



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université Oran 2/ Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة ولأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Hygiène et Sécurité Industrielle
Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

**Caractérisation physico-chimique et microbiologique
d'une station d'épuration des eaux usées au niveau
du complexe GL1/Z.**

Présenté publiquement par :

Mr RAHILA Mohamed & Mr TOUIL Daho

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
MECHKEN AMEL KARIMA	MAA	IMSI	Président
TALBI ZAHERA	MCB	IMSI	Examinateur
HEBBAR CHAFIKA	Pr	IMSI	Encadreur

Année Universitaire 2020/2021

Remerciements

Nous tenons à remercier le bon Dieu de nous avoir donné le courage pour mener à terme ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre promoteur Mme HEBBAR Chafika d'avoir accepté de nous encadrer tout au long de ce travail malgré ses nombreuses charges.

Toutes nos expressions de respect à Mme MECHKEN Amel Karima qui nous a fait l'honneur par sa présence en qualité de présidente de jury.

Nos sincères considérations et remerciements sont également exprimés à Mme TALBI Zahera qui a accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements sont également exprimés à tout le personnel « Enseignants et Administratif » de l'Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle.

Dédicaces

Je tiens vivement, à dédier ce travail en signe de respect et de reconnaissance :

Aux deux personnes très chères qui ont partagé mes joies et mes peines, qui ont été toujours à mes côtés et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui :

Ma mère et Mon père.

A Ma sœur et Mes frères.

A tous Mes proches sans exception.

A Mon binôme Dafo.

Et à tous mes amis.

A toutes la promotion 2020/2021.

A tous ceux qui ont contribué à m'aider à la réalisation de ce mémoire.

Mohamed

Dédicaces

A ceux que j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et je suis très fière de les avoir et tous les mots du monde ne peuvent exprimer l'amour et le respect que je leur porte ; mes très chers parents pour leurs sacrifices, leurs aides, leurs conseils et leurs patience, que Dieu les protège.

A Mes adorables frères et à Mon unique sœur.

Au petit de la famille : Touil.

A ma grande famille, petite et grande.

*A celui avec qui j'ai partagé ce modeste travail, Mon cher ami
Mohamed.*

A tous mes amis.

A toute la promotion énergétique 2020/2021.

*A tous ceux qui ont contribué à m'aider à la réalisation de ce
mémoire.*

Daño

Sommaire

Introduction Générale Erreur ! Signet non défini.

Chapitre 1

Bilan de connaissances sur les eaux usées

Introduction

1.1 Définition d'une eau usée	3
1.2 Aspect des eaux usées	3
1.3 Types et origine des eaux usées	3
1.3.1 Les eaux usées domestiques	3
1.3.2 Les eaux usées industrielles	4
1.3.2.1 Matières en suspensions décantables ou non décantables.....	4
1.3.3 Les eaux usées agricoles.....	5
1.3.4 Les eaux usées pluviales.....	6
1.4 Collecte des eaux usées.....	6
1.4.1Le système unitaire.....	6
1.4.2Le système séparatif	6
1.5Types de pollution des eaux usées	6
1.5.1Pollution organique	6
1.5.2 Pollution minérale	7
1.5.3Pollution microbiologique.....	7
1.6 Cadre juridique.....	7
1.6.1 Normes internationales.....	7
1.6.2Normes OMS.....	8
1.6.3 Normes FAO	8
1.6.3 Normes nationales	9
1.7 Impact Environnemental des eaux usées	9
1.8 Caractéristiques physicochimiqueset bactériologiques des eaux usées	9
1.8.1 Paramètres physicochimiques	10
1.8.1.1 Température.....	10
1.8.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH).....	10
1.8.1.3 Matières en suspension (MES).....	10
1.8.1.4 Turbidité	10
1.8.1.5 Conductivité	10

Sommaire

1.1.8.6 Demande biochimiques en oxygène (DBO ₅)	11
1.1.8.7 Demande chimique en oxygène (DCO)	11
1.1.8.8 Matière Oxydable (MO).....	11
1.1.8.9 Demande théorique totale en oxygène (DTO)	11
1.1.8.10 Formes azotées	11
1.1.8.11 Carbone organique total (COT).....	12
1.1.8.12 Oxygène dissout (OD).....	12
1.1.8.13 Formes phosphatées	12
1.8.2 Paramètres Bactériologiques	13
1.8.2.1 L'eau- vecteur de bactéries	13
1.8.2.2 Micro-organismes pathogènes dans l'eau	14
1- Coliformes :.....	14
2- Entérocoques (streptocoques fécaux).....	14
3- Bactéries sulfito-réductrices.....	15
1.9 Epuration des eaux usées	16
Introduction	
1.9.1 Procédé d'épuration des eaux usées	16
1.9.1.1 Prétraitement	16
1-Dégrillage.....	17
2- Dessablage	17
3-Dégraissage - Déshuilage.....	18
4- Ouvrage de répartition	19
1.9.1.2 Traitement primaire.....	19
1-Décanteur longitudinal.....	21
2- Décanteur circulaire	21
3- Décanteur lamellaire	22
1.9.1.3 Traitement physico-chimique.....	23
1.9.1.4 Traitement biologique	25
1.9.1.5 Traitement tertiaire	32
1.9.1.6 Clarification.....	37
1.9.1.7 Rejet de l'eau épurée dans le milieu naturel	38
Conclusion	39

Chapitre 2

La réutilisation des eaux usées

Introduction

2.1 Définition de la réutilisation des eaux usées.....	41
2.2 Principales voies de réutilisation.....	41
2.3 Catégories de réutilisation de l'eau.....	41
2.3.1 Réutilisation à titre d'eau potable.....	41
2.3.2 Utilisations urbaines et irrigation des cultures vivrières	42
2.3.2.1 Utilisation en milieu urbain.....	42
2.3.2.2 Irrigation agricole des cultures vivrières destinées à la consommation humaine sans cuisson.	42
2.3.3 Utilisations urbaines et récréatives restreintes, irrigation de cultures non vivrières ou de cultures transformées avant consommation.....	43
2.3.3.1 Irrigation d'aménagements.....	43
2.3.3.2 Utilisations récréatives restreintes.....	43
2.3.3.3 Irrigation agricole	43
2.3.4 Réutilisation et recyclage industriels.....	44
2.3.5 La réutilisation des eaux usées traitées en zone urbaine	45
2.3.6 Amélioration des ressources.....	46
2.3.7.1 Directives nationales sur la réutilisation de l'eau.....	46
2.3.7.2 Normes nationales	46
2.3.7.3 Nouveaux contaminants préoccupants	46
2.3.7.4 Contrôle environnemental et conséquences de la récupération de l'eau.....	47

Conclusion

Chapitre 3

Matériel et Méthodes

3.1 Situation géographique du complexe GL1/Z	49
3.2 Présentation du complexe GL1/Z.....	50
3.2.1 Zone 1 :Utilités.....	50
3.2.1.1 Source d'énergie.....	50
3.2.1.2 Source de refroidissement	50
3.2.1.3 Production d'électricité	50
3.2.1.4 Unité de dessalement.....	50
3.2.1.5 Production d'air comprimé.....	50

Sommaire

3.2.2 Zone 2.....	51
3.2.3 Zone 3 : Zone Terminal.....	51
3.3 Traitement des effluents liquides	51
3.3.1 Station d'épuration des eaux sanitaires (STEP).....	51
3.4 Matériel et Méthodes	52
3.4.1 Points d'échantillonnage	52
3.4.2 Méthodologie du travail	53
3.4.2.1 Analyses physicochimiques des eaux de rejet de la STEP.....	53
3.4.2.2 Analyses métalliques des eaux de rejet de la STEP(Fig 46)	59
Chapitre 4	
Résultats et discussion	
4.1 Résultats d'analyses physicochimiques des eaux de rejet de la STEP	63
4.1.1 Potentiel d'hydrogène.....	63
4.1.2 Température.....	64
4.1.3 Matières en suspension (MES).....	65
4.1.4 Demande chimique en oxygène (DCO)	66
4.1.5 Demande biologique en oxygène durant 5jours (DBO ₅).....	66
4.1.6 Oxygène dissous.....	67
4.1.7 Azote Kjeldhal.....	68
4.1.8 Chlore résiduel	68
4.1.9 Huiles et graisses (HG).....	69
4.2 Résultats d'analyses métalliques des eaux de rejet de la STEP.....	70
4.2.1 Phosphore (P)	70
4.2.2 Plomb (Pb).....	70
4.2.3 Fer (Fe).....	71
4.2.4 Zinc (Zn).....	71
Conclusion Générale	Erreur ! Signet non défini.
Références bibliographiques	Erreur ! Signet non défini.

