

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET
DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

THEME

Réutilisation des eaux usées épurées : Cas de la step de Temacine

Présenté par
YOUNES Yahya

Soutenu publiquement le

Devant le jury :

Président :

Pr. ZEDDOURI Aziz

Pr UKMO

Promoteur :

Dr. HAMMAD Nabila

M. C. A. UKMO

Examineur

Dr Houari Idir Menad

M C B UKMO

Année Universitaire : 2023/2024

الملخص

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم كفاءة معالجة المياه المستعملة بالنباتات. حيث تسمح لنا محطة القصر القديم (تماسين) بمعاينة المردود الموسمي لازالة أبرز مؤشرات التلوث في المياه المعالجة بهذه التقنية، ومن خلال التحاليل الكيميائية والفيزيائية لشهر افريل توصلنا إلى نتائج جد مرضية كالتالي % $DBO_5 = 6mg/l$, % $DCO = 24mg/l$, % $NO_2 = 0.018$ % , % $NO_3 = 0.33$. تبين أن هذا النظام فعال في معالجة مياه الصرف الصحي بتكلفة منخفضة وبدون استهلاك للطاقة والمواد الكيميائية ، ونوعية المياه المعالجة المتحصل عليها من هذه التقنية تلبى المعايير الجزائرية ومنظمة الصحة العالمية لتصريف مباشر في البيئة.

الكلمات المفتاحية : معالجة مياه الصرف الصحي، محطة معالجة قصر القديم تماسين، مؤشرات التلوث، نظام معالجة المياه، كفاءة المعالجة، إعادة استعمال المياه المطهرة

Résumé :

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité du traitement des eaux usées par les plantes. La station de traitement de l'eau de Qasr el-Qdim (Temacine) nous permet d'observer le rendement saisonnier de l'élimination des principaux indicateurs de pollution dans les eaux traitées par cette technique. Les analyses chimiques et physiques réalisées en avril 2024 ont montré des résultats très satisfaisants : $NO_3 = 0.33\%$, % $NO_2 = 0.018$ % , % $DCO = 24mg/l$, % $DBO_5 = 6mg/l$

Il s'avère que ce système est efficace pour traiter les eaux usées à faible coût, sans consommation d'énergie ni de produits chimiques. La qualité de l'eau traitée obtenue grâce à cette technique répond aux normes algériennes et de l'Organisation mondiale de la santé pour un rejet direct dans l'environnement.

Mots clés : Traitement des eaux usées, station d'épuration de Qasr Al Qadeem Tamasin, indicateurs de pollution, système de traitement de l'eau, efficacité du traitement, réutilisation des eaux épurées.

Abstract:

The objective of this study is to evaluate the efficiency of wastewater treatment using plants. The Qasr el-Qdim (Temacine) treatment plant allows us to observe the seasonal yield of the elimination of the main pollution indicators in the water treated by this technique. Through chemical and physical analyses performed in April 2024, we obtained very satisfactory results : $NO_3 = 0.33\%$, % $NO_2 = 0.018$ % , % $DCO = 24mg/l$, % $DBO_5 = 6mg/l$

It appears that this system is effective in treating wastewater at a low cost, without consuming energy or chemicals. The quality of the treated water obtained from this technique meets Algerian and World Health Organization standards for direct discharge into the environment.

Key words Wastewater Treatment, Qasr Al Qadeem Treatment Plant Tamasin, Pollution Indicators, Water Treatment System, Treatment Efficiency, Reuse of Disinfected Water

شكر و عرفان

بعد شكر الله سبحانه وتعالى على توفيقه لي لإتمام هذه
المذكرة أتقدم بجزيل الشكر إلى الوالدين العزيزين الذي
أعانوني وشجعوني على الاستمرار في مسيرة العلم
والنجاح.

أتقدم بالشكر الجزيل وفائق التقدير والاحترام إلى
الأستاذة الكريمة حماد نبيلة لقبولها الإشراف على هذه
المذكرة وهي التي كانت نعم الموجهة بالنصح والدعم
وعلى صبرها وتشجيعها لي طيلة مراحل انجاز المذكرة.
كما اتقدم بخالص شكري وتقديري إلى كل أساتذة قسم
علوم الارض والكون والى كل شخص من قريب أو من
بعيد على انجاز وإتمام هذا العمل

Table des matières

Liste des tableaux.....	I
Liste des figures.....	II
Liste des abréviations.....	III
Introduction Générale.....	1
La partie théorique.....	1
Chapitre I : Pollution de l'eau.....	1
I.1. Définition de la pollution de l'eau.....	3
I.2. Polluants de l'eau :	3
I.3. Sources de pollution de l'eau :	3
I.4. Types et cas de pollution de l'eau.....	4
I.5.1 Définition des eaux usées :	10
I.5.2. Les types d'eaux usées :	11
Chapitre II : Traitement des eaux usées.....	17
Introduction :	17
II.1. Définition du traitement des eaux usées :	17
II.2. Les stations d'épuration et les processus de traitement des eaux usées :.....	19
Partie pratique	
Chapitre III : Présentation de la station d'étude.....	30
III.1. Présentation de la zone de Témacine :	30
III.2. Présentation de la station de filtration à Temacine:.....	31
III.3. Système de flux à l'intérieur de la station.....	35
Chapitre IV : Méthodes d'analyse des eaux.....	39
IV.1. Collecte et analyse des données.....	39
IV. 1.1. L'analyse physico-chimiques.....	39
IV. 1.1. c. Mesure de la température :	39
Chapitre V : Résultats et discussion	47
V. 1. Réutilisation des eaux usées épurées :	47

V.2. Résultats d'analyses physico-chimiques	49
V. Présentation de Cas d'étude II : La station de Tafilalt	53
V.1. DESCRIPTION.....	53
V.2. Avantages du système et spécificités :	58
Conclusion Générale	62
Références bibliographiques.....	67

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composants de base des eaux usées domestiques.....	22
Tableau 2 : Valeurs maximales des normes d'eaux usées traitées pour l'irrigation	26
Tableau 3 : Avantages et les inconvénients de la phytoépuration.....	34
Tableau 5 : Les principaux mécanismes d'élimination des polluants dans les plates-bandes.....	36
Tableau 6 : Le coefficient de variation de la valeur de la DBO5 en fonction du volume de l'échantillon utilisé.....	57
Tableau 7 : Norme de rejet pour l'irrigation (Normes Algériennes)	62
Tableau 8 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées.....	63
Tableau 10 : Analyse par la STEP de temacine pour le mois d'avril 2024 (STEP, temacine 2024).....	65
Tableau 11 : Normes de l'OMS sur les eaux usées (OMS 1971).....	66

L'annexe

Valeurs limites pour la teneur en substances nocives dans les eaux usées autres que les eaux domestiques Au moment du rejet dans le réseau d'égouts public ou dans la station d'épuration Jura 2009.....	84
Spécifications des eaux usées traitées utilisées à des fins d'irrigation. Décision ministérielle. Abonné le 2 janvier 2012.....	85
Valeurs limites des paramètres de rejet dans le milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérien 2006).....	86

Liste des figures

Figure 1 : La pollution thermique	14
Figure 2 : La Pollution radioactive	15
Figure 3 : La pollution chimique	15
Figure 4 : Image de La pollution due aux pesticides	16
Figure 5 : Image de la pollution aux engrais agricoles et chimiques	17
Figure 6 : Image de La pollution par les déchets pétroliers	18
Figure 7 : Image de pollution par les pluies acides	18
Figure 8 : Image de la pollution par les eaux usées	19
Figure 9 : Image de la pollution par d'algues	20
Figure 10 : Un tamis métallique pour éliminer les grosses particules	31
Figure 11 : Enlèvement du sable	31
Figure 12 : Les racleurs montrent l'élimination des graisses	32
Figure 13 : Bassin phytotraité avec écoulement souterrain vertical	38
Figure 14 : Représente un bassin phytotraité à écoulement souterrain horizontal	39
Figure 15 : Emplacement géographique de la municipalité de Temacine	43
Figure 16 : Une image de la station WWG à Tamassine	45
Figure 17 : représente Le bassin WWG	46
Figure 18 : Vue d'ensemble du réservoir d'égouts	47
Figure 19 : Filtre de réservoir	47
Figure 20 : représente un schéma du bassin WWG	48
Figure 21 : plantes utilisée dans le bassin WWG de Temacine	49
Figure 22 : Le boîtier de contrôle	50
Figure 23 : l'aire de drainage de la station	50
Figure 24 : Spectrophotomètre DR3900	55
Figure 25 : Matériel utilisé pour détermine la valeur de DCO	56
Figure 26 : Appareille de Conductimètre	58
Figure 27 : Béchers	58
Figure 28 : Réactif	58
Figure 29 : Béchers	58
Figure 30 : DBO mètre	59
Figure 31 : Etuve	59
Figure 32 : l'Appareille de Chlorométrie	59
Figure 33 : Les réactifs	60
Figure 34 : la solution longue durée en système traditionnel	68
Figure 35 : Étapes de traitement	70
Figure 36 : les composants de base de l'enviro-septic	70

Liste des abréviations

Abréviation	Sens
MES	Matières en suspension
CE	Conductivité électrique
pH	potentiel d'hydrogène
O ₂ dissou	l'oxygène dissous
PO ₄ ²⁻	ortho Phosphore
NO ₂ ⁻	Nitrite
NO ₃ ⁻	Nitrate
NH ₄ ⁺	Azote ammoniacal
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DBO ₅	Demande Biochimique en Oxygène (05 jours)
WWG	Gardens water WWG
ONA	Office nationale d'assainissement
MRE	Ministère des ressources en eau
DAPE	Département de l'assainissement et de la protection de l'environnement
INRA	Institut national de recherche agricole
STEP	Station d'épuration

Introduction Générale

Introduction Générale

La diminution des ressources en eau potable pose une menace sérieuse à la surface de la Terre, une situation due aux pratiques humaines qui ont endommagé notre environnement. Un des problèmes les plus graves est la pollution de l'eau par les eaux usées, qui a des répercussions négatives sur l'environnement au fil du temps. Les eaux usées deviennent un terrain fertile pour le développement et la propagation des insectes nuisibles, tels que les moustiques, et des maladies et épidémies telles que la typhoïde et le choléra. Par conséquent, la question du traitement des eaux usées est devenue cruciale à notre époque, nécessitant des solutions à travers la recherche et la découverte de faits. [1]

Aujourd'hui, préserver notre environnement et nos ressources en eau dépend de notre capacité à traiter les eaux usées à moindre coût avant qu'elles ne retournent à la nature. Le but du traitement des eaux usées est d'accélérer les processus naturels qui se produisent dans ces eaux sous des conditions contrôlées et à petite échelle. Parmi les stratégies innovantes pour résoudre ce problème figure le traitement des eaux usées par les plantes en utilisant le système des jardins de phytoépuration, une solution écologique et économique qui exploite le pouvoir purificateur des plantes et offre une alternative durable et esthétique aux systèmes traditionnels. [2]

Cette innovation a commencé en 1946, lorsque le professeur Käthe Seidel a mené la première recherche sur la technique des traiter les eaux usées. Avec les développements modernes, cette étude a été mise en lumière dans les années 1980 en France et a suscité un grand intérêt, jusqu'à ce que les jardins de phytoépuration deviennent une alternative écologique depuis 1997. Cette technique est utilisée dans des pays arabes comme la Tunisie et le Maroc depuis l'an 2000. [3]

En Algérie, ces stations sont récentes. La première station de traitement des eaux usées urbaines par les plantes a été établie dans la région de Ksar El Guedim à Tamacine (Touggourt). Cette station a été achevée en juillet 2007 après trois ans de travail et d'expertise par les chercheurs de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Sidi Mehdi Touggourt, qui ont supervisé le choix et la plantation des plantes ayant des propriétés purificatrices des eaux usées et ont également été responsables de leur surveillance. La gestion actuelle de la station est assurée par l'Office National de l'Assainissement (ONA) [4] à Touggourt.

Les plantes utilisées dans les stations de traitement par phytoremédiation éliminent les micro-organismes nuisibles présents dans les eaux usées, produisant ainsi des eaux traitées pures. Cependant, ces eaux doivent respecter les normes et spécifications internationales. Notre étude sur ce sujet vise à évaluer l'efficacité et la performance de la station de traitement des eaux usées par les plantes et l'impact des eaux traitées par cette technique sur l'environnement récepteur.

Le mémoire est articulé en cinq chapitres :

Chapitre I : Pollution de l'eau :

Nous avons consacré ce chapitre à l'élaboration d'une synthèse sur la contamination de l'eau et des eaux usées, en identifiant les diverses sortes d'eaux résiduelles et leurs sources.

Chapitre II : Traitement des eaux usées

Une étude des diverses méthodes et types de traitement des eaux usées est incluse dans le deuxième chapitre

Chapitre III : Traite des méthodes et des outils utilisés

Chapitre IV : Le quatrième chapitre se concentre sur l'analyse, la discussion et l'interprétation des résultats obtenus lors de l'étude de la station de Ksar El Guedim à Tamacine.

Chapitre V : Réutilisation des eaux usées épurées : cas de Eco-Parc TAFILELT Tajdit

Nous concluons ce travail par une conclusion

La partie théorique

Chapitre I : Pollution de l'eau

I.1. Définition de la pollution de l'eau :

En 1954, Schulz et Hopkins ont défini l'eau polluée comme de l'eau dont la qualité est diminuée en raison de la contamination avec des déchets d'égouts ou d'autres types de déchets, la rendant impropre à la consommation ou à l'utilisation dans les industries. L'impact des composants de l'eau sur son utilisation dépend de leur concentration. Si leur concentration est suffisamment faible, ils n'auraient pas d'effet néfaste sur l'utilisation de l'eau pour une quelconque raison. En réalité, il y a de nombreux composants dont la présence à des concentrations élevées pourrait être contestée, mais leur présence pourrait devenir acceptable si leurs concentrations sont faibles pour une utilisation spécifique de l'eau. [5]

En 1961, l'Organisation mondiale de la santé a défini la pollution de l'eau comme "tout changement qui affecte les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'eau, conduisant à une modification directe ou indirecte de son état, de sorte que l'eau devient moins apte pour les usages pour lesquels elle est normalement destinée, que ce soit pour la consommation, l'utilisation domestique, agricole, ou autre. [4]

I.2. Polluants de l'eau :

Les polluants de l'eau peuvent être divisés en huit catégories, chacune comprenant de nombreux éléments ayant des effets et des caractéristiques spécifiques sur la qualité de l'eau. Ces catégories sont les suivantes :

1. Des éléments biologiques pathogènes, comme les bactéries qui compromettent la santé humaine et causent des maladies telles que le choléra, la fièvre paratyphoïde, la typhoïde et la dysenterie.
2. Des éléments toxiques tels que l'arsenic, le plomb, le mercure, le cadmium, ainsi qu'une variété de composés chimiques organiques comme les pesticides, les solvants, les détergents, les huiles et les graisses.
3. Des nutriments inorganiques, tels que l'azote et le phosphore, issus de l'ajout d'engrais aux terres agricoles.
4. Des produits chimiques solubles dans l'eau, tels que les sels, les acides et les ions de métaux lourds.
5. Des matières solides en suspension, telles que le sol et les substances insolubles.
6. Des matières radioactives, comme l'uranium et le radium.
7. La chaleur (la solubilité de l'oxygène dépend de la température).
8. Les déchets qui consomment l'oxygène biologique, comme les matières organiques.[4]

I.3. Sources de pollution de l'eau :

Il existe de nombreuses sources d'eau et leur division en :

I.3.1 Les sources naturelles :

Qui englobent l'air ambiant, les minéraux solubles, la dégradation des substances végétales, et le déplacement des sels et des composés chimiques par le ruissellement de surface [6]

I.3.2 Sources agricoles :

L'utilisation d'engrais chimiques et de pesticides pour contrôler les parasites et augmenter le rendement des cultures conduit ces substances à se diffuser dans les eaux souterraines et les bassins d'eau, provoquant leur contamination. De plus, cela comprend l'érosion hydrique des sols, les débris d'origine animale issus des fermes d'élevage et de volailles, l'utilisation d'engrais et de pesticides chimiques, ainsi que l'eau d'irrigation.

I.3.3 Eaux de drainage :

Cela comprend les eaux usées domestiques et industrielles, les polluants issus de la navigation maritime et les incidents maritimes. [6]

I.3.4 Autres sources diverses :

Comme les travaux de construction, les mines, l'eau souterraine, les sites d'enfouissement des déchets, et les lieux de fabrication de ciment. [6]

I.4. Types et cas de pollution de l'eau

I.4.1 Pollution physique :

A– La pollution thermique :

Ce type de pollution se produit lorsque les laves volcaniques entrent en contact avec l'eau, tout comme l'utilisation de l'eau pour refroidir les centrales électriques, les usines. Cette eau, une fois chauffée, est rejetée dans les lacs et les rivières. **Fig (1)**

Cette augmentation de la température de l'eau perturbe l'équilibre des processus biologiques des plantes et des animaux vivant dans ces eaux, ce qui peut entraîner un déséquilibre environnemental. [7.8]



Figure 1 : pollution thermique

B –Pollution radioactive

Cela exprime la concentration des éléments radioactifs dans le corps des organismes vivants (provoquant des maladies graves), pouvant survenir naturellement dans les eaux de surface contenant des éléments radioactifs comme le radium et l'uranium, ou de manière artificielle à partir des déchets industriels et des explosions nucléaires. Les centrales nucléaires, les hôpitaux, les centres de recherche scientifique, les industries électriques et les générateurs fonctionnant au charbon ou au pétrole comptent parmi les principales sources de ce type de pollution [9]. **Fig (2)**



Figure 2 : Pollution radioactive

I.4.2 Pollution chimique :

Se produit lorsque des substances chimiques nocives pénètrent dans l'environnement, généralement par des activités industrielles et agricoles. Ces substances, qui peuvent inclure le mercure, le plomb et le cadmium, peuvent se propager par l'air et l'eau, mettant les humains et la faune en danger. L'impact de ces produits chimiques peut durer longtemps dans l'environnement car ils ne sont pas facilement biodégradables.

