
- [40] J RODIER, (1996). et all. L'analyse de l'eau eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. DUNOD. PARIS.
- [41] A STRICKER, (2010). Phosphore des eaux usées : nouvelles données, conséquences pour l'épuration. Office national de l'eau et des milieux aquatiques, France.

Résumé

Les eaux usées domestiques de la région de M'raguen, située au Nord-Ouest de l'Algérie ont été caractérisées afin d'évaluer leurs qualités.

En vue de la protection du milieu récepteur, ces eaux sont traitées par phytoépuration au niveau de la station d'épuration de M'raguen. Le procédé a montré une efficacité remarquable en matière d'élimination de la matière organique mais la persistance de la pollution azotée limite le rejet des eaux traitées dans la nature ainsi que leur emploi pour l'irrigation.

Mots clés : Eaux usées domestiques, STEP-M'raguen, Phytoépuration.

Abstract

Domestic wastewater from the M'raguen region in north-west Algeria has been characterised in order to assess its quality.

To protect the receiving environment, this water is treated by phytodepuration at the M'raguen wastewater treatment plant. The process has proved remarkably effective in eliminating organic matter, but the persistence of nitrogen pollution limits the discharge of treated water into the environment and its use for irrigation.

Keywords: Domestic wastewater, M'raguen wastewater treatment plant, Phyto-purification.

ملخص

تم تمييز مياه الصرف المنزلية من منطقة مرقن الواقعة في شمال غرب الجزائر من أجل تقييم جودتها . بهدف حماية البيئة المستقبلية ، تتم معالجة هذه المياه عن طريق التنقية النباتية في محطة معالجة هذه المياه عن طريق التنقية النباتية في التخلص من المواد العضوية ، لكن استمرار تلوث النيتروجين يحد من تصريف المياه المعالجة الى الطبيعة وكذلك استخدامها للري.

الكلمات المفتاحية: ماء زيتي ، حمأة صرف صحي ، كربون نشط ، إدمصاص