Liste des Tableaux

Tab. 1 – Classification des eaux usées industrielles.....	5
Tab. 2 -Normes OMS (2012) pour l'utilisation des eaux usées en agriculture.	8
Tab. 3 -Normes FAO des eaux usées traitées pour l'irrigation.....	8
Tab. 4 - Valeurs limites d'effluents liquides industriels (JORADP, 2006).....	9
Tab. 5 – Résultats du pH des points de prélèvements.	64
Tab. 6 – Résultats de la température des points de prélèvements.	64
Tab. 7 – Résultats de MES des points de prélèvements.	65
Tab. 8 – Résultats de la DCO des points de prélèvements.	66
Tab. 9 – Résultats de la DBO ₅ des points de prélèvements.....	67
Tab. 10 – Résultats de l'Oxygène dissous des points de prélèvements.....	68
Tab. 11 – Résultats de l'azote Kjeldhal des points de prélèvements.....	68
Tab. 12 – Résultats du chlore résiduel des points de prélèvements.	69
Tab. 13 – Résultats des huiles et graisses des points de prélèvements.....	69
Tab. 14 – Résultats du phosphore des points de prélèvements.....	70
Tab. 15 – Résultats du plomb des points de prélèvements.....	70
Tab. 16 – Résultats du fer des points de prélèvements.....	71
Tab. 17 – Résultats du zinc des points de prélèvements.....	72

Liste des figures

Fig. 1 - Origine des eaux usées domestiques.....	4
Fig. 2 - Rejets des eaux usées industrielles.....	5
Fig. 3 - Eaux usées agricoles.	5
Fig. 4 - Exemple de pollution organique.	7
Fig. 5 – Coliformes totaux – Coliformes fécaux - <i>E-coli</i>	14
Fig. 6 – Streptocoques fécaux.....	15
Fig. 7 – Dégrilleur de la STEP.....	17
Fig. 8 – Dessablage de la STEP.....	18
Fig. 9 - Dégraissage – Déshuilage. Bassin de récupération d'eau de la STEP.....	19
Fig. 10 - Ouvrage de répartition de la STEP.	19
Fig. 11 - Schéma d'un décanteur primaire.....	20
Fig. 12 - Décanteur longitudinal.....	21
Fig. 13 - Pont Décanteur Circulaire pour les Bassins de décantation de la STEP.....	22
Fig. 14 - Schéma du décanteur lamellaire.	23
Fig. 15 - Schéma du procédé de coagulation- floculation.	25
Fig. 16 - Bassin du traitement biologique de la STEP.....	26
Fig. 17 - Epuration des eaux usées par lagunage naturel.....	27
Fig. 18 - Principe d'un lit bactérien et Eléments de remplissage du lit bactérien.	31
Fig. 19 - Procédé des disques biologiques.....	32
Fig. 20 - Traitement biologique du carbone et de l'azote.....	33
Fig. 21 - Processus de nitrification.	34
Fig. 22 - Fraction de l'azote à l'entrée de la STEP.....	34
Fig. 23 – Processus de Dénitrification.....	35
Fig. 24 - Bassin d'aération et dénitrification de la STEP.	35
Fig. 25 - Gaz de la nitrification et la dénitrification en phase anaérobie/aérobie.....	36
Fig. 26 – Déphosphatation.....	36
Fig. 27 - Système de séparation de l'eau, des boues dans un clarificateur.....	38
Fig. 28 – Clarificateur de la STEP.....	38
Fig. 29 – Canal du rejet du complexe GL1/Z.....	39
Fig. 30 – Irrigation d'aménagement.	43
Fig. 31 - Eau épurée pour les activités agricoles.	44
Fig. 32 - Centrale de fabrication du béton.	45
Fig. 33- Situation géographique du complexe GL1/Z.....	50

Liste des figures

Fig. 34- Schéma de la STEP	51
Fig. 35 - Point de prélèvement P1 (Amont de la station).	52
Fig. 36 - Point de prélèvement P2 (Sortie STEP).	52
Fig. 37 - Point de prélèvement P3 (canal de rejet).	53
Fig. 38 - Point de prélèvement à l'entrée et à la sortie de la station CPS.....	53
Fig39 - pH mètre (laboratoire de STEP GL1/Z).....	54
Fig 40 - Spectrophotomètre (laboratoire de STEP GL1/Z)	54
Fig41 - DBO mètre (laboratoire de STEP GL1/Z)	55
Fig 42 - Réacteur DCO (laboratoire de STEP GL1/Z)	56
Fig 47 - appareille de mesure des huiles et des graisses.....	57
Fig 43 - Oxymètre (laboratoire de STEP GL1/Z).....	57
Fig 44 – Analyseur de chlore résiduel CL-8100.....	58
Fig 45 - Tube d'azote total (laboratoire de STEP GL1/Z).....	59
Fig 46.- spectrophotomètre d'absorption atomique	60

Résumé

Certes que les activités industrielles sont essentielles pour l'économie, le bien-être du citoyen et l'offre d'emploi mais génèrent des déchets (émissions atmosphériques, déchets solides, rejets liquides). La mauvaise gestion de ces déchets porte préjudice à l'environnement dont la dégradation qualitative a un coût difficile à calculer qui risque d'être élevé pour les générations futures.

Le complexe GL1 Z a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HassiR'mel, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le **GNL** (**G**az **N**aturel **L**iquéfié) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger. Il peut également contenir d'infimes quantités d'éthane, de propane et d'hydrocarbures lourds.

La surveillance de la qualité des eaux de rejet du complexe industriel de liquéfaction du gaz naturel (GL1 Z) a été évaluée selon une analyse physicochimique et métallique à l'entrée et à la sortie de la STEP.

Les résultats d'analyses physicochimiques et métalliques des rejets d'eaux usées avant et après de la STEP enregistrées sont satisfaisants aux normes algériennes requises.

La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

Le respect de l'environnement est réussi par la maîtrise des rejets puisque la notion de zéro rejet n'existe pas dans l'absolu ; mais nous essayons d'alléger la charge polluante du milieu récepteur.

Mots-Clefs : effluents industriels ; paramètres physicochimiques, métaux, GL1Z, STEP.

Abstract

Industrial activities are essential for the economy, the well-being of citizens and the supply of employment, but they generate waste (atmospheric emissions, solid waste, liquid discharges). Poor management of this waste is detrimental to the environment, the quality degradation of which has a cost which is difficult to calculate and which may be high for future generations.

The GL1 Z complex's mission is to liquefy natural gas from the HassiR'mel gas fields, with the possibility of extracting propane, butane and gasoline. LNG (Liquefied Natural Gas) is pumped and loaded into LNG carriers specially designed for cryogenic transport for shipment abroad. It may also contain trace amounts of ethane, propane and heavy hydrocarbons.

The monitoring of the quality of wastewater from the natural gas liquefaction industrial complex (GL1 Z) was assessed according to a physicochemical and metallic analysis at the inlet and outlet of the treatment plant.

The results of physicochemical and metallic analyzes of the wastewater discharges before and after the wastewater treatment plant recorded are satisfactory to the Algerian standards required.

The policy of valuing wastewater is necessary even more so as once it has been treated, it could constitute a significant source that can help reduce the deficit in the water balance through its valuation in irrigation.

Respect for the environment is achieved by controlling discharges since the concept of zero discharge does not exist in absolute terms; but we are trying to lighten the pollutant load of the receiving environment.

Keywords: industrial effluents; physicochemical parameters, metals, GL1Z, STEP.