Fig (3) [10.11]

Métaux lourds



Figure 3 : la pollution chimique

B – La pollution due aux pesticides :

Se produit lorsque ces produits chimiques sont utilisés de manière incorrecte ou en quantités excessives, en particulier à des fins agricoles. Une fois introduits dans l'environnement, ces pesticides se répandent dans le sol, l'eau, et l'air, et entrent même dans la nourriture que nous mangeons, ce qui met la santé humaine en danger. **Fig (4)**

La situation peut devenir pire lors des fortes pluies qui suivent l'épandage, car les pesticides peuvent être drainés vers les ressources en eau. Cette pollution par les pesticides peut causer des dommages à la vie aquatique et aux écosystèmes, et dans certains cas, les dégâts peuvent être irréversibles. [10.11]

Pesticides



Figure 4 : la pollution due aux pesticides

C –Pollution aux engrais agricoles et chimiques :

Beaucoup d'agriculteurs ont recours à l'utilisation d'engrais agricoles tels que les phosphates et les nitrates, principalement à cause de la limitation des terres agricoles

adaptées à la culture. Lorsque ces engrais sont utilisés de façon aléatoire et non calculée, une partie d'eux reste dans le sol, contribuant ainsi à sa pollution. **Fig (5)**

Lors de l'arrosage de ces terrains agricoles contenant ces engrais en excès par rapport aux besoins des plantes, une partie de ceux-ci se dissout dans l'eau d'irrigation et atteint les eaux souterraines, augmentant ainsi la concentration des phosphates et des nitrates dans ces eaux. De plus, les eaux de pluie jouent également un rôle important dans le transport de ces composés, avec la contribution des eaux usées agricoles et des eaux souterraines, et donc leur transfert vers les cours d'eau voisins. [4]



Figure 5: la pollution aux engrais agricoles et chimiques

D – La pollution par les déchets pétroliers :

La pollution par les déchets pétroliers est une source majeure de pollution aquatique et pose un risque pour les organismes vivants. Les déchets pétroliers comprennent des substances toxiques qui posent un risque pour les plantes aquatiques et la vie aquatique, que ce soit dans les mers ou les océans. **Fig (6)**

Lorsque les déchets pétroliers atteignent la surface de l'eau, ils forment une couche isolante qui empêche l'échange de gaz entre l'air et l'eau. Cela réduit la quantité d'oxygène disponible pour la vie marine, entraînant la mort de poissons et de plantes aquatiques.

La pollution par les déchets pétroliers peut également contaminer les plages, affectant le tourisme et la santé humaine. Cette pollution est souvent causée par des accidents maritimes et les déchets des raffineries de pétrole. Il est donc essentiel de contrôler strictement les fuites de pétrole et d'éliminer correctement les déchets pétroliers.

Les pluies acides sont l'une des principales problématiques environnementales découlant de l'activité humaine, notamment avec la révolution industrielle. Ces pluies se forment lorsque des gaz tels que les oxydes de soufre et d'azote, émis par les volcans et

la combustion de carburants, réagissent avec la vapeur d'eau dans l'atmosphère pour former des acides tels que l'acide sulfurique et nitrique. [12]



Figure 6 : La pollution par les déchets pétroliers

E – Pollution par les pluies acides :

Ces pluies acides entraînent une modification significative du pH de l'eau, ce qui peut avoir des effets considérables sur la vie aquatique. Un exemple est la rivière Tovdal en Norvège, qui était connue pour abriter des saumons, mais en raison des pluies acides, il n'y a plus de poissons ou toute autre forme de vie. **Fig (7)**

De plus, les pluies acides contribuent à la dissolution de métaux lourds et de substances toxiques comme le plomb, le mercure et l'aluminium du sol et leur transfert vers les rivières, les lacs et les eaux souterraines, ce qui peut entraîner la pollution des sources d'eau et représenter un danger pour la santé humaine lors de la consommation de poissons ou de l'eau contaminée. [9]



Figure 7 : pollution par les pluies acides

I.4.3 Pollution biologique:

A – Pollution par les eaux usées :

Les eaux usées comprennent les eaux utilisées et les déchets provenant des toilettes, qui contiennent une grande quantité de déchets organiques, de bactéries, de virus, de micro-organismes et d'autres polluants tels que les détergents industriels. Ils comprennent également l'eau qui a été utilisée dans diverses industries et usines. **Fig (8)**

Dans certains pays, ces eaux sont évacuées directement et sans traitement dans divers plans d'eau. Malgré le risque élevé associé à cette pratique, ces eaux sont souvent polluées par des substances organiques et chimiques telles que le savon et les détergents industriels, les bactéries nocives, les métaux lourds toxiques et les hydrocarbures.

Cette pollution entraîne un certain nombre de dommages graves, y compris une réduction du taux d'oxygène disponible dans l'eau, ce qui entraîne la mort massive des poissons et des organismes marins, et la putréfaction de l'eau. De plus, il contribue à la transmission de nombreuses maladies graves qui peuvent se propager par l'eau et infecter l'homme en raison de la pollution des sources d'eau par les eaux usées non traitées. [10]



Figure 8: la pollution par les eaux usées

B – Contamination bactérienne

En raison de la pauvreté de l'eau en éléments nutritifs, la plupart des bactéries qui atteignent l'eau pure ou claire ne peuvent pas y croître, bien qu'elles puissent y survivre pendant des périodes variables pouvant aller jusqu'à plusieurs mois. En revanche, les types pathogènes ne peuvent pas se développer dans ce milieu aquatique. Les eaux usées sont la seule source de contamination des eaux potables par des microbes pathogènes. Si ces eaux proviennent de personnes non malades, elles ne contiennent généralement pas de microbes pathogènes. En revanche, si elles proviennent de personnes malades, elles constituent une source dangereuse d'infection. Parmi les maladies les plus importantes figurent : la typhoïde, la paratyphoïde, la dysenterie et le choléra. [4]

C – Pollution par d'algues :

Les eaux de surface contiennent beaucoup d'organismes vivants végétaux qui modifient la nature de l'eau (goût, odeur, couleur) et sa qualité, où ils s'accumulent à la surface de l'eau, ce qui entraîne l'émission d'odeurs nauséabondes. Il est bien connu que déverser les eaux usées dans les rivières et les lacs aggrave ce problème car les déchets servent de bon engrais pour les algues, augmentant leur croissance de manière excessive. Les algues ont également des effets économiques en endommageant les navires, car elles contribuent à créer ce que l'on appelle la dégradation des navires, où ces algues s'accumulent en grande quantité sur les parois des navires (pouvant atteindre des dizaines de tonnes) ce qui entraîne une réduction de leur vitesse et une augmentation de la consommation de carburant. Pour cette raison, les structures de navires sont peintes avec un certain type de peinture contenant des composés de cuivre et de mercure où le premier travaille pour les protéger de la corrosion et le second pour les protéger de l'accumulation d'algues. **Fig (9)** [4]



Figure 9: la pollution par des algues

I.5.1 Définition des eaux usées :

L'eau qui a été utilisée ou contaminée par les déchets humains, ou à travers les processus industriels ou de lavage, subit des modifications de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Ces déchets liquides sont composés de 99% d'eau et 1% de matières solides, certaines sont dissoutes et d'autres sont en suspension. Il peut s'agir de matière organique ou inorganique. Les graisses, les restes de nourriture, les détergents

industriels utilisés pour le lavage, la terre, les matériaux organiques et les substances chimiques étranges sont tous des facteurs de pollution. Ces substances affectent la qualité de l'eau et la rendent inutilisable pour les humains, les animaux et les plantes, voire même pour les organismes marins et océaniques. Rendre cette eau à nouveau pure et utilisable est devenu un défi.

Il est donc nécessaire de contrôler et de réguler l'utilisation des engrais agricoles pour éviter leur utilisation excessive et pour préserver la qualité de notre environnement. [13.14]

I.5.2. Les types d'eaux usées :

I.5.3 Eau de pluie contaminée : Les eaux de pluie peuvent effectivement devenir contaminées principalement en raison des polluants présents dans l'air dus à l'activité industrielle. En tombant, la pluie recueille et emporte avec elle ces polluants atmosphériques.

De plus, lorsqu'elle tombe sur des terres agricoles, des routes ou des toits de bâtiments, l'eau de pluie peut entraîner des sédiments, des particules de saleté, des produits chimiques, des huiles et d'autres contaminants dans les systèmes de drainage et les plans d'eau environnants.

Cela peut non seulement rendre l'eau de pluie dangereuse pour la consommation directe, mais cela peut également avoir des conséquences néfastes sur la vie aquatique et l'écosystème dans son ensemble si elle n'est pas correctement traitée. Dans certaines régions, des mesures sont prises pour récupérer et traiter les eaux de pluie avant leur rejet dans l'environnement, pour réduire leur impact écologique. [15]

Les eaux de lavage des rues : Elle se déverse dans les caniveaux et de là dans le réseau d'égouts, emportant avec elle du sable et du papier qu'elle entraîne sur les routes. [4]

Eau industrielle :

Les eaux usées des différentes usines de la ville varient en quantité d'une usine à l'autre. Alors que les eaux utilisées pour le refroidissement sont presque exemptes d'impuretés, les déchets de l'industrie papetière, par exemple, peuvent contenir une concentration très élevée de matières organiques dissoutes ou non dissoutes. Ces eaux diffèrent de l'eau domestique car elles contiennent des produits chimiques et toxiques provenant des usines, des laboratoires et des hôpitaux. Elles dégagent des odeurs nauséabondes et toxiques, en particulier lorsque la température augmente. [4]

Eau filtrée :

Les eaux de percolation désignent les eaux de ruissellement qui peuvent pénétrer dans les conduites d'égout par des raccordements mal ajustés ou à travers le couvercle même du tuyau s'il est poreux. [4]

Les eaux usées domestiques :

Elles sont issues de diverses utilisations domestiques de l'eau et contiennent des polluants organiques. Elles se divisent en deux types :

Celles provenant des salles de bains et des cuisines, généralement riches en détergents, graisses, savons et autres impuretés.

Celles provenant des toilettes, riches en différentes matières organiques azotées (excréments et urine) ainsi que des virus dangereux. [4.16]

I.5.4 La structure des eaux usées domestiques:

La composition des eaux usées domestiques varie selon le moment de l'année, du mois et même du jour en fonction des quantités. Elles sont principalement constituées de déchets humains tels que les excréments, l'urine et les eaux de lavage. En moyenne, elles sont composées à 99,1 % d'eau et de matières dissoutes, et à 0,9 % de matières solides, qu'elles soient organiques ou inorganiques, qu'elles soient en suspension ou dissoutes. [4] Tableau N° (01)

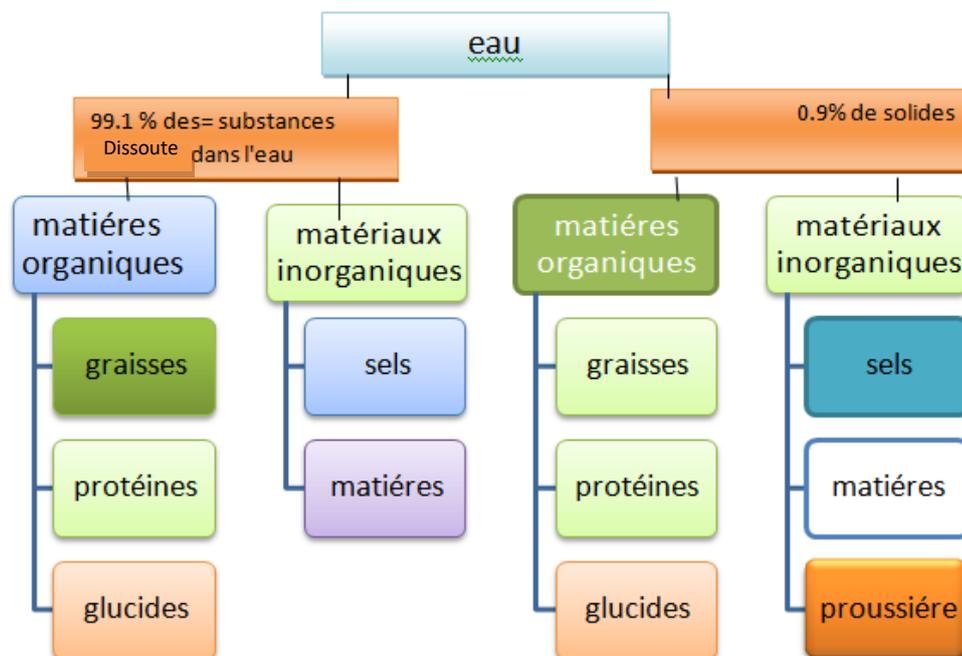


Figure Organigramme N° (01): Composants de base des eaux usées domestiques.

I.5.5 Les critères de classification des polluants dans les eaux usées:

I.5.5.1 La température:

La température de l'eau est un facteur important pour l'équilibre écologique, et les variations soudaines de température sont souvent causées par le rejet d'effluents industriels, y compris des produits chimiques, des hydrocarbures et certains métaux lourds.

I.5.5.2 - Turbidité : À cause des matières en suspension, les eaux usées présentent une turbidité plus élevée.

I.5.5.3 Couleur, odeur, goût :

L'eau pure n'a normalement ni goût, ni odeur, ni couleur. Ainsi, la présence de toute caractéristique de ces qualités indique la présence de pollution de l'eau [4]

I.5.5.4 Les solides en suspension :

Les matières en suspension (MES) sont des substances insolubles présentes dans les eaux usées, comprenant des matières organiques et minérales. Elles sont exprimées en mg/L. La limite maximale des matières en suspension ne doit pas dépasser 35 mg/L pour leur déversement sécurisé dans l'océan. Au-delà de cette limite, elles représentent un risque pour l'environnement et nécessitent un traitement conforme au (Décret exécutif n° 141-06 du 19 avril 2006).

I.5.5.5 La conductivité (CE) :

La conductivité est due aux sels minéraux dissous dans l'eau, avec de faibles concentrations d'impuretés. Cette conductivité augmente significativement avec la concentration en sels, notamment lorsqu'elle est élevée.

I.5.5.6 Potentiel Hydrogène (PH) :

Le pH, mesure la concentration en ions hydrogène (H+) dans l'eau. Dans des conditions naturelles, il se situe généralement entre 6 et 8,5, ce qui correspond à un milieu neutre. Cependant, les eaux usées industrielles peuvent considérablement modifier le pH de l'eau. Par exemple, les eaux usées des usines de gaz peuvent avoir un pH compris entre 3 et 3,5.

Le numéro 41 du Journal Officiel, publié le dimanche 15 juillet 2012, comprend les valeurs limites pour les normes des eaux usées traitées destinées à l'irrigation, comme illustré dans le tableau ci-dessous. [4]

I.5.5.7 Matières organiques:

Ces substances, principalement composées de carbone, se présentent sous différentes formes. Elles peuvent être :

Sous forme de particules, petites ou grandes, telles que les sucres (amidon, cellulose), les acides organiques volatils, les peptides.

Sous forme de matière organique dissoute : elles sont principalement constituées de composés contenant de l'azote, du carbone, de l'oxygène, du soufre et du phosphore. L'évaluation de la matière organique se fait par la détermination de la demande chimique en oxygène (DCO). [4]

I.5.5.8 La demande biochimique en oxygène (DBO5) :

La demande biochimique en oxygène (DBO) réfère à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer les composés organiques dissous dans l'eau par les micro-organismes

présents dans l'environnement aquatique. L'oxygène qui est consommé ne provient pas seulement de l'oxydation des composés organiques, mais aussi de l'oxydation des composés minéraux tels que le nitrite et les sels d'ammonium, en plus du besoin des cellules vivantes en oxygène pour la reproduction. Malgré tout cela, la DBO reste une mesure standard qui reflète d'une manière ou d'une autre le niveau de pollution organique de l'eau. La DBO est généralement mesurée sur une période de cinq jours à une température de 20 degrés Celsius, bien qu'elle puisse être mesurée sur sept jours ou vingt jours. La demande chimique en oxygène est déterminée selon le principe suivant : la consommation d'oxygène par les bactéries présentes dans l'échantillon d'eau entraîne une diminution de la pression dans le récipient hermétiquement fermé, ce qui entraîne un changement de la hauteur mesurée dans le manomètre, où le dioxyde de carbone libéré est absorbé en utilisant une base forte (KOH) et la demande chimique en oxygène est déterminée par le changement de pression au cours de cinq jours. [4]

1.5.5.9 La demande chimique en oxygène (DCO) :

On définit la Demande Chimique en Oxygène (DCO) comme la quantité d'oxygène utilisée pour oxyder chimiquement les polluants organiques pour chaque litre d'eau. Ces polluants ne sont pas affectés par les micro-organismes et ne sont pas biodégradables, comme les matières cellulosiques. Pour oxyder ces matières, nous utilisons de puissants oxydants comme le dichromate de potassium. En mesurant la DCO, nous obtenons des résultats rapides et ce processus ne nécessite pas nécessairement d'incubation des échantillons. [17]

1.5.5.10 Les nitrates :

Les recherches médicales ont établi les dangers des nitrates pour la santé, notamment pour les enfants. De plus, l'augmentation massive des nitrates dans les eaux souterraines et de surface est due à l'utilisation accrue d'engrais azotés et de produits chimiques. Identifier la contamination des nitrates dans l'eau est une tâche complexe en raison des changements constants de l'azote dans un cycle connu sous le nom de cycle de l'azote. Ce cycle montre que les nitrates sont le produit final de l'oxydation des composés azotés organiques. Par conséquent, leur présence dans l'eau polluée suggère que le processus d'auto-épuration fonctionne correctement. Les nitrates présents dans l'eau naturelle sont le résultat de l'écoulement de l'eau à la surface du sol lors de la formation des rivières. À cela s'ajoutent les nitrates contenues dans les eaux usées et celles produites par l'oxydation des déchets organiques azotés par les bactéries. [17]

1.5.5.11 Les nitrites :

L'ion nitrite est une entité instable qui se caractérise par une activité chimique élevée, ce qui le rend toxique. Il se forme par la transformation des nitrates en nitrites. Ce dernier réagit avec les amines présentes dans le corps des êtres vivants pour produire des composés appelés nitrosamines. Ces composés sont extrêmement toxiques et leur présence dans le corps humain pose un risque important car ils peuvent conduire à la

formation de tumeurs dans divers organes tels que l'œsophage, l'estomac, le pancréas, le foie et les poumons. [17]

1.5.5.12 Les orthophosphates :

Le phosphate est produit dans les eaux de surface à partir de sources naturelles et industrielles comme les engrais et les détergents industriels. L'orthophosphate peut se présenter sous différentes formes dans l'eau en fonction du pH du milieu. Ainsi, l'eau naturelle qui a un pH entre 5 et 8 contient de l'orthophosphate mono et dihydrogène (H_2PO_4 et HPO_4). Le phosphate dissous dans l'eau d'irrigation sert de nutriment aux plantes, cependant, une augmentation de sa concentration au-delà des limites autorisées peut entraîner des modifications de la structure de certaines plantes. De plus, les poissons s'alimentent également du phosphate dissous dans l'eau. [17]

1.5.5.13 Microorganismes

Les eaux usées contiennent un ensemble de microorganismes, en particulier les bactéries coliformes fécales, ainsi que les bactéries fécales nageantes. En plus des bactéries aérobies, obligatoires en plus grand nombre que les anaérobies dans les eaux usées non traitées, à raison de 11^5 à 11^6 par ml. Il est impossible de mentionner toutes les genres, espèces ou groupes présents et connus car les matières fécales humaines contiennent de 300 à 400 genres différents. On trouve également la bactérie *Aeromonas* à une concentration égale ou supérieure à celle des entérobactéries, bien que son origine ne soit pas fécale (de 11^5 à 11^6 par 1 ml). [10]

1.5.6 Les normes et les seuils autorisés pour protéger l'environnement et la santé publique :

Il comprend le Journal officiel n° 41, publié le dimanche 25 Shaban 1433 AH, correspondant à 15 juillet 2012 Valeurs maximales des normes d'eaux usées traitées pour l'irrigation indiquées Dans le tableau 02 ci-dessous :

Tableau N° (02) : Valeurs maximales des normes d'eaux usées traitées destinées à l'irrigation [18]

Métrique	valeur
La température	30C°
PH	6,5-8,5
Les matières en suspension	30 mg/l
La demande biochimique en oxygène (DBO₅)	30 mg/l
La demande chimique en oxygène (DCO).	90 mg/
Azot	30 mg/l
Zinc	10.0 mg/l
Chrome	1.0 mg/l
Phosphore	02 mg/l
Détergents	01mg/l

Chapitre II : Traitement des eaux usées

Introduction :

Avec le développement et l'expansion des réseaux de distribution d'eau dans les zones urbaines, l'eau est désormais accessible à tous les habitants. Ainsi, tout ce que vous lavez pendant le nettoyage ou lorsque vous utilisez les éviers et autres est considéré comme des eaux usées. Par conséquent, il est désormais essentiel de traiter les eaux usées pour protéger la santé publique, assurer une gestion sûre de la chaîne d'approvisionnement en eau, et éviter toute contamination lors de la collecte des eaux usées.

Les services et les différentes méthodes de traitement ont débuté, été transférés et se sont terminés dans des domaines appropriés.

II.1. Définition du traitement des eaux usées :

Le processus de traitement des eaux usées fait référence à l'ensemble des méthodes employées pour purifier et nettoyer les eaux polluées issues des activités humaines, dans le but de les rendre sûres pour être rejetées dans l'environnement ou pour une utilisation ultérieure. [19]

II.1.1 L'objectif du traitement des eaux usées :

1-Protection de la santé publique : Lorsque les eaux usées sont éliminées de manière incorrecte, cela peut représenter un risque pour la santé publique. En traitant ces eaux, nous pouvons éliminer les micro-organismes pathogènes et les polluants chimiques qui pourraient être nuisibles.

2-Protection de l'environnement : Les eaux usées non traitées peuvent provoquer une pollution de l'environnement environnant, entraînant la contamination des eaux souterraines et la dégradation de la qualité des eaux de surface.

3-Réutilisation : Après traitement des eaux usées, elles peuvent être utilisées pour l'irrigation, le refroidissement et l'agriculture, réduisant ainsi la pression sur les sources d'eau douce.

4-Contrôle de la pollution : Le traitement aide à contrôler la pollution en éliminant la plupart des polluants de l'eau.

Les méthodes de traitement des eaux usées en Algérie comprennent principalement

Il existe plusieurs méthodes approuvées pour le traitement des eaux usées, et nous nous concentrerons sur les méthodes les plus efficaces pour filtrer ces eaux. Toutes ces méthodes partagent une première étape de traitement (physique) et diffèrent dans la deuxième étape de traitement (biologique). Ces méthodes comprennent :

La méthode des boues activées : Ces stations de traitement utilisent des bactéries spécialisées pour décomposer les matières organiques dans les eaux usées, améliorant ainsi leur qualité.

La méthode des étangs naturels : Des étangs artificiels ou naturels sont utilisés pour filtrer l'eau, où les processus de sédimentation et de dégradation biologique améliorent sa qualité.

La méthode des étangs aérés : Des bassins d'aération contenant des bactéries spécialisées sont utilisés pour convertir les matières organiques en substances non nocives, améliorant ainsi la qualité de l'eau.

La méthode de traitement par les plantes : Cette méthode utilise des plantes aquatiques pour absorber les matières organiques et les métaux lourds des eaux usées, améliorant ainsi leur qualité. [20]

II.1.2 Avantages du traitement de l'eau :

Parmi les avantages de l'utilisation des eaux usées traitées figure la préservation des réserves d'eau. En effet, leur utilisation dans l'agriculture ou d'autres usages non destinés à la consommation humaine permet d'économiser l'eau potable, d'étendre les surfaces agricoles pour produire une variété de cultures à moindre coût. De plus, cela permet de réduire les coûts liés à la production, à l'importation et à l'utilisation des engrais, car les éléments nécessaires aux plantes sont présents dans ces eaux. Cela réduit également les coûts liés à l'approvisionnement en eau pour l'agriculture, en particulier si les sources de ces eaux sont souterraines.

II.1.3 Inconvénients du traitement de l'eau :

Parmi les inconvénients de l'utilisation des eaux usées traitées, on note qu'elles peuvent causer des problèmes de santé si elles ne sont pas correctement traitées. En effet, la présence de différents types de virus, de bactéries et d'autres agents pathogènes, ainsi que des concentrations élevées de produits chimiques qui ne sont pas éliminés lors des différentes étapes de traitement, peuvent causer des dommages aux plantes. Dans le cas où ces eaux sont utilisées pour recharger les nappes phréatiques sans un traitement approprié, elles peuvent contaminer ces eaux et peuvent également entraîner des obstructions dans les réseaux d'irrigation lors de leur utilisation. [21]

II.1.4 Les facteurs les plus importants influençant le choix de la méthode de traitement appropriée :

La réalisation du rendement souhaité du traitement peut être réalisée par plusieurs méthodes de traitement. D'autre part, chaque méthode a ses limites d'utilisation. Ainsi, le choix d'une méthode par rapport à une autre dépend de plusieurs facteurs, notamment : [22]

- a) La qualité des eaux usées liquides à traiter,
- b) La charge polluante ou la charge organique de l'eau,
- c) La disponibilité de l'espace et le coût,
- d) La nature du sol de la région,
- e) Les facteurs climatiques tels que la température, le vent et l'humidité. [23]

II.2. Les stations d'épuration et les processus de traitement des eaux usées :

II.2.1 Définition d'une station d'épuration :

Ce sont des unités massives utilisées par les autorités responsables de ce secteur pour assurer le traitement de grandes quantités d'eaux usées et garantir leur absence de microbes et de produits nuisibles.

- En Algérie, d'importants programmes ont été lancés pour protéger les ressources en eau et le littoral en construisant des stations de traitement des boues activées qui s'appuient sur des processus physiques, chimiques et biologiques, des stations de lacs naturels et des lacs d'aération, ainsi que des bassins de traitement par les plantes qui adoptent le principe du traitement végétal. Les statistiques de 2014 ont confirmé que le nombre de stations de traitement des eaux usées en activité en Algérie était de 108 stations (48 stations de traitement des boues activées et 60 stations de lac), avec une capacité de 7 351 282 eq/hab, soit un débit moyen de 1 143 451 m³/j. [24]

Le rôle de ces stations peut être résumé dans les points suivants :

- Traitement de l'eau
- Protection de l'environnement
- Protection de la santé publique
- Récupération de l'eau épurée et boues issues du traitement [25]

II.2.2. Méthodes de traitement des eaux usées en Algérie :

Il existe plusieurs méthodes approuvées pour le traitement des eaux usées, et nous allons essayer d'examiner les méthodes les plus efficaces pour filtrer les eaux usées. Ces méthodes partagent toutes une première étape de traitement (traitement physique) similaire à celle utilisée dans les stations de filtration, mais différent dans la phase de traitement secondaire (biologique), notamment :

La méthode des boues activées

La méthode des lagunes naturelles

La méthode des lagunes aérées

La méthode de traitement par les plantes

II.2. 3. Étape initiale du traitement : traitement physique

1- la première étape (Le dégrillage) :

Dans cette étape, les objets de grande taille ainsi que les fibres non solubles sont retirés à hauteur de 20% à 30%. L'eau entre dans un canal équipé d'une grille munie de barres métalliques qui retiennent les gros déchets solides tels que les emballages en plastique et les feuilles. Ce processus est utilisé au début du traitement pour protéger les équipements de la station utilisés dans les étapes suivantes, et pour uniformiser l'eau **Fig (10)** [26,27]



Figure 10 : Un tamis métallique pour éliminer les grosses particules.

2- le dessablage :

Voici la deuxième étape du processus de traitement des eaux usées, également connue sous le nom de sédimentation primaire. À ce stade, les eaux usées contiennent de petites particules solides suspendues telles que des graviers, du sable et d'autres petites particules. **Fig (11)**

L'eau entre dans les bassins de sédimentation, qui fonctionnent lentement pour permettre à ces particules de se déposer ou de s'installer au fond. Ces particules, appelées boues, sont ensuite collectées et transportées vers des sites d'élimination appropriés.

Les bassins de sédimentation ventilés par le bas avec un mouvement en spirale sont souvent utilisés dans ce processus pour garantir la collecte d'une grande quantité de boue et de graviers.

[26,27]



Figure 11 : Enlèvement du sable

3- Le déshuilage :

Le déshuilage est une autre étape essentielle dans le traitement des eaux usées, en particulier lorsqu'elles contiennent des quantités substantielles d'huiles et de graisses. Ces substances peuvent causer de nombreux problèmes dans le processus de traitement, notamment en obstruant les conduites et les équipements, et en perturbant les processus biologiques impliqués dans le traitement des eaux usées. [26·27] **Fig (12)**

Dans le processus de déshuilage, les eaux usées sont d'abord chauffées pour rendre les huiles et les graisses plus fluides. Ensuite, les eaux usées passent par un séparateur d'huile ou un déshuileur, qui utilise la différence de densité entre l'eau et l'huile pour séparer ces deux substances. Comme les huiles et graisses sont moins denses que l'eau, elles montent à la surface où elles peuvent être éliminées.

Le déshuilage élimine la plupart des huiles et des graisses présentes dans les eaux usées, facilitant ainsi les étapes suivantes du traitement. [28]



Figure 12 : Les racleurs montrent l'élimination des graisses

La phase de traitement biologique :

Le but principal du traitement secondaire est de convertir les composés organiques dissous dans les eaux usées en matières organiques et inorganiques solides et précipitables, en utilisant des micro-organismes (biologiques), ce qui réduit la teneur en matières organiques et en éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore dans les eaux usées. Le traitement biologique vise à maintenir une quantité importante de boues actives, qui comprennent une variété de micro-organismes tels que des bactéries, des champignons et des algues, dans des conditions environnementales spécifiques favorables à leur croissance. [29·27]

II.2.2.1 Définition la méthode des boues actives :

Les traitements biologiques aérés sont parmi les méthodes les plus efficaces pour assainir les eaux usées et sont largement utilisés dans les petites, moyennes et grandes

communautés (selon l'Organisation mondiale de la santé). Ce système continu implique le maintien de micro-organismes en contact permanent avec les eaux usées contenant des matières dégradables pendant une période suffisante. Ces micro-organismes sont activés dans l'eau pour assurer le contact avec tous les déchets liquides.

Le processus repose sur le principe de maintien des déchets liquides prétraités dans un bassin d'aération artificiel portant une certaine biomasse. Les bactéries dans la biomasse absorbent la matière organique et la transforment en "boues activées". Ces boues activées sont ensuite clarifiées dans un bassin de décantation secondaire ou un filtre. Une partie des boues est renvoyée vers les bassins d'aération pour renforcer les processus bactériologiques. Les boues excédentaires sont collectées et traitées (incinérées) ou recyclées dans l'agriculture. [30]

II.2.2.2 Définition la méthode des étangs naturels :

Les stations d'épuration par lagunage naturel, également connues sous le nom de stations d'épuration à lagunage naturel, sont des installations de traitement des eaux usées qui utilisent des étangs ou des bassins artificiels pour purifier biologiquement les eaux usées. Ces systèmes exploitent les processus naturels de filtration, de sédimentation et de traitement biologique pour éliminer les contaminants des eaux usées. Les eaux usées sont dirigées vers des bassins peu profonds où elles sont traitées par des micro-organismes, des plantes aquatiques et des processus chimiques naturels. Ces stations sont souvent utilisées dans les zones rurales et les petites collectivités en raison de leurs coûts d'exploitation moins élevés et de leur faible empreinte environnementale. [31]

II.2.2.3 Les stations d'épuration par lagunage aéré :

Les stations d'épuration par lagunage aéré, également connues sous le nom de stations d'épuration à lagunage aéré ou à lits bactériens aérés, sont des installations de traitement des eaux usées. Elles utilisent des bassins peu profonds pour favoriser la croissance de micro-organismes aérobies, qui ont besoin d'oxygène pour se développer. Ces micro-organismes décomposent les contaminants organiques présents dans les eaux usées. Les bassins sont aérés en continu pour fournir de l'oxygène aux micro-organismes, accélérant ainsi le processus de décomposition des matières organiques. Les eaux usées passent par une série de bassins où elles subissent un traitement biologique avant d'être clarifiées dans des bassins de décantation. Ces stations sont largement utilisées dans les zones urbaines et suburbaines pour traiter les eaux usées municipales et industrielles. [27]

En conclusion :

la gestion des eaux usées est un enjeu crucial pour préserver la qualité de nos ressources en eau et protéger les écosystèmes aquatiques. Par conséquent, il est impératif de continuer la recherche et l'innovation dans ce domaine pour développer des méthodes de traitement plus efficaces et plus durables.