ملخص

صحيح أن الأنشطة الصناعية ضرورية للاقتصاد، رفاهية المواطنين وتوفير فرص العمل ، لكنها تولد نفايات (انبعاثات جوية ، نفايات صلبة ، تصريفات سائلة). سوء إدارة هذه النفايات ضار بالبيئة ، وتدهورها له تكلفة يصعب حسابها وقد تكون عالية للأجيال القادمة.

تتمثل مهمة مجمع تجميع الغاز الطبيعي أرزيو في تجميع الغاز الطبيعي من حقول غاز حاسي رمل ، مع إمكانية استخراج البروبان و البيتان والبنزين. يتم ضخ الغاز الطبيعي المميع وتحمله في ناقلات الغاز الطبيعي المميع المصممة خصيصاً للنقل المبرد للشحن إلى الخارج. قد تحتوي أيضاً على كميات ضئيلة من الإيثان والبروبان والهيدروكربونات الثقيلة.

تم تقييم مراقبة جودة مياه الصرف من مجمع تجميع الغاز الطبيعي الصناعي أرزيو وفقاً لتحليل فيزيائي وكيميائي ومعدي عند مدخل ومخرج محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية والمعدنية لتصريفات المياه المستعملة قبل وبعد تسجيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي مرضية للمعايير الجزائرية المطلوبة.

إن سياسة تقييم المياه المستعملة ضرورية أكثر من ذلك ، فبمجرد معالجتها ، يمكن أن تشكل مصدراً مهماً يمكن أن يساعد في تقليل العجز في ميزان المياه من خلال تقييمها في الري.

يتم تحقيق احترام البيئة من خلال التحكم في التصريفات حيث أن مفهوم عدم وجود تصريفات غير موجود من حيث القيمة المطلقة ؛ لكننا نحاول تخفيف العبء الملوث للبيئة المستقبلية.

الكلمات الرئيسية: النفايات السائلة الصناعية ؛ المعلمات الفيزيائية والكيميائية ، المعادن ، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، مجمع تجميع الغاز الطبيعي أرزيو.

Liste des abréviations

AgNO₃ : Nitrate d'argent

APCI : Air Product and Chemical Incorporated

COT : Carbone total organique

CCl₄ : Tétrachlorure de carbone

DBO₅ : Demande biologique en oxygène Durant 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

DTO : Demande totale en oxygène

FAO : Fond

H₂S : Hydrogène sulfureux

KOH : Hydroxyde de potassium

MES : Matières en suspension

MO : Matière oxydante

NaOH : Soude

OD : Oxygène dissous

OIE : Office international de l'eau

OMS : Organisation mondiale de la santé

pH : potentiel d'hydrogène

REUT : Réutilisation des eaux usées traitées

Introduction

Générale

En Algérie, l'eau est un élément de plus en plus rare et de moins en moins renouvelable [1].

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où cette dernière doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les agriculteurs, notamment ceux des régions continentales, s'intéressent à l'utilisation des eaux usées [2].

Les disponibilités en eau sont estimées à 17 milliards de m³ par an dont 12 milliards de m³ dans les régions nord (2 milliards de m³ pour les ressources souterraines, 10 milliards de m³ de ressources superficielles) et 5 milliards de m³ dans le Sud. Sachant que toutes les ressources souterraines du nord ont mobilisé en plus de 70% des ressources superficielles[2].

La pollution des eaux de surface et des eaux souterraines est possible par les rejets d'eaux usées tant domestiques qu'industrielles ainsi que par l'utilisation d'engrais et pesticides en agriculture. La pollution risque de constituer, à court terme, un risque de pénurie d'eau accentué imposant la nécessité de protéger cette ressource contre toute altération et utilisation irrationnelle.

Le volume annuel d'eaux usées domestiques rejetées est estimé à 800 millions m³. Ce sont des quantités importantes et facilement localisables que le pays ne peut négliger [3].

L'intérêt porté par les pouvoirs publics algériens au traitement des eaux usées s'est manifesté par l'allocation de crédits importants à la réalisation de stations d'épuration qui sont en nombre d'une centaine déjà réalisées ou en voie de réalisation. Seulement, ces réalisations n'ont pas été suffisantes pour atteindre l'objectif de protéger l'environnement d'une manière générale et les ressources hydriques en particulier.

Introduction Générale

La politique de valorisation des eaux usées est nécessaire d'autant plus que celles-ci une fois traitées, pourraient constituer une source non négligeable pouvant participer à la réduction du déficit du bilan hydrique par sa valorisation en irrigation.

L'objectif de notre travail est de contrôler l'élimination de la matière organique et minérale des eaux usées de la station d'épuration du complexe GL1/Z, et cela après le canal des rejets n°1 (en amont de la salle de contrôle Terminal) et Canal des rejets n°2 (fosse des pompes) de la station d'épuration du complexe GL1/Z et de la comparer avec celle de l'eau brute et les normes OMS et algériennes. Ces analyses sont les analyses physico-chimiques et microbiologiques.

La présentation de ce travail s'articule autour de deux parties. La première est une synthèse bibliographique répartie en deux chapitres. La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale qui expose le matériel, les méthodes d'une part, les résultats et la discussion d'autre part.

Enfin, nous terminons notre mémoire par une conclusion.

Chapitre 1

Bilan de connaissances sur les eaux usées

Introduction

La pollution de l'eau est actuellement placée en tête des problèmes de l'environnement car l'eau est une interface entre l'air et le sol. La pollution participe de ce fait à diminuer les volumes d'eau utilisable par les populations ; elle engendre aussi des maladies et les phénomènes d'eutrophisation dans les réserves d'eau et déséquilibre dans l'environnement naturel [1].

1.1 Définition d'une eau usée

Les eaux usées sont des eaux polluées, souillées par une activité humaine quelconque (domestique, industrielle, ...). Elles contiennent de nombreux éléments polluants qui doivent subir un traitement avant d'être déversées dans les milieux naturels.

1.2 Aspect des eaux usées

L'aspect des eaux usées fraîches est celui d'un liquide brun gris avec une odeur typique. Durant leur transport, ces eaux se modifient d'autant plus vite que la température est élevée ; elles deviennent noires et dégagent une odeur d'œufs pourris, signe de la présence d'hydrogène sulfureux (H_2S), et corrosif pour le béton et les aciers des égouts. Environ un tiers des matières contenues dans ces eaux est en suspension et le reste est en solution.

1.3 Types et origine des eaux usées

Suivant l'origine des substances polluantes, ces eaux sont classées en quatre grandes catégories :

- les eaux usées domestiques;
- les eaux usées industrielles;
- les eaux de ruissellement dans les zones agricoles;
- les eaux pluviales (les eaux de pluie et de ruissellement dans la ville).

1.3.1 Les eaux usées domestiques

Ce sont les eaux utilisées par l'homme pour des besoins domestiques (**fig. 1**), elles constituent l'essentiel de la pollution et se composent:

* Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques, (glucides, lipides, protides), et des produits détergents;

- * Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents;
- * Des eaux de salle de bains chargées en produits pour l'hygiène corporelle, généralement de matières grasses hydrocarbonées;
- * Des eaux de vannes qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composée azotés, phosphorés et en microorganismes [2].

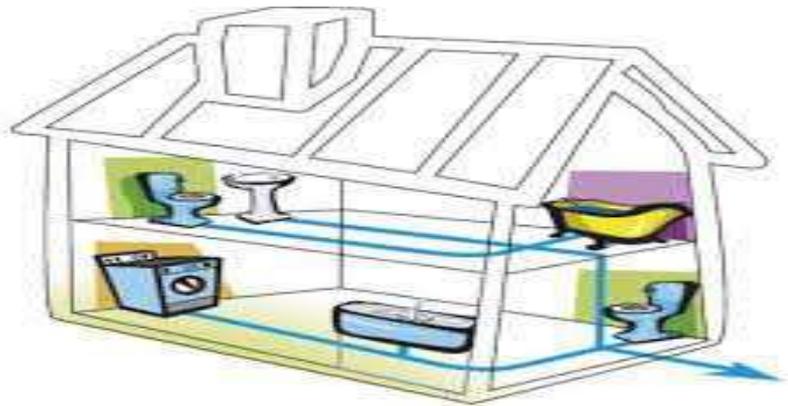


Fig. 1 - Origine des eaux usées domestiques.