Avantages et les inconvénients de la phytoépuration :

La phytoépuration présente comme toutes les techniques des avantages et des inconvénients qui sont résumés dans le tableau ci-dessous Tableau N° (03) [24]

Les Avantages	Les Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Excellente élimination de la pollution microbiologique.- Economie d'eau, réduction de la pollution des eaux de surface et des nappes phréatiques.- Conformité des rejets aux exigences réglementaire (MES, DCO, DBO5).- Faible coûts d'investissement et de fonctionnement.- très bonne intégration paysagère.- valorisation aquacole et agricole de la biomasse planctonique produite et des effluents épurés.- Contribue au développement et à la diversification de la flore locale, ainsi qu'à la protection de la faune et de la biodiversité.- Intérêts sanitaire, écologique, esthétique et éducatif.	<ul style="list-style-type: none">- Grande emprise foncière.- Contraintes possibles s'il y a la nécessité d'imperméabiliser le sol.- Variation saisonnière de la qualité de l'eau en sortie.- N'apprécie pas les grandes pollutions ponctuelles et les pollutions chimiques.- en cas de mauvais fonctionnement, risque d'odeurs.- Veiller à ne pas atteindre l'état de putréfaction.

II.2.2.4 Les stations d'épuration végétales :

Avant de procéder à la description des traitements des eaux usées par des plantes, il est important de présenter quelques rappels historiques.

II.3.1. Note historique :

Le traitement des eaux usées à l'aide de filtres végétalisés est une méthode développée initialement dans l'unité de test Biosfera en 1987 par le Dr Mark Nelson. Elle a été exploitée pour la première fois dans un laboratoire environnemental mondial en Arizona de 1991 à 1994. Elle a été testée pour la première fois en Algérie dans les régions de Temacine , comme indiqué dans un article publié le 30 avril 2013 sous le titre "Algérie - Un budget sera bientôt alloué pour la création de jardins filtrants pour purifier les eaux usées". Le succès de cette expérience pionnière a convaincu le ministre des Ressources en eau de généraliser l'utilisation de cette technologie écologique et économique dans d'autres oasis, avec l'annonce de la construction de 100 jardins de filtration. Ces derniers seront inclus dans le budget de la loi de finances complémentaire pour l'année 2013, lors d'une réunion sur la mise en œuvre du programme de développement et des mécanismes du Sahara. Cependant, en 2014, seuls 3 % du total des stations de filtration végétalisées ont été formés, comprenant seulement deux stations à Temacine et N'Goussa, appelées stations expérimentales. [24]

II.3.2. Définition de la phytoremédiation :

La phytoremédiation, également connue sous le nom de traitement des plantes pour les polluants, est un processus qui repose sur l'utilisation des plantes pour éliminer ou transformer les polluants présents dans les zones contaminées, qu'ils soient organiques ou inorganiques. Dans ce processus, les plantes absorbent les polluants du sol ou de l'eau par leurs racines, puis les traitent à l'intérieur de leurs propres tissus. [32] Cette méthode est utilisée pour dépolluer les sites contaminés par des métaux lourds, des substances radioactives et divers types de produits chimiques organiques polluants.

II.3.3. Définition des stations d'épuration WWG :

Parmi les applications les plus importantes de la phytoremédiation, on trouve l'utilisation de jardins d'épuration des eaux usées (Wastewater Gardens - WWG). Ce système repose sur un bassin résistant à l'eau rempli de gravier et de plantes dont les racines supportent des conditions saturées d'eau. De cette manière, ce système peut traiter les eaux usées sans avoir besoin de produits chimiques ou d'énergie, et surtout, permettre aux plantes de retenir l'eau.

Ce système est considéré comme une sorte de zone humide artificielle où les mêmes conditions que celles des zones humides naturelles sont fournies. L'une des points forts de ce système est sa grande capacité à purifier et à traiter les eaux usées et à protéger l'environnement, grâce au rôle important joué par les plantes et les micro-organismes présents dans ce système.

Les résultats obtenus après l'utilisation de ce système sont comparés aux résultats des zones humides naturelles. Avec un entretien régulier, la durée de vie de ce système peut aller jusqu'à 20 ans, ce qui en fait une option intéressante pour le traitement des eaux usées de manière écologique et durable. [4]

II.3.4. Principe de système WWG :

Le système WWG est une technique sophistiquée mais il est également un processus naturel. Il traite les effluents des eaux usées en s'appuyant principalement sur l'interaction symbiotique entre les plantes capables de survivre dans des sols saturés d'eau, les graviers et les microorganismes. Le gravier fournit une base pour la croissance des plantes et des microorganismes, ces derniers se nourrissent des composés organiques ou inorganiques présents dans l'effluent souterrain.

Les eaux usées, généralement riches en composés organiques et inorganiques, peuvent fournir une source d'énergie pour les plantes et les microorganismes. Les racines des plantes favorisent le développement de la microflore rhizosphérique en offrant une grande surface. Ces racines libèrent une variété de composés, y compris des sucres (produits de la photosynthèse), des hormones, des enzymes, et même de l'oxygène et de l'eau. En réponse, les microorganismes rhizosphériques favorisent la croissance de la plante. [33,24]

II.3.5. Les étapes de la phytothérapie :

II.3.5.1. Traitement physique :

Les phases de traitement dans le système WWG commencent par le traitement physique où les eaux usées sont collectées dans une fosse septique. Le processus implique le dépôt de matières en suspension et d'impuretés présentes dans l'eau au fond du réservoir, où l'eau séjourne pendant 3 à 4 jours. Ensuite, l'eau passe à travers un filtre qui travaille à éliminer les solides fins en suspension dans les eaux usées. Cette étape est très importante car elle empêche les obstructions dans le système et l'échec du processus de traitement. Suite au traitement physique, l'eau avance vers les phases suivantes du traitement des eaux usées. [33,32]

II.3.5.2. Traitement chimique :

implique la précipitation des composés insolubles, l'absorption par les plantes des nitrates et des phosphates, ainsi que la décomposition des divers polluants ménagers grâce à l'action des exsudats racinaires des roseaux. Ces plantes développent un réseau racinaire très dense, appelé la rhizosphère.

II.3.5.3. Traitement biologique :

Après le traitement physique, l'eau passe dans un bassin de traitement des eaux usées qui se compose d'une épaisse couche de gravier ou de sable grossier agissant comme support pour les racines des plantes. L'environnement reste toujours saturé en eau, et ces plantes ne sont pas des plantes aquatiques car elles n'ont pas d'eau à leur surface.

Le système se compose d'une ou plusieurs parties, en fonction de la taille du système requis et de la surface disponible pour la construction. L'efficacité du bassin de WWG réside dans le temps de séjour de l'eau à l'intérieur de cette unité, et donc la taille et l'efficacité de l'unité WWG sont contrôlées par la durée pendant laquelle l'eau reste dans le jardin.

La période préférée pour que l'eau reste dans le bassin est de 4 à 5 jours, il est donc préférable que le bassin soit assez grand pour permettre à l'eau de séjourner pendant la durée nécessaire pour obtenir un traitement de haute qualité.

En ce qui concerne les plantes, elles produisent à travers leurs racines et demi-racines des antibiotiques ou des substances inhibitrices (toxiques) qui éliminent certains micro-organismes nuisibles dans les eaux usées. Ces micro-organismes incluent différentes espèces connues sous le nom de péripton.

Le rôle du péripton, en plus des processus physiques, biologiques et chimiques naturels, conduit à l'élimination d'environ 90% des polluants dans les eaux usées, ce qui produit de l'eau propre. Le péripton, qui contient une variété d'organismes microscopiques, joue un rôle important dans l'analyse des éléments chimiques et des composés organiques dans les eaux usées, aidant ainsi à obtenir une qualité d'eau exempte de polluants.

Bien que les systèmes WWG nécessitent beaucoup d'espace et une gestion continue pour assurer leur efficacité, ils offrent une solution naturelle et efficace pour traiter les

eaux usées et réduire l'impact environnemental de la pollution. Les eaux traitées par les systèmes WWG peuvent être utilisées en toute sécurité pour l'irrigation et le drainage dans des zones naturelles. [33.32]

Et Enfin : les plantes complètent cette filtration en éliminant les phosphates et en réduisant les taux de certains polluants, notamment l'azote et le phosphore.

II.3.5.4. Plantes utilisées dans les usines de traitement de l'eau :

Il existe différentes catégories de plantes utilisées dans la méthode de traitement des eaux usées par les plantes, classées en groupes tels que les plantes flottantes avec des racines ancrées dans le sol, les plantes à racines submergées avec des tiges et des feuilles émergentes, les plantes entièrement submergées, les plantes à tiges ligneuses, les plantes à tiges herbacées, et les plantes flottantes avec des racines suspendues, etc. Cependant, les plantes disponibles dans la région où la station est construite sont généralement utilisées en raison de leur adaptation aux conditions climatiques locales. Les zones humides peuvent être classées en fonction des plantes utilisées ou du type d'écoulement des eaux usées à travers elles. [4]

II.3.6. Les facteurs de sélection des plantes pour une station de traitement par les plantes comprennent :

Capacité d'absorption et de filtration : Les plantes doivent être capables d'absorber et de stocker efficacement les polluants et les substances nocives de l'eau ou du sol.

Croissance rapide : Il est préférable de choisir des plantes qui poussent rapidement pour obtenir des résultats plus rapides dans le traitement des polluants.

Exigences en eau : Les plantes doivent tolérer les conditions hydriques changeantes et prospérer dans l'environnement aquatique.

- Résistance aux conditions environnementales difficiles : Il est préférable de choisir des plantes qui résistent aux variations de température, à la salinité de l'eau et à la pollution.

- Capacité de reproduction : Les plantes doivent être capables de se reproduire rapidement pour maintenir leur présence dans l'environnement.

- Résistance aux ravageurs et aux maladies : Il est préférable de choisir des plantes qui présentent une résistance naturelle aux ravageurs et aux maladies.

- Compatibilité avec l'environnement : Les plantes doivent être compatibles avec l'environnement et les autres organismes vivants.

- Facilité d'entretien et d'exploitation : Il est préférable de choisir des plantes qui ne nécessitent pas beaucoup de soins et qui sont faciles à utiliser dans les processus de traitement. [33]

II.3.7. Les bassins de plantes utilisés dans le traitement des eaux usées sont de quatre types :

Les bassins de plantes à écoulement de surface libre.

Les bassins de plantes à écoulement horizontal souterrain.

Les bassins de plantes à écoulement vertical.

Les bassins de plantes à écoulement hybride (vertical + horizontal). [4]

II.3.7.1. Les filtres plantés à l'écoulement vertical :

Un filtre planté à écoulement horizontal sous-surface est un grand canal rempli de gravier et de sable sur lequel la végétation aquatique est plantée. Comme l'eau usée coule horizontalement à travers le canal, le matériau filtrant filtre les particules et les micro-organismes dégradent la matière organique.

Le niveau d'eau dans un filtre planté à écoulement sous-surface est maintenu à 5-15 cm en dessous de la surface pour assurer un écoulement souterrain. Le lit devrait être large et peu profond de sorte que le chemin d'écoulement de l'eau soit maximisé. Une zone large d'admission devrait être utilisée pour distribuer également l'écoulement. Le traitement primaire est essentiel pour éviter les colmatages et assurer un traitement efficace.

Le lit devrait être garni d'un revêtement imperméable (argile ou géotextile) pour empêcher l'infiltration dans le sol. Un gravier petit, rond et de taille égale (3–32mm de diamètre) est plus généralement employé pour remplir le lit à une profondeur de 0.5 à 1 m. Pour limiter le colmatage, le gravier devrait être propre et exempt de fines. Le sable est également acceptable, mais est plus enclin au colmatage. Ces dernières années, des matériaux alternatifs de filtration tels que le PET ont été utilisés avec succès. **Fig (13)**

L'efficacité de l'abattement du filtre est une fonction de la superficie (longueur multipliée par largeur), alors que la section (largeur multipliée par profondeur) détermine le débit maximum. La conception d'un bon dispositif de distribution uniforme de l'eau permet d'éviter les courts-circuits. La sortie devrait être de niveau variable de sorte que la surface de l'eau puisse être ajustée pour optimiser les performances du traitement. [4]

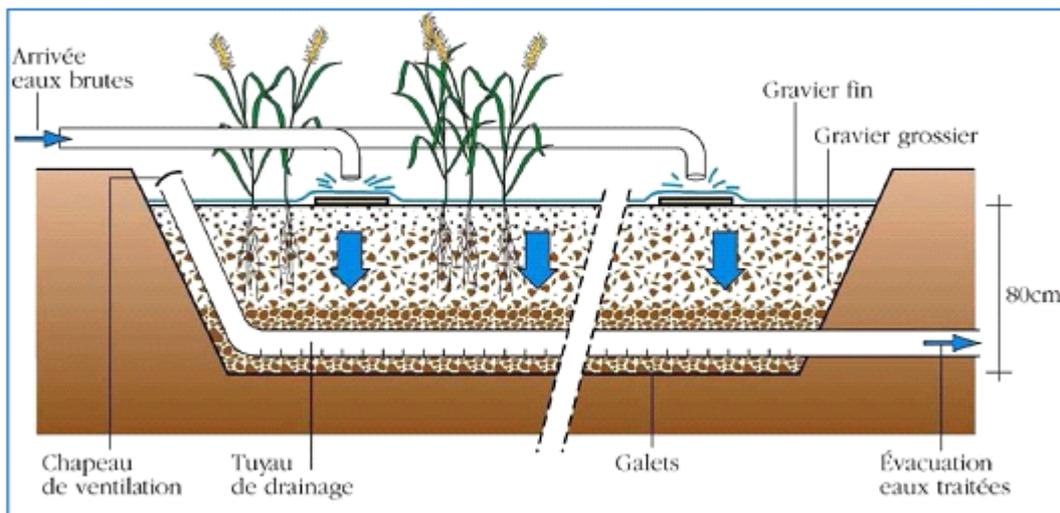


Figure 13 : Bassin phytotraité avec écoulement souterrain vertical

II.3.7.2. Les filtres à écoulement horizontal :

Le filtre planté à écoulement horizontal sous-surface est un système de traitement des eaux usées où l'eau passe à travers un canal rempli de gravier et de sable, avec des plantes aquatiques. Ce système retient les particules et décompose la matière organique grâce à des micro-organismes. Le lit est large et peu profond pour maximiser le flux d'eau, avec une couche imperméable pour éviter l'infiltration du sol. Le gravier et le sable sont utilisés comme média filtrant. Une conception appropriée assure une distribution uniforme de l'eau et une sortie réglable optimise les performances de traitement. **Fig (14)**

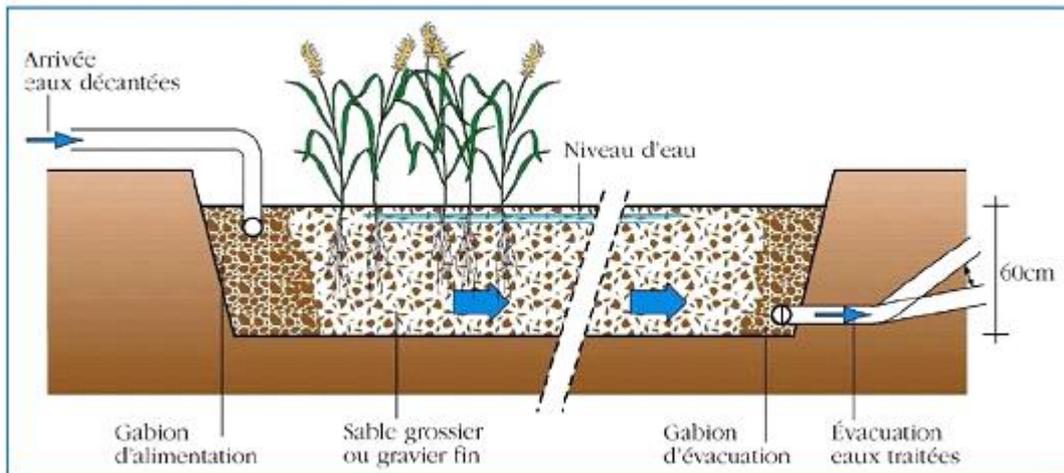


Figure 14 : Représente un bassin phytotraité à écoulement souterrain horizontal [4].

II.3.8. Les mécanismes les plus importants pour éliminer les contaminants dans les plates-bandes

Les mécanismes d'élimination sont liés à des systèmes physiques, chimiques, physiochimiques mais aussi biologiques résumés dans le tableau

Tableau N° (04): Les principaux mécanismes d'élimination des polluants dans les plates-bandes [4]

Polluants	Mécanisme de retrait principal
Matières organiques	L'analyse biologique est une décomposition microbienne aérobie et anaérobie.
Matières solides en suspension	La sédimentation physique, la filtration physique, et la décomposition biologique.
Azote	La nitrification et l'élimination biologique. Les processus d'absorption physique et chimique à l'intérieur du milieu filtrant et par les plantes.
Phosphore	Les processus d'absorption physique et chimique à l'intérieur du milieu filtrant et par les plantes.

Les métaux	L'absorption et l'échange de cations. Formation des composés. La sédimentation et l'absorption par les plantes. L'oxydation et le retour par les microbes.
Facteurs pathogènes	La filtration biologique, la mort naturelle, les processus de sédimentation et la filtration physique. La sécrétion d'antibiotiques par les racines des plantes.

II.3.9. Les avantages de la méthode de traitement par les plantes :

Une méthode écologiquement appropriée et économique qui produit de l'eau pure.

Facilité d'utilisation, aucune consommation d'énergie et aucun besoin de personnel hautement qualifié si le terrain le permet.

Capacité à traiter les eaux usées domestiques brutes.

La quantité de boues est faible.

Bonne adaptation aux variations saisonnières.

Elle est efficace pour éliminer les bactéries nuisibles et les virus. [22]

II.3.10. Les inconvénients et les désavantages :

Gestion régulière du système WWG.

La taille annuelle de la partie supérieure du roseau et l'élimination manuelle des mauvaises herbes avant la domination du roseau.

L'impact du système par la charge hydraulique des eaux usées, et le risque de blocage.

La conception pour les grandes dimensions ne peut être envisagée qu'après une étude approfondie en ce qui concerne l'adaptation des règles de dimensionnement et les conditions à remplir pour assurer le contrôle des composants hydrauliques.

Son utilisation est limitée aux petits complexes. [31]

II.3.11. Utilisations de l'eau phytotraitée :

L'eau traitée, en particulier les eaux usées urbaines traitées par les plantes, est utilisée dans les plantations pour usage agricole. Les plantes non fruitières peuvent consommer de grandes quantités d'eau, entre 75% et 85%, et cette eau est riche en nitrates et en phosphore, ce qui réduit le besoin d'acheter des engrais, et elle est libre de contaminants chimiques et biologiques. De plus, l'eau traitée peut être utilisée dans diverses industries. Les pays européens sont des exemples de pays qui utilisent de l'eau traitée par les plantes, dans certains pays comme la Suisse et les Pays-Bas, son utilisation va jusqu'à la consommation d'eau potable, et l'Allemagne et Singapour sont à la tête de la liste des pays leaders dans ce domaine. [34]

Partie pratique

Chapitre III : Présentation de la station d'étude

III.1. Présentation de la zone de Témacine :

La municipalité de Témacine est située dans le sud-est du pays, sur la grande bande du désert, à l'intérieur du bassin de Righ, dans sa partie sud. Sur les coordonnées latitude : 33°01' Nord et longitude : 06°01' Est [37]

Administrativement, elle appartient à la wilaya de Touggourt. Elle est à 12 km de Touggourt, 150 km de Ouargla et 650 km d'Alger, la capitale. Ses limites sont :

- Au sud, la ville d'Omar (Daïra de Témacine)
- Au nord, la municipalité d'El Nouzla (Daïra de Touggourt)
- À l'est, la municipalité d'El Méneguer (Daïra d'El Tayabat)
- À l'ouest, la municipalité d'El Alia (Daïra d'El Hadjira)

La superficie de Témacine est de 300 km² accueillant une population est d'environ 25 000 habitants. [36.35]

La municipalité de Témacine se compose de quatre grands quartiers :

1. Quartier de Témacine (l'ancien palais)
2. Quartier de Tamalhat
3. Quartier des Bahour
4. Quartier Sidi Amar



Figure 15: Coordonnées géographiques

III.1.2 Conditions climatiques :

Cette région est connue pour son climat très chaud. Pour une meilleure description du climat de la région, nous avons utilisé les données collectées par l'Office national de la météorologie (M.N.O) à Sidi Mahdi pour l'année 2019.

- Température : Elle se caractérise par un été chaud et sec avec une température maximale annuelle moyenne de 30,9°C, et parfois elle dépasse les 40°C pendant le mois de juillet. Cependant, ses hivers sont froids et rigoureux avec une température minimale annuelle moyenne de 16,3°C, et le gel se produit certains jours d'hiver.
- Précipitations : Temacine est une région aride connue pour sa rareté et l'irrégularité de ses précipitations. Selon les données météorologiques, la distribution des précipitations est presque entièrement sèche en été et atteint un maximum en janvier avec 16,86 mm, alors que le nombre total de jours pluvieux pendant l'année est de 13 jours.
- Humidité : La région se caractérise par une faible humidité relative de 65,6%.
- Vent : Les vents soufflent généralement dans Temacine car c'est une région sablonneuse, surtout en avril et mai, avec une vitesse moyenne annuelle du vent de 13,1 km/h. Ce sont des vents chauds et secs appelés Sirocco (localement appelés Shihili), et des tourbillons de sable se forment souvent. Le total des jours de tempête au cours de l'année est de 8 jours. [35. 36, 37]

III.2. Présentation de la station de filtration à Temacine:

Après plusieurs discussions avec le Ministère des Ressources en Eau, la Direction de l'Assainissement et de la Protection de l'Environnement (MRE/DAPE) et les notables du village suite à une réunion organisée par le Cheikh de la Zaouïa Tidjania de Temacine et l'association (Chams) pour discuter des conditions du futur développement durable en 2004, puis la demande de présentation d'appels d'offres financés par la Coopération Technique Belge, en local avec le soutien de la municipalité de Temacine, la première station d'épuration des eaux usées par les plantes a été établie au niveau national principalement dans la région du vieux palais de Temacine, en Juillet 2007.

La gestion actuelle de la station est assurée par l'Office National de l'Assainissement (ONA) qui veille aux normes d'exploitation de la station (WWG). Le bassin contient environ 941 plantes connues pour leur capacité à vivre dans un environnement aquatique qui ont été plantées au début de l'année 2006, provenant de 23 espèces différentes. Compte tenu des conditions climatiques devenues difficiles à cause des vagues de chaleur, surtout en été, de nombreuses plantes ont été détruites et remplacées par d'autres plantes sous la supervision de l'Institut National de Recherche Agricole (INRA) à Sidi Mahdi. [40.39]



Figure 16 : la station WWG à Tamassine

Les composants du système WWG dans une station de filtrage :

III.2.1. Présentation de la station pilote WWG :

La station expérimentale de WWG à l'ancien Ksar de Témacine a été principalement créée pour traiter $15 \text{ m}^3/\text{jour}$ d'eaux usées pour une production de 100 personnes, soit 150 L par habitant/jour. La station est actuellement gérée par l'Office National d'Assainissement qui surveille les paramètres de fonctionnement et suit les plantes du bassin WWG. Les eaux usées sortantes passant par le filtre de la fosse septique subissent un premier traitement qui dure 3 jours, puis sont acheminées par gravité et sous terre vers le bassin WWG où elles subissent un second traitement qui dure au moins 05 jours pour augmenter le taux d'épuration. Lors de son démarrage en 2006, 1000 plantes représentant 23 espèces ont été implantées dans le bassin WWG. En raison des conditions climatiques difficiles causées par les vagues de chaleur en particulier en période estivale, de nombreuses plantes ont été détruites et remplacées par d'autres plantes dirigées par l'Institut National de Recherche Agricole (INRA) de Sidi Mahdi, selon des méthodes étudiées. **Fig (17)**



Figure 17 : représente Le bassin WWG

III.2.2 Les dimensions de la station sont les suivantes :

Le temps de résidence des eaux usées dans la fosse septique est de 3 jours.

Le temps de résidence dans le bassin WWG est de 5 jours pour augmenter le taux d'épuration de l'eau. Le niveau de l'eau dans le bassin est de 0,55 mètre, recouvert par une couche de gravier de 10 à 15 cm. Le volume total de la fosse septique est de 45 m³.

Le volume total de la surface du bassin WWG est de 400 m². Le volume total, y compris le gravier, est de 260 m³, dont seulement 88 m³ pour l'eau.

Des murs de ralentissement du flux de l'eau ont été ajoutés à l'intérieur du bassin pour s'assurer que les eaux résident le temps nécessaire.

III.2.3 Fosse septique et ses composants :

La fosse septique se compose principalement de trois (03) compartiments interconnectés par des conduites de 400 mm. La vitesse de l'effluent des eaux usées est ralentie par la présence d'un mur à l'entrée de la fosse septique, qui s'élève à 0,80 m du sol. Le volume d'eau dans la fosse septique est estimé à 45 m³. Les composants de la fosse septique sont illustrés dans la figure. **Fig (18)** [38.39]



Figure 18 : Vue d'ensemble du réservoir d'égouts

III.2.4 Filtre de fosse septique

Le filtre a été créé avec un tube de 500 mm de diamètre, équipé d'un support initial fait d'un grillage en plastique rempli de fibres de palmier. Ce matériau, connu sous le nom de "Al-Yef nakhil", est très disponible localement et peut être changé fréquemment. Il sert à filtrer les eaux usées après la phase de sédimentation pour retenir toutes les particules solides fines afin d'assurer qu'aucun blocage ne se produit dans le bassin WWG. [38-39] **Fig (29)**



Figure 19 : Filtre de réservoir

III.2.5 Le bassin WWG :

Le bassin WWG est une zone humide artificielle avec un flux horizontal sous la surface du sol. Sa capacité est de 15 m³ d'eaux usées par jour, équivalent à la production de 100 personnes à raison de 150 L par individu par jour. Le volume total du bassin est de 400 m³, comprenant une épaisse couche de gravier de 88 m³ et le volume restant de 260 m³ pour l'eau et les plantes plantées. Le bassin contient un certain nombre et un certain type de plantes plantées d'une certaine manière pour garantir un traitement optimal des eaux usées. Voici une vue d'ensemble du réservoir d'assainissement et du filtre de réservoir: Selon les méthodes étudiées, ces plantes sont : (**Typha latifolia** **Cyperus papyrus** **Cana** **Juncus effusus**). Des cloisons sont ajoutées dans le bassin pour ralentir le débit d'eau et veiller à ce que l'eau reste dans le bassin WWG pendant le temps nécessaire pour le traitement. [40] (Fig. 20)

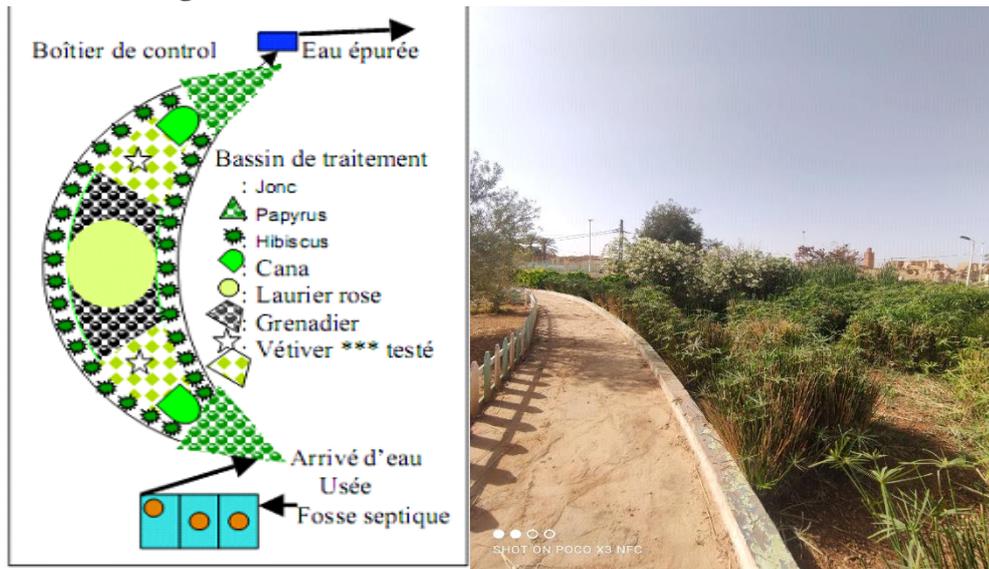


Figure 20 : représente un schéma du bassin WWG [41]

III.3. Système de flux à l'intérieur de la station

La station d'épuration de Tamassin fonctionne selon le principe du "flux horizontal submergé". Il s'agit d'un grand bassin rempli de gravier qui agit comme un milieu filtrant pour éliminer les matières solides, une surface fixe permettant aux bactéries de s'y fixer, et une base pour la couverture végétale. L'eau traverse la matière de remplissage (le gravier) sous la surface selon un flux horizontal par l'intermédiaire d'un système de distribution situé à l'entrée du bassin. Le bassin est alimenté en continu et est toujours saturé en eau. Pour éviter les obstructions, le gravier doit être propre et exempt de sédiments. [40]

La durée de séjour des eaux usées dans le réservoir d'assainissement est de 3 jours, avec une durée de séjour supplémentaire de 5 jours dans le bassin WWG. Le débit moyen des eaux traitées est de 15 m³/jour, avec une superficie de bassin de traitement de 400 m². Le volume total du réservoir d'assainissement est de 45 m³, avec un niveau d'eau dans

le bassin de 0,55 m et une épaisseur de couche de gravier de 90 cm. Le volume d'eau dans le bassin est de 88 m³.

Des cloisons ont été ajoutées pour ralentir le flux d'eau à l'intérieur du bassin, assurant ainsi que l'eau reste dans le bassin pour la durée nécessaire au traitement. Cela garantit que tout volume d'eau entrant est correctement traité avant d'être évacué, contribuant à une meilleure qualité de l'eau et à une élimination plus efficace des contaminants. [39]

III.3.1. Quelques plantes utilisées dans le bassin WWG de Temacine :

Le bassin WWG de Temacine compte des nombreuses plantes dont 8 espèces tel que le jonc (*Juncus effuse*), le laurier, le Papyrus, le Canna, Washingtonia, Hibiscus, la massette et le Faux Bananier (figure 21)



Figure 21 : plantes utilisée dans le bassin WWG de Temacine

III.3.2. Le boîtier de contrôle :

Le boîtier de contrôle, généralement situé dans l'unité de traitement WWG ou à l'extérieur comme dans le cas de la station pilote WWG de Témacine, est en béton armé et est conçu pour être imperméable. Son rôle est de contrôler le niveau d'eau dans l'unité et de faciliter l'écoulement de l'eau traitée vers la zone de drainage, également appelée filtre vert. Ce filtre vert est une zone verte supplémentaire où les plantes bénéficient des nutriments présents dans les flux. [38.39] **Fig (22)**



Figure 22 : Le boîtier de contrôle

III.3.3. Zone de vidange :

Le système comprend une zone où les eaux usées sont évacuées après traitement. Cette zone a été établie comme un site expérimental où 138 plantes de 17 espèces ont été plantées, y compris des oliviers. Cependant, une salinité élevée dans le sol a entraîné la mort de nombreuses espèces..



Figure 23 : l'aire de drainage de la station

III.3.3.1. Dimension :

Le système est composé d'un réseau de drainage gravitaire souterrain de 468 mètres, réparti en six zones principales. Des tests répétés ont été effectués pour garantir une répartition équitable entre ces différentes zones.

L'eau qui passe par le boîtier de contrôle du bassin WWG est ensuite dirigée vers deux conduites principales. [38,39]

III.3.3.2. Types de drains :

Les conduites de drain sont des tubes de 63 mm de diamètre sectionnés manuellement tous les 10 à 15 cm, et posées sur une couche de 0,5 à 0,7 m de gravier, recouvert par une couche de 5 cm de gravier et enfin par de la terre. Les eaux sont distribuées par des conduites de 110 mm de diamètre qui se connectent ensuite par des réductions aux lignes de drain proprement dites.

III.3.3.3. Sécurité du drainage :

A la demande des services de l'hydraulique de Témacine et afin d'assurer une sécurité additionnelle, une conduite supplémentaire a été ajoutée à la sortie du boîtier de contrôle afin d'évacuer les eaux en cas de non fonctionnement du réseau de drainage (saturation des sols) et accumulation d'eau dans le boîtier de contrôle, puis remontée des eaux dans le bassin Waste Water Gardens lui-même. Il a été placé à 8 cm environ au-dessus de fil d'eau de la conduite de drainage vers le réseau des 468 mètres. [40]

III.3.3.4. Irrigation souterraine :

Un système de drainage souterrain couvrant une surface de 468 m² a été installé, divisé en 6 zones principales pour l'irrigation souterraine. Des vannes ont été placées au début des conduites pour contrôler l'irrigation des plantations dans la zone de drainage utilisée comme site expérimental. A cet effet, un boîtier a été installé avec un système de tuyaux flexibles afin de pouvoir arroser manuellement ces nouvelles plantes. L'excédent des eaux traitées est évacué vers le canal de décharge de l'oued Righ.

Chapitre IV : Méthodes d'analyse des eaux

IV.1. Collecte et analyse des données

L'étude analytique des facteurs polluants des eaux, qu'ils soient physiques ou chimiques vise à déterminer le degré de pureté obtenu grâce aux plantes plantées au milieu du bassin WWG de l'Ancien Ksar Temacine. Pour généraliser l'étude du bassin, celui-ci a été divisé en deux points de prélèvement pour les échantillons des eaux usées à savoir l'entrée et la sortie du bassin. Il est important de signaler que les analyses de ces échantillons ont été réalisées par les techniciens du laboratoire.

IV. 1.1. L'analyse physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques de l'eau ont été réalisées par les techniciens au laboratoire de la station d'épuration des eaux usées (Office National d'Assainissement de Touggourt).

IV. 1.1. a. Détermination de la conductivité électrique :

Pour déterminer la conductivité électrique, les techniciens ont utilisé les appareils suivants : Conductimètre , Béchers ou fioles

- Conductivité électrique : $CE = 3,88 \text{ ms/cm}$

IV. 1.1. b. Détermination de la Potentiel d'Hydrogène pH :

Pour déterminer le pH on a utilisé les appareils suivants :

- pH Mètre
- Des béchers ou des fioles

IV. 1.1. c. Mesure de la température :

la température a été mesurée avec un analyseur multi-paramètres. Il est également possible d'utiliser un appareil de mesure de la conductivité et de la salinité pour mesurer la température du milieu aquatique.