1.3.2 Les eaux usées industrielles

Elles contiennent également des matières organiques, azotées et phosphorées comme les eaux domestiques, mais elles sont très différentes, car leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. L'extrême diversité des rejets industriels (**fig. 2**) ne permet pas une classification complète de ces eaux. Néanmoins, on peut les classer en fonction de leurs contenus :

1.3.2.1 Matières en suspensions décantables ou non décantables

- Matières inertes ou fermentescibles ;
- Matières biodégradables ou non biodégradables ;
- Matières toxiques ou inhibitrices.

Les classes d'eaux usées industrielles sont présentées dans le tableau 1.

Tab. 1 – Classification des eaux usées industrielles[3].

Type	Caractéristiques	Exemple	Traitement
Organique	DCO élevée DBO5 élevée	Industrie agroalimentaire	Biologique
Inorganique	MES élevées DBO ₅ faible, Toxique	Industrie, Sidérurgie, Traitement de surface	Physico-chimique
Mixte	MES élevées DBO ₅ moyenne à élevée	Papeterie Industries chimiques et pétrochimiques	Biologique adapte



Fig. 2 - Rejets des eaux usées industrielles.

1.3.3 Les eaux usées agricoles

L’agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle cause essentiellement des pollutions diffuses. Les eaux agricoles (**fig. 3**) issues de terres cultivées chargées d’engrais nitrates et phosphates sous une forme ionique ou en quantité telle qu’ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d’eau ou des retenues [4].



Fig. 3 - Eaux usées agricoles.

1.3.4 Les eaux usées pluviales

Ce sont les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours). Les eaux qui ruissellent sur les toitures, les cours, les jardins, les espaces verts, les voies publiques et les marchés entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques : de la terre, des limons, des déchets végétaux, etc., et toutes sortes de micropolluants (hydrocarbures, pesticides, détergents[9]).

1.4 Collecte des eaux usées

Il existe deux systèmes de réseau d'assainissement:

1.4.1 Le système unitaire

C'est un réseau dans lequel toutes les eaux (pluviales, industrielles, agricoles et domestiques) sont conduites par un réseau unique de collecte vers une station de traitement. Ce réseau s'impose lorsqu'il n'y a pas de possibilité de concevoir un réseau d'eaux pluviales. C'est un système qui convient aux populations relativement denses. C'est un système souple (canalisation unique par voie publique) nécessitant souvent des frais d'investissement élevés.

1.4.2 Le système séparatif

Les eaux pluviales sont évacuées dans un premier réseau, et les eaux usées domestiques et éventuellement industrielles étant évacuées dans un second réseau. Le système séparatif s'observe là où la population est dispersée, et quand les eaux de ruissellement peuvent être facilement évacuées par voie superficielle.

1.5 Types de pollution des eaux usées

Généralement la pollution des eaux usées se manifeste sous les formes principales suivantes :

1.5.1 Pollution organique

Elle se compose principalement (**fig. 4**) de protéides, de glucides et de lipides ainsi que des détergents utilisés par les ménages. On note aussi l'existence d'autres substances organiques utilisées ou fabriquées industriellement, c'est le cas des phénols, des aldéhydes et des composés azotés[4].



Fig. 4 - Exemple de pollution organique.

1.5.2 Pollution minérale

Elle s'agit principalement d'effluents industriels contenant des substances minérales tels que les sels, les nitrates, les chlorures, les phosphates, les ions métalliques, le plomb, le mercure, le chrome, le cuivre, le zinc et le chlore. Ces substances peuvent causer des problèmes sur l'organisme de l'individu, perturber l'activité bactérienne en station d'épuration, affecter sérieusement les cultures (physiologique et rendement).

1.5.3 Pollution microbiologique

Les eaux usées sont des milieux favorables au développement d'un très grand nombre d'organismes vivants, dont des germes pathogènes souvent fécaux. On les trouve dans les effluents hospitaliers, de lavage de linges et de matériels souillés, ou encore dans le déversement de nombreuses industries agro-alimentaires (abattoirs, élevage agricoles,.....)[4].

1.6 Cadre juridique

1.6.1 Normes internationales

Les eaux usées collectées, dans les réseaux urbains où les eaux usées directement émises par les industries, ne doivent être rejetées dans un milieu récepteur naturel que lorsqu'elles correspondent à des normes fixées par voie réglementaire. Parmi les normes de rejet internationales appliquées dans le but de préserver un environnement sain, on peut citer les plus répandues:

1.6.2 Normes OMS

Les normes caractéristiques par la suppression de certains éléments contenus dans l'eau usée sont notées dans le tableau 2. L'utilisation des eaux à l'état brut pose de sérieux problèmes de santé publique (OMS, 2012). L'OMS a rejeté cette pratique et a mis l'accent sur le traitement de ces eaux avant leur réutilisation.

Tab. 2 -Normes OMS (2012) pour l'utilisation des eaux usées en agriculture.

Paramètres	Unité	Normes
		OMS 2012
pH	-	6.5-8.5
CE	dS/m	< 3
MES	mg/L	100 -350
DBO ₅	mg O ₂ /L	110 -400
NTK	mg/L	20 -85
PT	mg/L	5-15

1.6.3 Normes FAO

Les directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO, 2003) sont notées dans le tableau 3.

Tab. 3 -Normes FAO des eaux usées traitées pour l'irrigation.

Paramètres	Unité	Normes		
		FAO 2003		
		Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	légère à modéré	Sévère
pH	-	6.5-8.5		
CE	dS/m	<0,7	0.7-3	>3
NTK	mg/L	20 -60		
NO ₃ ⁻	mg/L	< 5	5 -30	> 30
Pt	mg/L	5-10		

Ces directives générales peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques. La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux [5].

1.6.3 Normes nationales

Les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels sont notées dans le tableau 4 (JORADP, 2006).

Tab. 4 - Valeurs limites d'effluents liquides industriels (JORADP, 2006).

Paramètres	Unité	Normes nationales
Température	°C	30
pH	/	6,5-8,5
MES	mg/L	35
DCO	mg O ₂ /L	120
DBO ₅	mg O ₂ /L	35
NTK	mg/L	30
Pt	mg/L	10

1.7 Impact Environnemental des eaux usées

Les eaux usées, qu'elles soient urbaines ou industrielles, peuvent engendrer suivant la nature et la concentration de ses constituants, un certain nombre d'effets sur le milieu récepteur, même après épuration. Les matières en suspensions (MES), même en concentration faible sont susceptibles de réduire la transparence du milieu dans le cas d'un rejet en lac ou en mer ; on peut craindre ainsi un apport élevé en micro-organismes (bactéries ou virus) non retenus par la station d'épuration. La présence de matières organiques dans l'effluent a pour conséquences un accroissement de la biomasse et une consommation corrélative de l'oxygène dissout ; ce phénomène de biodégradation est largement exploité dans les dispositifs de traitement biologique [6].

1.8 Caractéristiques physicochimiques et bactériologiques des eaux usées

Avant de déverser les eaux usées dans le milieu naturel, il faut définir les paramètres pour avoir des renseignements sur la composition et les caractéristiques qualitatives et quantitatives des eaux usées et leurs impacts sur le milieu récepteur [3].

1.8.1 Paramètres physicochimiques**1.8.1.1 Température**

La température est un facteur écologique le plus apprécié et important du milieu. Elle joue un rôle très important dans l'activité biologique ainsi que dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier l'oxygène) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. Elle agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau [5].

1.8.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

Il mesure le caractère acide ($\text{pH} < 7$), basique ($\text{pH} > 7$) ou neutre ($\text{pH} = 7$) des eaux usées. Il détermine l'acidité (0 à 6,5), la neutralité (7) ou l'alcalinité (8 à 14) d'une solution aqueuse exprimée en concentration de H^+ ($\text{pH} = -\text{Log} [\text{H}^+]$). Sa valeur caractérise un grand nombre d'équilibres physico-chimiques qui altèrent la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5,5 et 8,5) [5].

1.8.1.3 Matières en suspension (MES)

Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi transportés par des matières biodégradables. Les MES donnent à l'eau une apparence trouble et une mauvaise odeur. Ces MES peuvent être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées [1].

1.8.1.4 Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est due aux particules colloïdales en suspension dans l'eau [6].

1.8.1.5 Conductivité

La conductivité est la propriété que possède une eau favorisant le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu, d'ions mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations. La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 [6].

1.1.8.6 Demande biochimiques en oxygène (DBO₅)

La DBO caractérise la pollution organique biodégradable. La détermination de celle-ci consiste à mesurer la consommation d'oxygène (en mg/L) par voie biologique à température constante et pendant un temps limité par convention à 5 jours [3].

1.1.8.7 Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO caractérise la pollution organique et minérale. Sa détermination consiste à mesurer la quantité d'oxygène (mg/L) nécessaire pour dégrader l'ensemble des matières oxydables (quelle que soit leur origine), biodégradables ou non [6].

1.1.8.8 Matière Oxydable (MO)

Elle est calculée à partir de la DBO₅ et de la DCO. C'est le paramètre utilisé par les agences de l'eau pour le calcul des redevances en matière de rejets aqueux industriels. Il est donné par la relation :

$$MO=(2\times DBO_5+DCO)\div 3$$

1.1.8.9 Demande théorique totale en oxygène (DTO)

C'est la quantité d'oxygène requise pour oxyder complètement le carbone en CO₂, l'hydrogène en H₂O et l'azote en nitrates NO₃⁻ [7].

1.1.8.10 Formes azotées

L'azote est utilisé comme indicateur majeur de la pollution organique. Il se trouve sous deux formes : organique (protéines, acides aminés, ...) et minéral (ammonium, nitrites, nitrates). L'azote total peut subir différentes transformations au cours de son cycle (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse, nitrique puis gazeuse). L'azote total comprend l'ensemble des formes azotées, aussi bien minérales qu'organiques [11]. On distingue:

- L'azote Total Kjeldahl (NTK) qui représente la somme de l'azote organique (Norg) et de l'azote ammoniacal (N-NH₄) ;
- Les nitrites (NO₂⁻) et nitrates (NO₃⁻) sous forme oxydée.

Selon [7], les composés azotés ont des effets différents sur les eaux usées:

- Azote organique : abaisse considérablement la concentration en oxygène ;
- Azote ammoniacal : abaisse la concentration en oxygène, toxique pour les poissons (pH>8)

- Nitrates : favorisent l'eutrophisation ;
- Nitrites : très toxiques pour les poissons.

1.1.8.11 Carbone organique total (COT)

C'est la quantité de matière exprimée en carbone (mg/L) contenue dans une solution, indiquant la charge organique d'une eau. Il complète les mesures de (DBO₅, et DCO), le rapport DCO/COT qui varie entre 0,6 et 4 dans le cas d'une eau usée urbaine [7].

1.1.8.12 Oxygène dissout (OD)

Sa présence dans l'eau est dispensable notamment pour son goût ; il est essentiel pour la survie de nombreux organismes. Il provient de la dissolution d'O₂ de l'air, de l'apport d'un effluent plus oxygéné, par la photosynthèse des plantes vertes aquatiques sous l'effet de la lumière. Il dépend de 3 paramètres : la pression, la température et la salinité [6].

1.1.8.13 Formes phosphatées

Le phosphore des eaux usées se trouve sous forme de phosphates. Il existe plusieurs catégories de phosphates qui peuvent être classifiées en trois groupes principaux [8].

- les orthophosphates (PO₄³⁻, HPO₄²⁻, H₂PO₄⁻) ;
- les phosphates condensés, comme les métaphosphates (PO₃⁻, P₂O₆⁻², P₃O₉⁻³, etc.), les Pyrophosphates (P₂O₇⁻⁴), les polyphosphates (P₃O₁₀⁻⁵), etc. ;
- les phosphates organiques comme les phosphoprotéines, les phosphoglucosides, les phospholipides et les acides nucléiques.

Les formes phosphatées présents dans les eaux usées ont différentes origines :

- les engrais transportés par ruissellement ;
- les matières fécales humaines et animales ;
- les détergents et produits d'entretien.

Les composés phosphorés sont des éléments nutritifs pour les végétaux et induisent donc une prolifération d'algues dans les eaux de surface. Selon la concentration

en phosphates dans l'eau, on peut observer un phénomène d'eutrophisation plus ou moins important [9].

1.8.2 Paramètres Bactériologiques

La contamination microbiologique est une forme de pollution de l'eau engendrée par la présence de microorganismes pathogènes tels que : virus, parasites ou bactéries. Elle est généralement liée à une contamination d'origine fécale, qui présente un risque pour la santé humaine et animale.

Les coliformes totaux, les bactéries *Escherichiacoli* (*E. coli*) et les streptocoques fécaux qu'on retrouve dans le tube digestif des humains et des animaux, sont de bons indicateurs permettant la détection de la contamination microbiologique dans l'eau. Leur présence constitue un bon indicateur de l'intensité de la pollution d'origine fécale et de la présence de microorganismes pathogènes dans les cours d'eau.

1.8.2.1 L'eau- vecteur de bactéries

Les eaux polluées par des matières fécales humaines et animales transportent divers microorganismes pathogènes pour l'homme, notamment les bactéries, les virus et les protozoaires. La transmission se fait par la voie féco-orale, et la contamination de l'homme se réalise suite à une consommation d'eaux de boisson ou d'aliment contaminé par l'eau, ou encore lors d'un contact des eaux à usage récréatif. Avec le développement de l'urbanisation, les problèmes d'hygiène et de santé publique liés à la contamination bactérienne de l'eau sont devenus de plus en plus critiques.

En **2004**, l'**OMS** révèle que, dans les pays en voie de développement, chaque année 1.8 million de personnes dont 90 % d'enfants de moins de 5 ans meurent de maladies diarrhéiques. Or, à l'échelle mondiale, près de 90 % des maladies diarrhéiques sont imputables à la mauvaise qualité de l'eau de boisson et à un assainissement insuffisant des eaux usées. Seules quelques dizaines d'espèces sont adaptées à l'homme : la plupart sont inoffensives ou même utiles, étant commensales et faisant partie des flores cutanées, digestive, buccale, génitale ; certaines sont pathogènes, opportunistes ; une minorité est régulièrement pathogène [8].

1.8.2.2 Micro-organismes pathogènes dans l'eau

1- Coliformes :

Sous le terme de « coliformes » est regroupé un certain nombre d'espèces bactériennes appartenant en fait à la famille des *Enterobacteriaceae*.

Les coliformes (regroupant les genres : *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Serratia*. sont des Bacilles à Gram négatif, non sporogone, oxydase négative, facultativement anaérobie, capable de croître en présence de sels biliaries ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaire, et capable de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 h, à des températures de 35 à 37°C (ISO 4831, v : 1991). Il existe deux catégories :

- Les **coliformes totaux** concernent le décompte total des bactéries de types coliformes. Bien que la plupart décrivent de substances végétales qui peuvent être d'origines fécaux (10 à 15%) ; ils servent d'indicateurs de pollution ou de contamination microbiologique.
- Les **coliformes fécaux** proviennent des intestins des excréments humains et animaux à sang chaud à une température de 37°C. La présence de ces bactéries dites pathogènes est très risquée pour la santé des êtres vivants et conduit à la mort (nausées, vomissement et diarrhée).