- Une fois que la lecture a stabilisé, enregistrez les résultats (concentration, saturation, et pression partielle d'oxygène) directement à partir de l'appareil.

IV.1.2. Pour mesurer la conductivité électrique (CE) : vous pouvez utiliser un appareil de mesure de la conductivité du type 5 sension Conductivité.

Méthode d'opération :

- Connectez l'électrode spécifique pour mesurer la conductivité à son emplacement prévu sur l'appareil.
- Rincez l'électrode avec de l'eau distillée.
- Insérez l'électrode dans un bécher contenant l'échantillon.
- Lisez la valeur de la conductivité électrique directement à partir de l'appareil une fois qu'elle s'est stabilisée.

IV. 1.1. d. Mesure de **la salinité** :

- Vous pouvez utiliser l'appareil de mesure de la conductivité de type i340 Cond pour mesurer la concentration de salinité qui sera en unités mg/l.

En général, ces mesures sont très importantes pour déterminer les caractéristiques de l'eau, ce qui permet ensuite de déterminer la meilleure voie de traitement et d'élimination.

IV. 1.1. e. Mesure des **matières en suspension (MES)** :

L'objectif de cette analyse est de déterminer la matière en suspension dans l'eau traitée. La proportion de matières en suspension (MES) est mesurée selon la NFT 105-109, en utilisant deux méthodes :

- Première méthode : la méthode de filtration, que nous utilisons lorsque l'eau contient peu d'éléments en suspension.

- Deuxième méthode : la méthode de centrifugation, que nous utilisons lorsque l'eau contient une forte proportion de matières en suspension.

La séparation des matières en suspension (MES) de l'eau se fait par centrifugation à l'entrée du bassin. L'échantillon est mis en rotation à grande vitesse, ce qui permet à la force centrifuge de rassembler les particules solides au fond du tube sous forme d'un culot. Ce culot est ensuite prélevé, séché à 150 °C, puis pesé. Le résidu sec obtenu correspond aux MES contenues dans l'échantillon.

La séparation des MES de l'eau à la sortie du bassin se fait également par centrifugation, suivie d'une filtration. Cette technique est adaptée aux échantillons peu chargés. Le papier filtre est laissé à sécher pendant une journée, après quoi le facteur des MES peut être calculé à l'aide de la formule ci-dessous.

La teneur de l'eau en matière en suspension (mg/l) est donnée par l'expression suivante :

$$\text{(mg/l)} \frac{M_1 - M_0}{V} \times 100$$

Avec

M0 = masse de papier filtre avant l'utilisation en (mg) M1 = masse de papier filtre après l'utilisation en (mg) V = volume d'eau utilisé en (ml)

IV.1.6. Mesure de **la demande chimique en oxygène (DCO)** :

La demande chimique en oxygène (DCO) est mesurée par la méthode d'oxydation au bichromate de potassium dans un milieu acide, en présence de sulfate d'argent et de

sulfate de mercure, à l'aide d'un spectrophotomètre (3900DR). Nous utilisons la méthode de digestion par réacteur. Pour nos mesures de DCO, nous employons des capsules contenant le réactif commercial préalablement préparé.

Outils et équipements nécessaires :

- Spectrophotomètre, DR3900.
- Générateur de chaleur, Réacteur Thermo.
- DCO(LCK514) - réactif.
- Un porte-becher.
- Pipette et eau distillée.
- Réactif LCK514 (DCO).

Méthode de travail :

- Mélangez bien une capsule contenant les réactifs pour mélanger les matières déposées.
- Prenez 2 ml de l'échantillon avec une pipette propre et versez-le sur la paroi intérieure du tube (capsule) contenant le réactif de manière à ce que la capsule soit inclinée.
- Fermez bien la capsule et agitez-la.
- Chauffez la capsule pendant 2 heures à 148°C dans le générateur de chaleur.
- Retirez la capsule du réacteur Thermo et laissez-la refroidir sur un support pendant 10 minutes.
- Après 10 minutes, agitez bien le tube, puis laissez-le refroidir à température ambiante pendant environ 30 minutes ou plus.
- Après le temps de refroidissement, placez la capsule dans le spectrophotomètre 3900DR.
- Lisez la valeur de la DCO directement à partir de l'appareil, le résultat reste stable pendant un certain temps.



Figure 24 : Spectrophotomètre DR3900

IV.1.7. Mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO₅):

La demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO₅) est un indicateur de la quantité d'oxygène nécessaire pour que les micro-organismes présents dans l'eau décomposent la matière organique sur une période de cinq jours. Elle est souvent utilisée pour évaluer la qualité de l'eau et son degré de pollution organique. Une DBO₅ élevée indique une forte présence de matière organique biodégradable, ce qui peut signifier une pollution importante et un potentiel impact négatif sur les écosystèmes aquatiques, car la décomposition de cette matière consomme de l'oxygène dissous nécessaire à la vie aquatique. Outils et matériaux requis :

- Appareil de mesure de la DBO₅.
- Tige magnétique.
- Incubateur (20°C).
- Flacon isolé de lumière avec une capacité de 500 ml équipé d'un bouchon intérieur et extérieur.
- Pincettes
- Un erlenmeyer de calibration.
- Du hydroxyde de sodium.



Figure 25: Matériel utilisé pour déterminer la valeur de DCO

La méthode utilisée dans le traitement de l'eau et sert à déterminer le volume de l'échantillon à analyser pour mesurer la demande biochimique en oxygène (DBO₅).est la suivante :

1. Premièrement, vous devez déterminer la demande chimique en oxygène (DCO) de l'échantillon. Vous pouvez le faire en utilisant la méthode que vous avez décrite précédemment.

2. Une fois que vous avez obtenu la DCO, utilisez la relation suivante pour estimer la DBO₅ :

$$DBO_5 = DCO \text{ (mg/l)} \times 0,85$$

Par exemple, si la DCO est de 100 mg/l, la DBO₅ estimée serait de 85 mg/l.

Tableau N° (05): Le coefficient de variation de la valeur de la DBO₅ en fonction du volume de l'échantillon utilisé.

Gouttes d'inhibiteur	Facteur f	Volume d'échantillon (ml)	champ de mesure
9	1	432 ml	40-0
7	2	365 ml	80-40
5	5	250 ml	200-80
3	10	164 ml	400-200
2	20	97 ml	800-400
1	50	43.5 ml	2000-800
0.5	100	22.5 ml	4000-2000

1. Lavez les deux flacons avec de l'eau distillée et placez une tige magnétique dans chaque flacon.
2. Utilisez une pipette pour mesurer la quantité d'échantillon nécessaire pour l'analyse, puis versez-la dans les flacons.
3. Ajoutez quelques gouttes d'inhibiteur dans le flacon.
4. Utilisez des pinces pour ajouter deux pastilles de KOH à l'intérieur du capuchon du flacon.
5. Fermez hermétiquement les flacons avec le dispositif OXI TOP.
6. Placez les flacons sur un agitateur à une température de 20°C et laissez-les pendant une demi-heure afin d'atteindre un équilibre, puis fermez hermétiquement les flacons.
7. Prenez une lecture tous les jours pendant 5 jours. A la fin, soustrayez les résultats obtenus deux jours consécutifs, additionnez les résultats, et multipliez le total par le coefficient.
8. Calcul du résultat : La valeur DBO₅ est calculée par la relation suivante : Coefficient x valeur de lecture = DBO₅.

IV.1.8. Valeur de lecture : c'est la valeur obtenue à partir de l'appareil.

Coefficient : il est déterminé à partir du tableau qui établit la relation entre la valeur de DBO₅ et le volume de l'échantillon, car la demande biochimique en oxygène de l'échantillon est liée à la quantité de matières organiques en suspension. La valeur DBO₅ représente 80 % de la valeur de DCO.

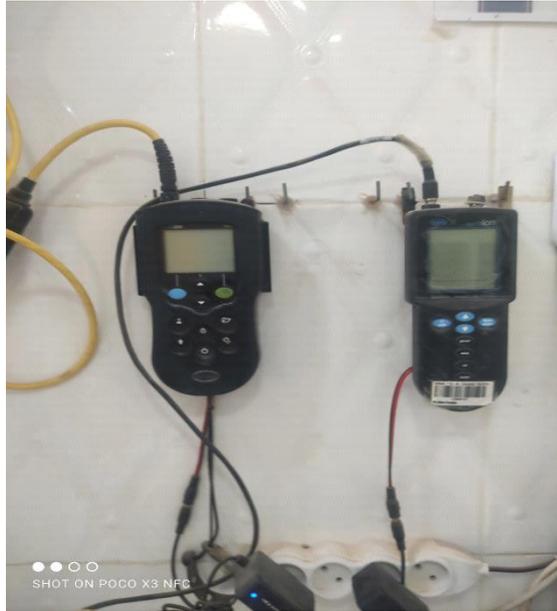


Figure 26 :Appareille de Conductimètre



Figure 27 : Béchers



Figure 28 : Réactif



Figure 29 : Béchers



Figure 30 : DBO mètre



Figure 31 : Etuve

Matériel utilisé pour détermine la valeur de DBO

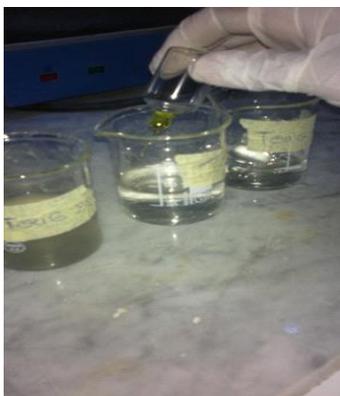


Figure 32 : l'Appareille de Chlorométrie



Figure 33 : Les réactifs
Matériel utilisé pour détermine la valeur d'Azote total

Chapitre V : Résultatset discussion

V. 1. Réutilisation des eaux usées épurées :

V.1. 1. Réglementation Algérienne de REUE:

Pour une meilleure protection de l'environnement, l'eau traitée doit satisfaire certaines normes de rejet ; qui sont données dans le tableau. Ci-dessous (Tab...) par rapport aux respects des normes d'utilisation des eaux épurées et aux risques de contamination par ces eaux épurées.

Tableau n 06 : Normes de rejet pour l'irrigation (Normes Algériennes)

Paramètre	unité	Valeurs seuil
Température	°C	< 30
Ph	-	6.5 à 8.5
Oxygène dissout(*)	mg O2/l	> 5
MES	mg/l	< 30
DBO5	mg/l	< 40
DCO	mg/l	< 90
Azote total	mg/l	< 50
Phosphore (PO4)	mg/l	< 02
Huile et graisse	mg/l	< 20
Coliformes fécaux(*)	nombre de CF/100mL	<1000 CF/100MI

Source : ANRH (ALGER)

La réglementation algérienne de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture a été préparé par les structures algériennes responsables pour l'introduction des EUE comme alternatives efficaces contre la pénurie des eaux conventionnelles à l'échelle national.

Dans les zones sahariennes, les ressources en eaux souterraines sont vulnérables et non renouvelables, la réutilisation des eaux usées traitées on respectant les normes cité en (ANNEXE 04) apparait comme une solution très conseillé.

Tableau 7 : Normes de réutilisation des eaux usées épurées

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO *(1985)	OMS **(1989)	JORA(2012)
pH		6,5-8,4 *		6,5-8,5
CE	ds/m	<0,7 * Aucune restriction 0,7 – 3,0 * restriction légère à modérée > 3,0 * Forte restriction		3
MES	mg/l	<30**		30
DCO	mg O ₂ /l	< 40 **		90
DBO ₅	mg O ₂ /l	<10 **		30
NO ₃ ⁻	mg/l	50 **		30
NO ₂ ⁻	mg/l	< 1 **		Non disponible
NH ₄ ⁺	mg/l	< 2 **		Non disponible
PO ₄ ³⁻	mg/l	< 0,94 **		Non disponible
SAR	meq/l	<3* Aucune restriction 3-9* restriction légère à modérée >9* Forte restriction		Non disponible
Coliformes totaux	UFC/100ml	Non disponible		Non disponible
Streptocoque fécaux	UFC/100ml	1000 **		Non disponible
Salmonelles	UFC/ 1L	Absence **		Non disponible

V.1. 2. Critères de qualité des eaux pour l'irrigation

La réutilisation des eaux usées épurées « REUE » est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages.

Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale.

Les principales utilisations des eaux usées épurées sont :

- *Utilisations agricoles* : l'irrigation la plus répandue, permettant d'exploiter la matière fertilisante contenue dans ces eaux réalisant ainsi une économie d'engrais ;
- *Utilisations Municipales* : arrosage des espaces verts, lavage des rues, alimentation de plans d'eau, lutte contre les incendies, l'arrosage des terrains de golf, des chantiers de travaux publics, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes.
- *Utilisations industrielles* : refroidissement ;
- *Amélioration des ressources* : recharge des nappes pour la lutte contre les rabattements des nappes et la protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer. [21]

V.2. Résultats d'analyses physico-chimiques

Pour évaluer le degré de pollution des eaux usées de la station d'épuration par plantes du vieux Ksar Temacine, les techniciens ont analysé plusieurs paramètres en fonction du type de pollution : particulaire, organique, azotée, phosphorée. Ils ont également évalué les paramètres physico-chimiques.

D'après le tableau des analyses réalisé par la STEP de Temacine pour le mois d'avril 2024 (Tab. 06), les valeurs de DBO₅ et DCO à l'entrée, respectivement de 110 et 220 mg/l, ont significativement diminué à la sortie, atteignant respectivement 6,00 et 24,0 mg/l.

Tableau N° (08): Analyse par la STEP de temacine pour le mois d'avril 2024 (STEP, temacine 2024)

Paramètres** de l'autosurveillance	Débit moyen (l)	MES (mg/ l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	N-NH ₄ (mg/l)	N-NO ² (mg/l)	N-NO ₃ (mg/l)	NTK (mg/ l)	NT (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	PT (mg/ l)	O ₂ disso us (mg/ l)	Salinit é(mg/ l)	Conducti vité (μS/cm)	T (c°)	pH
Entrée STEP *(eau brute)	12.5		110.00	220.00		0.380	1.28					0.9 0	1.50	2.95	22.5	7.84
Nbr d'analyses /moins (eau brute)	30		2	2		1	1					1	1	1	1	1
Sortie STEP *(eau épurée)	12.0		6.00	24.00		0.018	0.33					2.2 8	1.22	2.06	21.8	6.84
Nbr d'analyses /moins (eau épurée)	30		2	2		1	1					1	1	1	1	1

Ce résultat à la sortie montre le bon potentiel de l'épuration pour cette période. D'après le tableau des normes de l'OMS 1971 et les normes fixées par la loi de l'eau qui stipule que les normes de réutilisation des eaux épurées sont de pour DBO et de pour le DCO on estime que la qualité des eaux de la STEP de Temacine sont de qualité acceptable pour le DBO « 10 » Et de qualité le DCO qui est « 25 »

Tableau N° (09) : Normes de l'OMS sur les eaux usées (OMS 1971).

Paramètres	Bonne ou très bonne qualité	Qualité acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise
O ₂ dissous mg/l	>5	≥3	≥1	<1
O ₂ dissous %	≥70	≥50	≥10	<10
DBO ₅ mg / l	≤5	≤10	25	>25
DCO mg / l	≤25	≤40	80	>80
NO ₃ mg / l	≤25	≤50	80	>80
NH ₄ ⁺ mg / l	≤0.5	≤2	8	>8
NO ₂ ⁻ mg / l	≤0.3	≤1	>1	-
NTK mg / l	≤2	≤3	10	>10
PO ₃₋₄ mg / l	≤0.5	≤1	2	>2
MES mg / l	≤70	-	>70	-
Phosphore total mg / l	≤0.3	≤0.6	1	>1
Conductivité	≤2	-	2000	-
Ph	≥6.5 et ≤ 8.5	-	<6.5 ou >8.5	-

Ces résultats viennent confirmer ceux obtenus dans les travaux antérieurs de GHRISSI et TOUATI (2018), qui, à travers des analyses physico-chimiques sur trois mois (février, mars, avril), ont démontré la bonne performance de cette station. Les résultats obtenus dans cette étude montrent que le rendement épuratoire par plante est très élevé pouvant atteindre 96% en fonction de l'élément traité. Pour Le NO₂ le rendement varie entre (54.28%- 57.14%), le NO₃, de 56.25% Jusqu'à 63.33%, le NH₄, de 52.07% Jusqu'à 57.60%, le PO₄ de 91.05% jusqu'à 92.99%, les MES de 86.36% jusqu'à 96.45%, DCO de 75.33% jusqu'à 94.41%, DBO₅ de 90% jusqu'à 95%, et NT de 61.63% jusqu'à 72.74% [43].

Le coefficient K est inférieur à 2, ce qui correspond à des effluents biodégradables ce qui est logique avec des eaux domestiques correspondant à la région du Ksar de Temacine [43].

Cette étude [43] a souligné également que cette station souffre de quelques obstacles résumés dans les points suivants :

- Grande salinité dans la zone de drainage
- Certaines plantes ne s'adaptent pas à la zone en raison des conditions climatiques rendues difficiles par les vagues de chaleur particulièrement en période estivale. Depuis son installation, beaucoup de plantes ont été détruites et remplacées par d'autres plantes sous la direction de l'institut National de Recherche Agricole (l'I.N.R.A) de Sidi Mahdi, selon des méthodes étudiées
- L'eau traitée présente une faible odeur en raison de la persistance d'une quantité significative de nitrates.
- Le faible débit des eaux usées à l'entrée de la station est dû à la faible densité de population, ce qui provoque l'obstruction des canaux de transport.

V. Présentation de Cas d'étude II : La station de Tafilalt

Voici une autre station de traitement des eaux usées par les plantes. Cette station, située à Ghardaïa, dans la région de Tafilalt, purifie les eaux usées et les réutilise pour l'irrigation des plantes.

V.1. DESCRIPTION

- Dénomination : Eco-Parc TAFILELT Tajdit
- Site : Beni Isguen - GHARDAÏA
- Maître de l'ouvrage : Fondation Amidoul
- Réalisation : EURL Amidoul
- Secteur d'intervention : Valorisation des ressources et des patrimoines
- Lieu d'implantation : Ksar TAFILELT Tajdit - Beni Isguen.
- Travaux lancés : Octobre 2013
- Surface globale : 06 Hectares

Ce projet, géré par la Fondation Amidoul et réalisé par EURL Amidoul, se situe à Beni Isguen à GHARDAÏA. Il a été lancé en octobre 2013 et s'étend sur une surface globale de 6 hectares.

C'est un projet merveilleux qui a transformé la zone rocailleuse en un écosystème florissant, tout en conservant les précieuses ressources d'eau. Il comprends :

1. Création d'un parc de verdure : L'objectif principal est de greener la zone rocailleuse environnante. Cela non seulement améliore le paysage, mais fournit également un habitat pour diverses espèces d'animaux et de plantes, favorisant ainsi la biodiversité.
2. Jardin botanique : Centré autour de différents concepts clés tels que le respect de la nature et l'éco-citoyenneté, le jardin botanique abritera

diverses plantes et arbres, ce qui contribuera à l'éducation environnementale.

3. Sentiers pédestres ombragés : Les sentiers de promenade ombragés par les palmiers et les arbres fruitiers offrent un endroit pour se promener et apprécier la beauté naturelle de l'oasis. Cela encouragera également l'activité physique et le bien-être parmi les résidents.

4. Préservation des espèces menacées : En incluant des arbres fruitiers et des arbustes ornementaux menacés de disparition comme le figuier, le grenadier, le rosier et le jasmin, le projet contribue à la préservation de ces espèces importantes.

5. Sentier fleuri et aromatisé : Un sentier flanqué de fleurs d'un côté et d'herbes aromatiques de l'autre ajoutera une dimension sensorielle à l'expérience, ajoutant au plaisir de vivre et à la recherche de l'harmonie.

Il s'agit d'une activité de grande envergure tant par sa dimension et la richesse de ses centres d'intérêts, que par sa portée sociale, qui ne se limite pas aux habitants du Ksar, mais à toute la population de la vallée du M'zab et de la wilaya.

Développer d'autres espaces verts (fig. 34) puisque l'actuel ne peut suffire à consolider tous les aspects culturels que tente de revêtir le projet.

Rapprocher le citoyen de la nature et de son environnement en général, constitue une action indispensable aboutissant à cette communion des esprits qui fait de la solidarité, un acte de foi sereinement consenti.



Ce projet est un plan très bien pensé qui combine les efforts des sciences et de l'environnement pour créer un système durable et enrichissant. Voici une contribution supplémentaire en trois étapes

1. Station d'épuration des eaux usées : L'installation d'une petite station d'épuration des eaux usées permettra de préserver les précieuses ressources en eau de l'oasis. Les eaux usées traitées peuvent être utilisées pour irriguer le parc, ce qui réduit le besoin en eau fraîche.

2. Gestion des déchets : La collecte, le tri et le traitement des ordures ménagères seront cruciaux pour maintenir l'hygiène et la propreté de l'écosystème. Cela aidera non seulement à réduire la pollution, mais aussi à utiliser efficacement les déchets comme source potentielle de compost pour l'amélioration du sol.

3. Laboratoire de recherche en biologie : Ce sera un excellent ajout pour aider à surveiller et maintenir la santé de l'écosystème local.

a. Analyse de l'eau : Les tests réguliers de l'eau aideront à identifier les changements ou les problèmes potentiels de la qualité de l'eau, ce qui est crucial pour la santé des plantes, des animaux et des humains dans la région.

b. Analyse biologique des boues : En examinant la composition biologique des boues, nous pouvons déterminer la façon dont elles peuvent être utilisées pour améliorer l'agriculture et enrichir le sol.

c. Analyse des plantes : En étudiant les plantes locales et cultivées du site, nous pourrions découvrir de nouvelles substances actives utiles qui pourraient avoir des applications potentielles en médecine, en agriculture et dans d'autres domaines.

Le projet Eco-Parc TAFILELT Tajdit semble réunir toutes les conditions pour un impact positif sur l'environnement.

La valorisation des ressources et des patrimoines étant son principal secteur d'intervention, l'Eco-Parc TAFILELT Tajdit vise à préserver et à faire fructifier les atouts naturels et culturels du Ksar TAFILELT Tajdit. Par les efforts combinés de conservation de la biodiversité, d'éducation environnementale et de promotion des traditions locales, le projet a tout le potentiel pour être un symbole de durabilité et d'eccentrisme écologique.

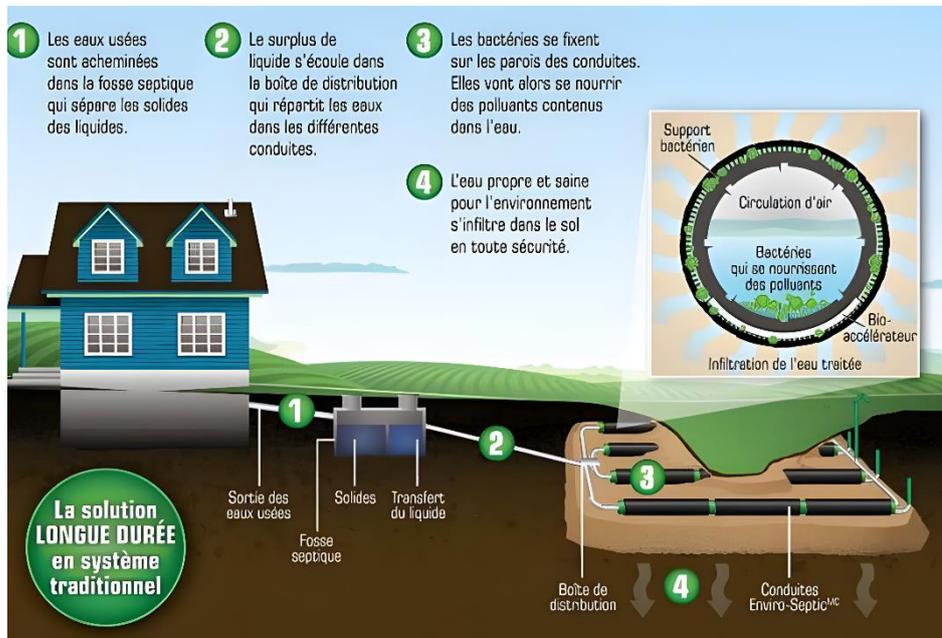


Figure 35 : la solution longue durée en système traditionnel

V.1.1 Étape 1 :

D'abord, l'effluent de la fosse septique (traitement primaire) est distribué uniformément dans les lignes de conduite Advanced Enviro-Septic grâce à la boîte de distribution ou tout autre moyen de répartition.

L'effluent dans la conduite est refroidi à la température du sol. Les graisses et les matières en suspension se séparent de l'effluent refroidi.

Les crans d'écumage retiennent une partie supplémentaire des graisses et des matières en suspension de l'effluent qui quittent la conduite.

Les entailles obliques sur toute la circonférence de la conduite permettent le passage libre de l'effluent, facilitent son refroidissement et favorisent le passage de l'air.

Le Bio-Accélérateur retient une autre partie des matières en suspension de l'effluent, aide à l'implantation des bactéries responsables du traitement et favorise la distribution des eaux le long de la ligne de conduite.

V.1.2.Étape 2 :

L'eau est ensuite évacuée par les perforations situées sur le pourtour intérieur de la conduite et à travers les pores des membranes synthétiques qui la recouvrent. L'alternance des liquides dans les conduites et l'apport d'air augmentent l'efficacité de l'activité bactérienne autour de la conduite. Ces membranes facilitent l'ancrage d'une culture microbienne qui favorise le traitement des eaux usées ainsi que la distribution longitudinale.

V.1.3.Étape 3 :

L'effluent traverse ensuite la membrane géotextile extérieure qui empêche le sable d'entrer dans la conduite. D'autres bactéries se fixent à cette surface.

Par capillarité, le sable s'imbibe du liquide provenant des géotextiles, ce qui permet également à l'air de nourrir les bactéries qui se développent sur le pourtour de la conduite.(figure

Le géotextile extérieur et le matelas de fibres fournissent une grande surface où les bactéries prolifèrent et se décomposent les matières en suspension.

V.1.4. Étape 4 :

La couche de sable filtrant continue le traitement et facilite la dispersion des eaux qui sont ensuite infiltrées directement dans le sol à travers un champ d'épuration.

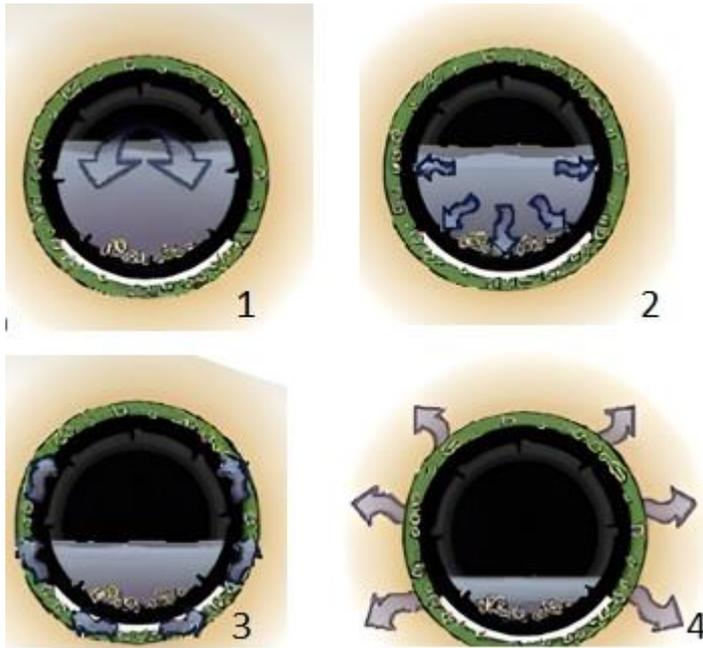


Figure 36 : Étapes de traitement

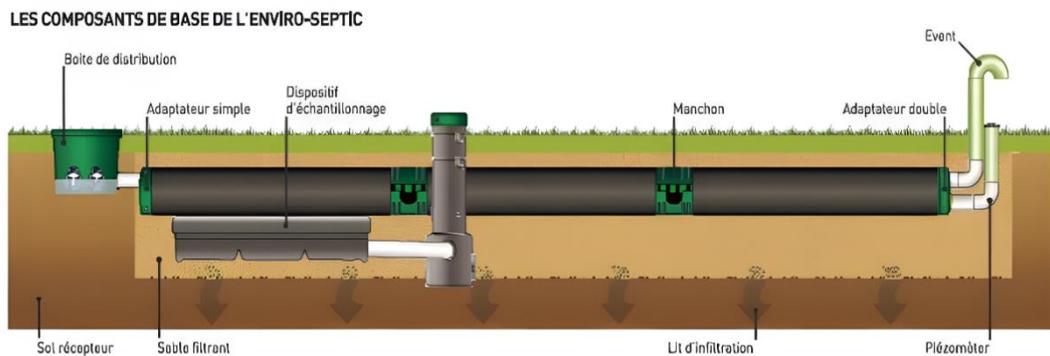


Figure 37 : les composants de base de l'enviro-septic

V.2. Avantages du système et spécificités :

1. Le système est conçu pour traiter les eaux usées DOMESTIQUES. Il ne peut pas traiter les eaux usées industrielles.
2. Le système est adapté aux populations situées en dehors du réseau d'assainissement public, dans les zones dispersées, etc.
3. Le système est adapté aux populations allant de 0 à 5000 habitants équivalent par installation.
4. Les eaux traitées peuvent être infiltrées dans le sol sans aucun problème.
5. Les eaux traitées sont excellentes pour l'irrigation.
6. Le système ne nécessite aucun apport d'énergie. L'installation doit être réalisée de manière à permettre un transfert d'eau par gravité.

7. Le système n'exige pas l'utilisation de produits chimiques.
8. Le système ne nécessite pas de maintenance particulière. Une vidange de la fosse septique peut être nécessaire tous les 3 ans.
9. Le système ne génère pas de boues ou de déchets spécifiques.

"Défaut" du système (si on peut le considérer comme un défaut) :

Le système occupe une superficie de terrain qui pourrait être réutilisée comme jardin ou pour d'autres usages, à condition qu'il n'y ait pas de circulation de véhicules ou de poids lourd



Figure 38 : Eco-Parc TAFILELT

1. Préserver l'eau : L'assainissement des eaux usées contribue à préserver une ressource vitale dans l'écosystème oasien.
2. Récupération et utilisation des eaux : Les eaux traitées peuvent être utilisées pour l'irrigation, contribuant ainsi à la préservation de l'eau et à la croissance de la végétation locale.
3. Prévention de la pollution : En évitant l'utilisation de produits chimiques pour le traitement des eaux usées, le système aide à prévenir la pollution chimique qui peut nuire à l'écosystème local.
4. Protection du sol : Le système permet d'éviter l'infiltration d'eaux usées non traitées dans le sol, contribuant ainsi à sa protection.
5. Education environnementale : La mise en place et le maintien de ce système peuvent servir de modèle pour la sensibilisation et l'éducation à la conservation de l'eau et à la protection de l'environnement.

6. Préservation de la biodiversité : En évitant la pollution de l'eau et du sol, le système contribue à la préservation de la faune et de la flore locales.

7. Economie d'énergie : Le système ne requiert aucun apport d'énergie, ce qui contribue aux efforts de conservation de l'énergie.

Ces actions collectives ont pour but de conserver et de valoriser la richesse de l'écosystème oasien, contribuant ainsi à la durabilité de l'environnement. Ce projet est en parfaite cohérence avec les objectifs du développement durable.

Conclusion Générale

Bien que le nombre de stations de traitement des eaux usées mises en œuvre en Algérie ait considérablement augmenté, nous rencontrons de nombreux problèmes dus au manque d'efficacité dans l'exploitation des projets existants. Par conséquent, la recherche de nouvelles technologies efficaces pour le traitement des eaux usées se poursuit.

Parmi les technologies prometteuses, on trouve la technique de traitement des eaux usées par les plantes, qui a été mise en œuvre dans une station pilote dans la région de Qasr el-Qdim à Tamasint (wilaya de Tébessa). Cette station a été créée dans le but de traiter 15 mètres cubes d'eaux usées par jour.

Cette station utilise une variété de plantes telles que la jussie, le papyrus, le roseau, la *Typha latifolia* et le laurier rose.

Les résultats fournis par l'Office National de l'Assainissement de Touggert nous ont permis de caractériser les eaux brutes entrant dans la station de traitement, en suivant les indicateurs de pollution et en mesurant le rapport BOD5/DCO. Ces mesures ont révélé que les eaux usées reçues par la station sont biodégradables et d'origine purement urbaine.

Pour évaluer l'efficacité de cette technique dans l'élimination des polluants, nous avons analysé les changements dans les paramètres physiques et chimiques des eaux traitées sortant de la station de traitement pendant le mois d'avril 2024. Les résultats obtenus sont satisfaisants.

La technique de traitement des eaux usées par les plantes a prouvé son efficacité et son rôle efficace dans la réduction des principaux indicateurs de pollution, à faible coût et sans consommation d'énergie ni de produits chimiques. La qualité de l'eau traitée obtenue répond aux normes algériennes et de l'Organisation mondiale de la santé pour un rejet direct dans l'environnement. De plus, cette eau peut être utilisée pour l'irrigation après des analyses microbiologiques et des métaux lourds.