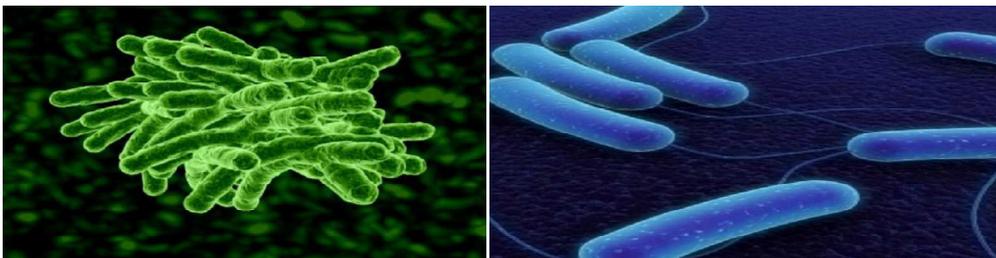


Fig. 5 – Coliformes totaux – Coliformes fécaux - *E-coli*.

2- Entérocoques (streptocoques fécaux)

La norme (ISO 7899-2) définit les streptocoques fécaux comme des « Microorganismes se développant à 37°C sur un milieu de Saleté et Bartley, donnant une réaction positive à 44°C sur une gélose biliée à l'esculine et qui, de plus, donne une réaction négative dans l'essai à la catalase ».

Dans la norme française (NF EN 7899-2) les entérocoques sont définis comme « Bactéries Gram positif, sphériques à ovoïdes, formant des chaînettes, non sporulées,

catalase négative, possédant l'antigène de groupe D cultivant en anaérobiose à 44°C, et à pH 9.6 et capables d'hydrolyser l'esculine en présence de 40% de bile ».

Ce sont des bactéries pathogènes toujours reliées à la contamination fécale (**fig. 6**). Les entérocoques résistent beaucoup aux substances aseptiques qui devraient empêcher leur croissance. Certains entérocoques peuvent se transformer en germes initiateurs de plusieurs maladies telles que les angines, les otites, les méningites. Toutefois, d'une façon générale les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que ceux spécifiquement pollués par le bétail, inférieures à celles des coliformes fécaux. Il faudra tenir compte de cette différence de concentration [8].

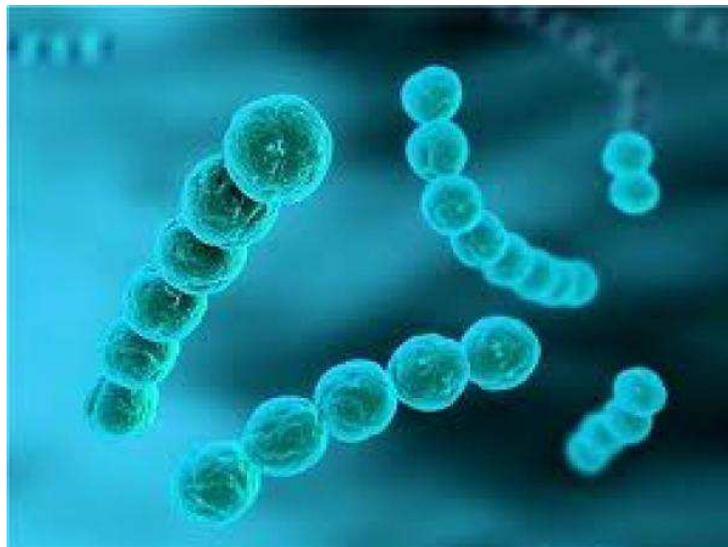


Fig. 6 – Streptocoques fécaux.

Le groupe des Streptococcies est vaste et divers, de sorte qu'il est difficile de classer ces bactéries de façon satisfaisante. Les 29 espèces du genre Streptococcie sont subdivisées en 4 groupes principaux : Les streptocoques pyogènes hémolytiques ; les streptocoques oraux ; les entérocoques ; les streptocoques lactiques. L'application à ces bactéries des techniques de biologie moléculaire a donné un nouveau système de classification. Le genre unique original est maintenant séparé en 3 genres différents: *Streptococcus* (comprenant la plupart des espèces pathogènes pour l'homme) ; *Enterococcus* (correspondant au précédent groupe des entérocoques et *Lactococcus* (correspondant aux streptocoques lactiques).

3- Bactéries sulfito-réductrices

Les *Clostridium* sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale. La forme spore décèle une pollution fécale ancienne ou intermittente.

L'espèce la plus susceptible d'être d'origine fécale est *Clostridium perfringens* [8]. Selon [6], les spores des bactéries anaérobies sulfite-réductrices et celles de *Clostridium perfringens* peuvent être intéressantes en tant qu'indicateurs de traitement. Donc la nomenclature sulfite réducteurs est attribuée à ces germes car ils ont comme point commun de réduire le sulfite de sodium en sulfure selon la réaction suivante : $\text{SO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow \text{S}_2^- + 3\text{H}_2\text{O}$.

1.9 Epuration des eaux usées

Introduction

Les eaux utilisées pour les besoins domestiques ou d'autres activités sont évacuées avec des substances qui peuvent polluer les milieux récepteurs, perturber les équilibres écologiques, nuire à la santé publique et aux multiples usages de l'eau plus en aval. Elles doivent donc subir un traitement avant rejet soit individuellement grâce à un assainissement non collectif, soit dans une station d'épuration à laquelle elles parviennent par le réseau collectif d'assainissement. Le but du traitement est de séparer l'eau des substances indésirables pour le milieu récepteur.

Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes : physique et biologiques mais le plus souvent, le processus est biologique car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques.

Une station d'épuration est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter [10].

1.9.1 Procédé d'épuration des eaux usées

1.9.1.1 Prétraitement

Le prétraitement a pour objectif d'éliminer une grande partie des éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) provenant à la station d'épuration afin de protéger le relèvement des eaux brutes, les conduites contre les obstructions et les autres appareils de traitement contre l'abrasion, et plus généralement pour éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs. Les étapes d'un prétraitement sont :

1-Dégrillage

À l'arrivée à la STEP, les eaux résiduaires brutes doivent subir un dégrillage permettant de séparer et d'évacuer les matières et les éléments de grandes dimensions (chiffons, matières plastiques, etc.) qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la STEP, nuire à l'efficacité des traitements suivants et amener à des risques de colmatage dans les différentes unités de l'installation.

Le dégrillage (**fig. 7**) consiste à faire passer les eaux usées au travers une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers par trois étapes :

- **Pré-dégrillage** : se fait manuellement par un pré-dégrilleur, avec grille à barreaux espacés plus de 50mm ;
- **Dégrillage moyen** : se fait automatiquement par un dégrilleur moyen, avec grille à barreaux espacés de 35mm ;
- **Dégrillage fin** : se fait automatiquement par un dégrilleur fin, avec grille à barreaux espacés de 10mm.



Fig. 7 – Dégrilleur de la STEP.

2- Dessablage

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments qui peuvent décanter facilement les sables et les particules minérales plus ou moins fines mais dont la dureté et la taille sont relativement importantes (> 0.2 mm de diamètre) de façon à éviter leurs dépôts dans les canaux et les conduites pour protéger les pompes et les autres appareils contre l'abrasion. On élimine ces matériaux facilement décantables dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires. Le dessablage a pour but d'éliminer les matières lourdes de granulométrie égale ou supérieure à 200 microns.



Fig. 8 – Dessablage de la STEP.

3-Dégraissage - Déshuilage

Les eaux usées urbaines contiennent souvent des matières flottantes qui passent à travers les grilles (huiles, hydrocarbures, débris de graisse). Les huiles et les hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération dans le cas des boues activées ; il est donc nécessaire de piéger ces substances au niveau du prétraitement par un dispositif d'écumage (**fig. 9**). Pour faire un bon dégraissage, il faut assurer une température de l'eau inférieure à 30°C.

Cette opération est destinée à éliminer les graisses et les huiles à cause des inconvénients dans l'eau tels que :

- Envahissement des décanteurs.
- Diminution des capacités d'oxygénation des installations du traitement.
- Mauvaises sédimentations dans les décanteurs.
- Bouchage des pompes et des canalisations.



Fig. 9 - Dégraissage – Déshuilage. Bassin de récupération d'eau de la STEP.

4- Ouvrage de répartition



Fig. 10 - Ouvrage de répartition de la STEP.