Annexes

Tableau n° : Valeurs limites pour la teneur en substances nocives dans les eaux usées autres que les eaux domestiques Au moment du rejet dans le réseau d'égouts public ou dans la station d'épuration Jura 2009

11 JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 36		27 Joumada Ethania 1430 21 juin 2009																																																															
<p>Art. 10. — L'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques est retirée dans les cas suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> — non-respect des obligations et prescriptions fixées par la décision autorisant le déversement ; — lorsqu'il est fait obstacle à l'accomplissement des contrôles opérés dans les conditions fixées par le présent décret ; — cessation d'activité de l'établissement au titre de laquelle l'autorisation de déversement a été octroyée. <p style="text-align: center;">CHAPITRE II CONTROLES</p> <p>Art. 11. — Des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyse peuvent être effectués à tout moment dans le regard de branchement de l'établissement par les responsables de l'administration de wilaya chargés des ressources en eau afin de vérifier si les caractéristiques des eaux usées déversées dans le réseau public d'assainissement ou dans la station d'épuration sont conformes aux valeurs maximales fixées par le présent décret.</p> <p>Art. 12. — Lorsque les résultats d'analyse montrent que les eaux usées ne sont pas en conformité avec les valeurs fixées dans la décision d'autorisation, l'administration de wilaya chargée des ressources en eau met en demeure le propriétaire de l'établissement de prendre, dans le délai qu'elle lui sera fixé, l'ensemble des mesures et actions à même de rendre le déversement conforme aux prescriptions de l'autorisation.</p> <p>Art. 13. — A l'expiration du délai fixé par la mise en demeure indiquée à l'article 12 ci-dessus, et faute par le propriétaire de l'établissement de se conformer à la mise en demeure, les administrations de wilaya chargées des ressources en eau et de l'environnement doivent procéder à la fermeture de l'établissement jusqu'à exécution des mesures prescrites, et ce, sans préjudice des poursuites judiciaires prévues par la législation en vigueur.</p> <p>Art. 14. — Les analyses d'échantillons d'eaux usées autres que domestiques prévues à l'article 11 ci-dessus sont effectuées par des laboratoires agréés par le ministre chargé des ressources en eau.</p> <p style="text-align: center;">CHAPITRE III DISPOSITIONS FINALES</p> <p>Art. 15. — Les installations de prétraitement existantes doivent être mises en conformité avec les prescriptions du présent décret dans un délai n'excédant pas un (1) an après la date de publication du présent décret au <i>Journal officiel</i>.</p> <p>Art. 16. — Le présent décret sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire.</p> <p>Fait à Alger, le 17 Joumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009.</p> <p style="text-align: right;">Ahmed OUYAHIA.</p>		<p style="text-align: center;">ANNEXE</p> <p>Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PARAMETRES</th> <th>VALEURS LIMITEES MAXIMALES (mg/l)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Acide global</td><td>150</td></tr> <tr><td>Aluminium</td><td>5</td></tr> <tr><td>Argent</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Arsenic</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Béryllium</td><td>0,05</td></tr> <tr><td>Cadmium</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Chlore</td><td>3</td></tr> <tr><td>Chrome trivalent</td><td>2</td></tr> <tr><td>Chrome hexavalent</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Chromites</td><td>2</td></tr> <tr><td>Cuivre</td><td>1</td></tr> <tr><td>Cobalt</td><td>2</td></tr> <tr><td>Cyanure</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Demande biochimique en oxygène (DBO5)</td><td>500</td></tr> <tr><td>Demande chimique en oxygène (DCO)</td><td>1000</td></tr> <tr><td>Etain</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Fer</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fluorure</td><td>10</td></tr> <tr><td>Hydrocarbures totaux</td><td>10</td></tr> <tr><td>Métaux en suspension</td><td>600</td></tr> <tr><td>Magnésium</td><td>300</td></tr> <tr><td>Mercurie</td><td>0,01</td></tr> <tr><td>Nickel</td><td>2</td></tr> <tr><td>Nitrate</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>Phosphore total</td><td>50</td></tr> <tr><td>Phéol</td><td>1</td></tr> <tr><td>Piombe</td><td>0,5</td></tr> <tr><td>Sulfure</td><td>1</td></tr> <tr><td>Sulfure</td><td>400</td></tr> <tr><td>Zinc et composés</td><td>2</td></tr> </tbody> </table> <p>■ Température : inférieure ou égale à 30° C ■ PH : compris entre 5,5 et 8,5</p>		PARAMETRES	VALEURS LIMITEES MAXIMALES (mg/l)	Acide global	150	Aluminium	5	Argent	0,1	Arsenic	0,1	Béryllium	0,05	Cadmium	0,1	Chlore	3	Chrome trivalent	2	Chrome hexavalent	0,1	Chromites	2	Cuivre	1	Cobalt	2	Cyanure	0,1	Demande biochimique en oxygène (DBO5)	500	Demande chimique en oxygène (DCO)	1000	Etain	0,1	Fer	1	Fluorure	10	Hydrocarbures totaux	10	Métaux en suspension	600	Magnésium	300	Mercurie	0,01	Nickel	2	Nitrate	0,1	Phosphore total	50	Phéol	1	Piombe	0,5	Sulfure	1	Sulfure	400	Zinc et composés	2
PARAMETRES	VALEURS LIMITEES MAXIMALES (mg/l)																																																																
Acide global	150																																																																
Aluminium	5																																																																
Argent	0,1																																																																
Arsenic	0,1																																																																
Béryllium	0,05																																																																
Cadmium	0,1																																																																
Chlore	3																																																																
Chrome trivalent	2																																																																
Chrome hexavalent	0,1																																																																
Chromites	2																																																																
Cuivre	1																																																																
Cobalt	2																																																																
Cyanure	0,1																																																																
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	500																																																																
Demande chimique en oxygène (DCO)	1000																																																																
Etain	0,1																																																																
Fer	1																																																																
Fluorure	10																																																																
Hydrocarbures totaux	10																																																																
Métaux en suspension	600																																																																
Magnésium	300																																																																
Mercurie	0,01																																																																
Nickel	2																																																																
Nitrate	0,1																																																																
Phosphore total	50																																																																
Phéol	1																																																																
Piombe	0,5																																																																
Sulfure	1																																																																
Sulfure	400																																																																
Zinc et composés	2																																																																

**Tableau : Spécifications des eaux usées traitées utilisées à des fins d'irrigation.
 Décision ministérielle. Abonné le 2 janvier 2012**

20		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 41		25 Chaâbane 1433 15 juillet 2012	
2. PARAMETRES PHYSICO - CHIMIQUES					
PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE		
Physiques	pH	—	6.5 ≤ pH ≤ 8.5		
	MES	mg/l	30		
	CE	ds/m	3		
	Infiltration le SAR = o - 3 CE		0.2		
	3 - 6		0.3		
	6 - 12	ds/m	0.5		
12 - 20		1.3			
20 - 40		3			
Chimiques	DBO5	mg/l	30		
	DCO	mg/l	90		
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10		
	AZOTE (NO3 - N)	mg/l	30		
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5		
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0		
	Arsenic	mg/l	2.0		
	Béryllium	mg/l	0.5		
	Bore	mg/l	2.0		
	Cadmium	mg/l	0.05		
	Chrome	mg/l	1.0		
	Cobalt	mg/l	5.0		
	Cuivre	mg/l	5.0		
	Cyanures	mg/l	0.5		
	Fluor	mg/l	15.0		
	Fer	mg/l	20.0		
	Phénols	mg/l	0.002		
	Plomb	mg/l	10.0		
	Lithium	mg/l	2.5		
	Manganèse	mg/l	10.0		
	Mercuré	mg/l	0.01		
	Molybdène	mg/l	0.05		
	Nickel	mg/l	2.0		
	Sélénium	mg/l	0.02		
	Vanadium	mg/l	1.0		
Zinc	mg/l	10.0			

Tableau (8) : Les valeurs limites des paramètres de décharge dans l'environnement de réception (Journal officiel algérien 2006)

PARAMETRES	VALEURS LIMITES	UNITES
Température	30	C°
PH	6,5 à 8,5	-
MES	35	mg /l
DBO5	35	mg/l
DCO	120	mg/l
Azote kjeldahl	30	mg/l
Phosphates	02	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
Cyanures	0,1	mg/l
Aluminium	03	mg/l
Cadmium	0,2	mg/l
Fer	03	mg/l
Manganèse	01	mg/l
Mercure total	0,01	mg/l
Nickel total	0,5	mg/l
Plomb total	0,5	mg/l
Cuivre total	0,5	mg/l
Zinc total	03	mg/l
Huiles et Grasses	20	mg/l
Hydrocarbures totaux	10	mg /l
Indice phénols	0,3	mg/l
Fluor et composés	15	mg/l
Etain total	02	mg/l
Composés organiques chlorés	05	mg/l
Chrome total	0,5	mg/l
(*)Chrome III+	03	mg/l
(*)Chrome VI+	0,1	mg/l
(*)Solvants organiques	20	mg/l
(*)Chlore actif	1,0	mg/l
(*)PCB	0,001	mg/l
(*)Détergents	2	mg/l
(*)Tensioactifs anioniques	10	mg/l

Tableau : Normes de l'OMS sur les eaux usées (OMS 1971).

Paramètres	Bonne ou très bonne qualité	Qualité acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise
O ₂ dissous mg/l	>5	≥3	≥1	<1
O ₂ dissous %	≥70	≥50	≥10	<10
DBO ₅ mg / l	≤5	≤10	25	>25
DCO mg / l	≤25	≤40	80	>80
NO ₃ mg / l	≤25	≤50	80	>80
NH ₄ ⁺ mg / l	≤0.5	≤2	8	>8
NO ₂ ⁻ mg / l	≤0.3	≤1	>1	-
NTK mg / l	≤2	≤3	10	>10
PO ₃₋₄ mg / l	≤0.5	≤1	2	>2
MES mg / l	≤70	-	>70	-
Phosphore total mg / l	≤0.3	≤0.6	1	>1
Conductivité	≤2	-	2000	-
Ph	≥6.5 et ≤ 8.5	-	<6.5 ou >8.5	-

Références bibliographiques

- [1] HAFLIGER D. HUBNER P., LUTHY J. 2000, Outbreak of viral gastroenteritis due to sewage-contaminated drinking water. *Int J Food Microbiol* ;p54,123–126 .
- [2] CIEH (Comité inter-africain d'études hydrauliques) ;1993. «Étude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain». CIEH, Ouagadougou, Burkina Faso, p 66.
- [3] AMIRI Khaled 2019 CONTRIBUTION A L'EVALUATION ET AU TRAITEMENT DES EAUX USEES DANS LE SUD EST DU SAHARA ALGERIEN. APPLICATION AU SUD DE LA REGION D'OUED RIGH (TOUGGOURT) UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
- [4]: Docteur Al-Abid Ibrahim, Thèse de doctorat sur le traitement des eaux usées de la région de Touggourt à l'aide de plantes filtrantes locales, Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière, Département de Chimie, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [5]: Georgy Nassim Maher, Analyse et évaluation de la qualité de l'eau, Dar Mansha'at Al-Ma'arif, Jalal Hazzay et partenaires.
- [6]: Saïda Kaki, Flourishing Belhassan, Mémoire de Master, Université de Ouargla, 2016, p. 7-2
- [7]: Georgy Nassim Maher, Analyse et évaluation de la qualité de l'eau, Dar Mansha'at Al-Ma'arif, Jalal Hazzay and Partners. Egypte, 2007
- [8]: Fathi Afifi, Abdel Aziz, 2000. Le rôle des toxines et des polluants environnementaux dans les composantes du système écologique. Dar Al-Fajr for Publishing and Distribution, Le Caire.
- [9]: Sayed Abdel Nabi Mohamed, La pollution environnementale et la pandémie de la mondialisation, Agence de presse arabe, Gizeh, République arabe d'Égypte, 2019
- [10]: Abderrahmane Essaâdani et Aouda Senni Miligi, 2007. Problèmes environnementaux : leur nature, leurs causes, leurs effets et leur traitement. Dar Al-Ketab Al-Haditha, pp. 45-55. [11]: Ash-Sharabi Najmuddin, Habil Munir, Abu Labda Ziyad, Fondements de la microbiologie - La partie pratique, Nouvelle aube à Damas, Syrie, 1987
- [11]: Abbas Mustafa Abdul Latif, Première édition, 2004. Protection de l'environnement contre la pollution. Dar Al-Wafa for Printing and Publishing.
- [12]: Mohammed Abdel Nasir Al-Zarqah, Dégradation des polluants de l'eau dans les gouvernorats du Nord et du Centre et ses effets sur la santé humaine, Mémoire de Master, Université islamique de Gaza, 2018, p. 45-50-52-53
- [13]: Ahmed Al-Sarouri, Les polluants de l'eau, Dar Al-Kotob Al-Ilmiyah, 2008, p. 220-223
- [14]: Mohammed Mahmoud Al-Roubi Mohammed, Contrôle administratif et son rôle dans la protection de l'environnement, 2014, p. 295

- [15]: Abu Saad M. Najib Ibrahim, 2000. Pollution environnementale et le rôle positif et négatif des micro-organismes. Dar Al-Fikr Al-Arabi, Le Caire.
- [16]: Abu Saad Najib Ibrahim, La pollution environnementale et le rôle positif et négatif des micro-organismes, Dar Al-Fikr Al-Arabi, Le Caire, 2000, p. 6
- [17]: Hussein Ali Al-Saadi, Principes de l'écologie et de la pollution, Dar Al-Bazuri Scientific, Oman, 2006
- [18]: Le Journal officiel publié le dimanche 25 Sha'ban 1433, correspondant au 15 juillet 2012, numéro 41.
- [20]: Osama Samawi 2009/60, Ismail Al-Jaddawi 2009/172, Amer Ahmed Sufian 2009/284. Rapport de visite d'une station de traitement des eaux usées.
- [21]: Organisation mondiale de la santé. Séminaire de formation pour les opérateurs de stations de traitement des eaux usées. Organisation du Bureau régional de la Méditerranée orientale pour les activités de santé environnementale, Oman - Jordanie, 2004
- [22]: Al-Hurra Muhammad Khudair Al-Zubaidi. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Licence en Sciences, Département des Sciences de la Vie, sur le sujet "Les stations de traitement des eaux usées et leur rôle dans la réduction des risques environnementaux dans la province d'Al-Diwaniyah", 2017.
- [23] Office international de eaux 9:00 18/1/2020
- [24] APPLICATIONS OF PHYTOREMEDIATION IN WASTEWATER TREATMENT IN ALGERIA (GHERIB A.*1, BOUFENDI M.2, TEMIME A.2, BEDOUH Y.1)
- [25] Etude d'amélioration des performances de la station d'épuration de Zemmouri - Draa el guendoul Nawel-Lounis nadjima 2016/2017
- [26]: Mohammad Ma'an Baradie. "Guide de conception des stations de traitement des eaux usées", publié par la Fondation internationale Zayed pour l'environnement, 2018. Pages 117-146, page 182
- [27] Zahir BAKIRI TRAITEMENT DES EAUX USEES PAR DES PROCEDES BIOLOGIQUES CLASSIQUES :EXPERIMENTATION ET MODELISATION
- [28] Mémoire de fin d'études Les boues résiduelles de la station d'épuration de Marrakech : caractéristiques et impacts environnementales Département des sciences de la terre Eau et Environnement Licence Sciences et Techniques Soutenu par :KARAFI Kaoutar & MOUSTAOUI Farida
- [29] Jamal Attia : l'élimination de la pollution organique des eaux usées dans la région d'El Oued en utilisant des minéraux argileux » Thèse de doctorat, Faculté des Mathématiques et des Sciences de la Matière, Département de Chimie, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [31] PROCÉDÉS EXTENSIFS D'ÉPURATION DES EAUX USÉES pp 4-8 72
- [32] Office des publications officielles des Communautés européennes (OPOCE). Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, adaptés aux petites et moyennes collectivités. N° 91/271. 2001.

- [33] Gaid A1984 (e'puration biologique de eaux usées urbain tont1) édition opu alger
- [34] AERM - Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin RhinMeuse – Juillet 2007 Lagunage naturel
- [35]: Said Er-Rabie, 2009/2008. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'études supérieures sur "Le rôle de la municipalité dans la réalisation du processus d'aménagement urbain (le cas de Temacine comme exemple)".
- [36]: Étude analytique et architecturale "Le vieux palais de Temacine et ses principaux monuments archéologiques", 1995. Les chercheurs sont Abdel Karim Boulenour, Mohamed El Mine Mawali, Youcef Baka, Boubaker Ben Yahia, Mubarak Kadida, Youcef Khalil.
- [37]: Office national de la météorologie (M.N.O) à Sidi Madi.
- [38]: Commentaires sur la carte de la station.
- [39]: Département de gestion administrative de l'Office national de l'assainissement à Touggourt.
- [40]: HAMMADI Belkacem. pHytoépuration des eaux usées des la région de Témacine Evaluation et conditions optimales.Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magister. Spécialité : chimie. Université Kasdi Merbeh OUARGLA. Juin 2006.
- [41]: Abdel Razzaq Al-Turkmani, 2009. Stations de traitement par les plantes, guide de planification, de conception et de mise en œuvre des stations de traitement par les plantes, Réseau des experts syriens en eau
- [42]: Degremont., (2005). Mémento technique de l'eau, 10 ème édition, Ed. Lavoisier, Paris.
- [43] GHRISSI Ferhat & TOUATI Omar (2018). Le dysfonctionnement de la station d'épuration dans la région de Temacine (Touggourt). Master en Hydraulique Option: Ouvrages hydrauliques ; Université Echahid Hamma Lakhdar - El-Oued, pp 61