1.9.1.2 Traitement primaire

❖ Décantation primaire

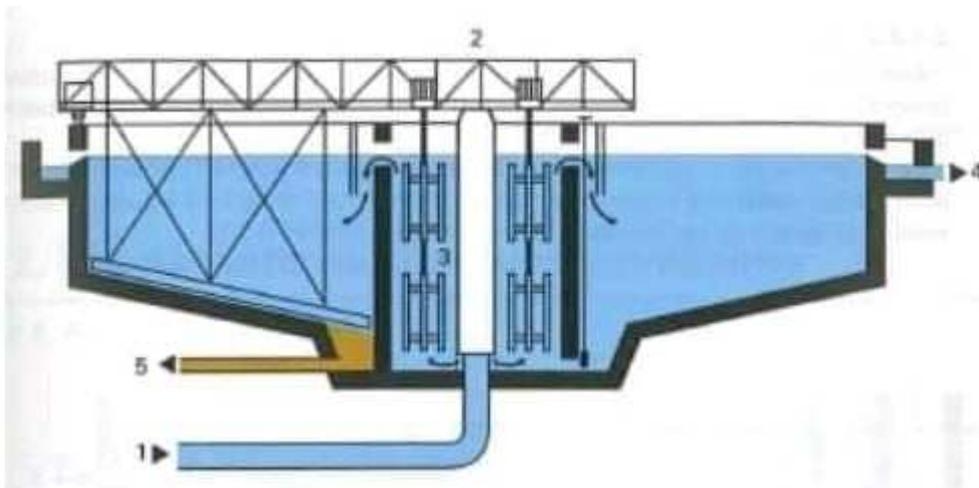
Ça consiste en une séparation des éléments liquides et solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les « boues primaires [15].

Ce procédé a pour objectif de réduire 90% des matières décantables contenues dans l'effluent primaire (non retenue par le prétraitement), en éliminant une partie des particules solides en suspension de diamètre inférieur à 0.2mm. On fait circuler l'eau lentement dans un bassin où on racle et aspire périodiquement les particules rassemblées au fond. L'efficacité de ce traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (**fig. 11**).

Le processus de décantation réside dans l'utilisation des forces de gravité pour séparer une particule de densité supérieure à celle du liquide jusqu'à une surface ou une

zone de stockage. Après l'élimination des particules de sable et les huiles, les eaux contiennent des matières minérales et organiques décantables. Cette opération est utilisée pour:

- Capturer une quantité importante de la pollution organique ;
- Réduire le risque de colmatage du système de traitement biologique ;
- La décantation primaire, pour une vitesse ascensionnelle de $1.2\text{m}^3/\text{h}$ permet d'éliminer :
 - 25 à 35 % de la DBO5.
 - 50 à 60 % des matières en suspension (MES).
 - 90 % des matières décantables.
 - 10 à 30 % des virus, l'azote, phosphore, métaux et des germes pathogènes.



- 1-arrivée des eaux brutes
- 2-pont racleur
- 3-zone de floculation
- 4-sortie des eaux décantées
- 5-évacuation des boues

Fig. 11 - Schéma d'un décanteur primaire.

Plusieurs types des décanteurs sont présents :

- ✓ **Décanteur parfait** : C'est un décanteur idéal caractérisé par:
 - régime d'écoulement laminaire avec l'absence de turbulences
 - la répartition des matières en suspension est uniforme
 - l'immobilité des particules décantées lorsque elles atteignent le fond du décanteur.

✓ **Décanteur réel** : où il y a plusieurs facteurs qui perturbent le décanteur idéal tels que:

- l'existence de turbulences et le régime de l'écoulement sont rarement laminaires.
- la densité l'eau est partiellement différente, la décantation n'est pas homogène.
- les différences de température créent des courants de convection. .
- le vent provoque aussi des courants qui influent sur la décantation.

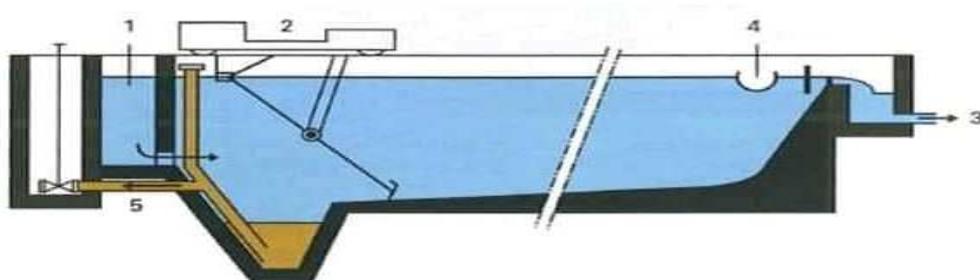
Ces facteurs influent directement sur le fonctionnement du décanteur, et peuvent:

- Baisser la vitesse de chute effective par rapport à la vitesse théorique calculée.
- Augmenter le temps de séjour réel ; ce qui provoque un rendement du décanteur ne dépassant pas 63 %.

On distingue plusieurs types de décanteurs réels :

1-Décanteur longitudinal

Il est composé par des bassins longitudinaux avec des parois inclinées d'un angle de 50° à 60° avec l'horizontale pour éviter l'accrochage des boues sur les parois, avec des vitesses de l'effluent faibles traversant ces bassins généralement dans une durée de 1 à 2 h (temps sec). La longueur est dans la limite de 4 à 8 m, avec une profondeur comprise entre 1.5 et 2 m pour assurer une bonne répartition des matières. Le raclage des boues est assuré à l'aide des ponts racleurs qui se déplacent selon un mouvement de va-et-vient (**fig. 12**).



- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1- arrivée des eaux brutes | 4- Reprise des flottants |
| 2- pont racleur | 5- évacuation des boues |
| 3- Sortie d'eau décantée | |

Fig. 12 - Décanteur longitudinal.

2- Décanteur circulaire

Ces décanteurs ont des diamètres entre 50 et 60m et peuvent aller jusqu'à 90m dans certains cas. La forme circulaire est particulièrement sensible aux effets du vent qui

peut perturber la bonne répartition des filets liquides. L'arrivée de l'eau se fait par un flûta central, et le système de raclage radial du fond à une charpente formant une passerelle constituée d'une ou plusieurs lames montées en jalousie selon les tailles des décanteurs.

Ce type de décanteur a une construction relativement économique par rapport aux décanteurs rectangulaires en raison de la faible épaisseur des parois circulaires de béton armé et ainsi que la faible densité d'armature (**fig. 13**).



Fig. 13 - Pont Décanteur Circulaire pour les Bassins de décantation de la STEP.

3- Décanteur lamellaire

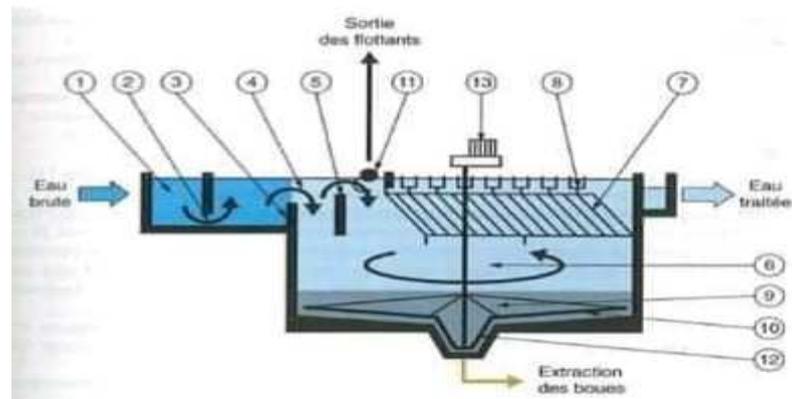
Ce type de décanteur, préconisé pour les eaux naturelles destinées à la consommation, permet de piéger rapidement la majorité des particules fines colloïdales, du fait que la hauteur de chute est de 4 à 9 cm [4]. Son utilisation permet d'accroître le rendement de la décantation. Il comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère le processus de dépôt des particules. Une décantation lamellaire permet d'éliminer plus de 70 % de MES et diminue de plus de 40 % la DCO et la DBO (**fig. 14**).

❖ Décantation secondaire (Clarification)

Elle intervient après le traitement biologique ou chimique, afin d'éliminer les floccs issus de ces derniers. Lors des phases de décantation, l'élimination des microorganismes et des micropolluants se fait principalement par décantation de MES (sur lesquelles ils sont adsorbés).

La séparation du flocc a lieu pendant la phase de clarification (décantation secondaire). Les procédés les plus modernes utilisent du micro-sable injecté dans

l'effluent afin d'accélérer la décantation des floccs. On parle alors d'élimination à floccs lestés [11].



- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1-Canal d'alimentation | 8-Goulot ion de reprise d'eau traitée |
| 2-Orifice noyé | 9-Zone d'accumulation des boues |
| 3-Mur de dissipation d'énergie | 10-Racleur de fond |
| 4-Zone d'alimentation | 11-goulotte de reprise des flottants |
| 5-Détecteur | 12-ternie |
| 6-zone de décantation | 13-Entrainement |
| 7-Modules de lamellaire | |

Fig. 14 - Schéma du décanteur lamellaire.

1.9.1.3 Traitement physico-chimique

Le traitement physico-chimique est le procédé le mieux adapté aux variations saisonnières de la charge polluante ou de l'existence des matières toxiques. Il comprend trois opérations principales :

-La **coagulation-floculation** (fig. 15) permet d'éliminer jusqu'à 90 % deMES et 75 % de DBO. Cette technique comporte une première phase d'adjonction d'un réactif, qui provoque l'agglomération des particules en suspension. Les amas de solides ainsi obtenus sont appelés « floccs » [13].

La coagulation est donc la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique, le coagulant, qui apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique (polyélectrolyte cationique). Parmi les coagulants utilisés, on peut citer :

- Sulfate d'aluminium $Al_2(SO_4)_3$
- La chaux CaO , $Ca(OH)_2$
- Chlorure ferrique $FeCl_3$

- Sulfate de fer FeSO_4
- Aluminate de soude NaAlO_2

La **floculation** est l'agglomération des particules (préalablement « déchargées ») en microflocs par pontage, soit par les hydroxydes résultant de l'hydrolyse du coagulant minéral. Les microflocs s'agrègent ensuite en flocons plus volumineux et décantables, le flocc. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif : l'adjuvant de floculation, plus simplement appelé le floculant. Les floculants utilisés sont :

- Silice active (SiO_2) ;
- Alginate ($\text{S}_6\text{H}_6\text{O}_6$)_n;
- Silice aluminée ($\text{AlO}_4/\text{SiO}_4$) ;
- Amidon ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n ;
- Certaines argiles
- Charbon actif en poudre.

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floccs dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration. Ils constituent les traitements de base appliqués pour corriger tout ou partie des défauts de l'eau liés aux fractions particulaires inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (microalgues planctoniques)[14].

Ce type de traitement n'est utile que dans le cas où le rejet d'eaux usées est très chargé ; ce qui implique que le traitement biologique est pratiquement non applicable. Il est généralement utilisé dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique). Ils comportent classiquement deux phases : une phase de coagulation par des sels de fer ou d'aluminium, puis une floculation des colloïdes formés.

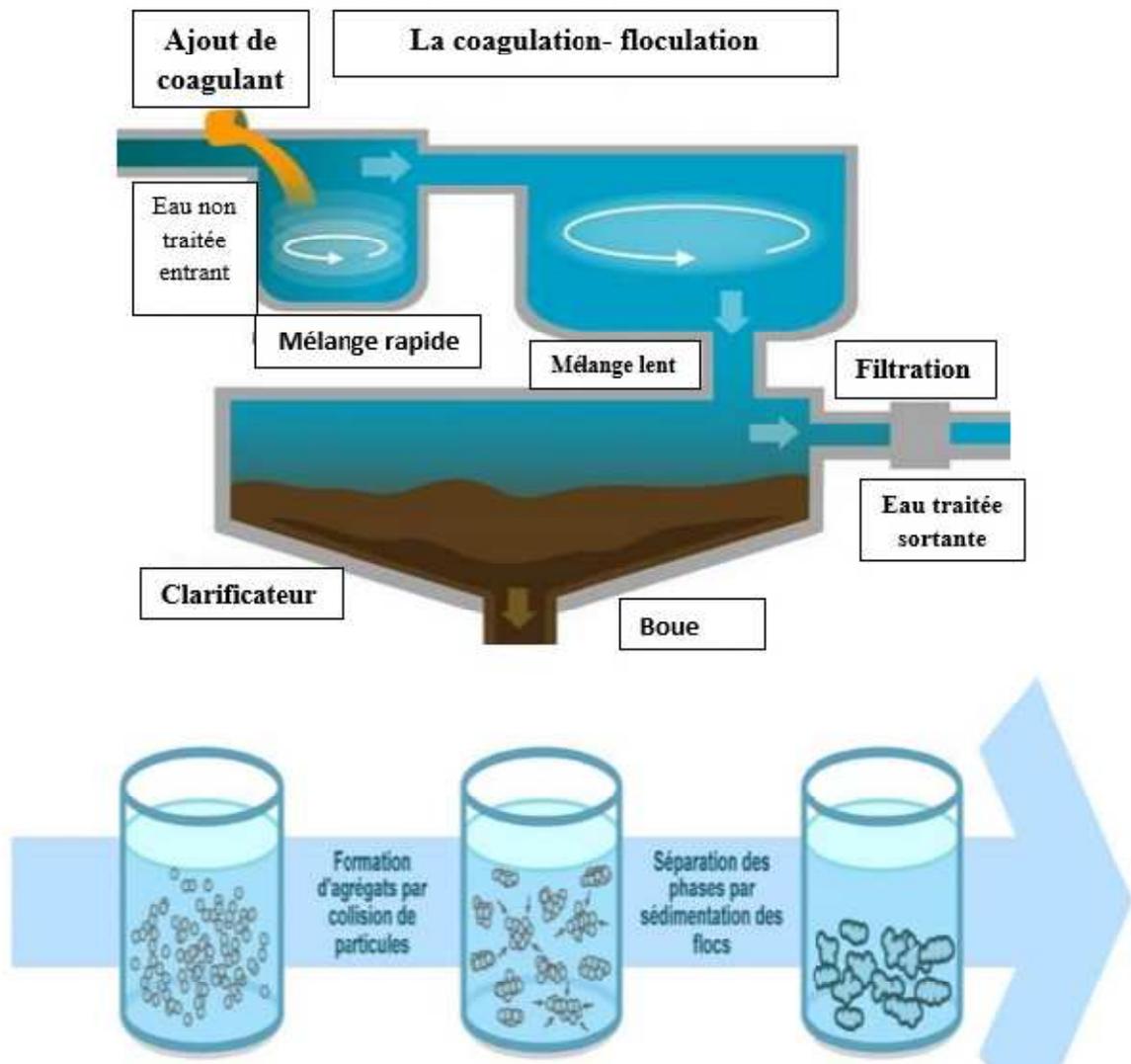


Fig. 15 - Schéma du procédé de coagulation- floculation.

1.9.1.4 Traitement biologique

Le traitement secondaire est un traitement purement biologique des eaux usées et a pour but de réduire la teneur en matière organique et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) présentes dans ces eaux et leur dégradation biologique par les micro-organismes (fig. 16). Parmi les divers micro-organismes responsables de la dégradation on trouve les bactéries aérobies et les bactéries anaérobies. Pour se développer, celles-ci se nourrissent de la pollution organique. Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonée et azotée s'appuie sur des procédés de nature biologique.

Le principe du traitement consiste à mettre en contact une biomasse composée de bactéries aérobies, des substances nutritives (substances organiques présentes dans les eaux) et de l'air. Les bactéries, mises dans des conditions favorables pour pouvoir se

développer (présence d'air) se nourrissent des substances organiques et se reproduisent par scissiparité (scission en deux parties égales de la bactérie). On peut grossièrement classer les micro-organismes en :

- Germes aérobies qui exigent de l'oxygène pour leur métabolisme;
- Germes anaérobies qui tirent leurs besoins énergétiques de la matière organique en absence de l'oxygène;
- Germes facultatifs qui ont un métabolisme aérobie et un métabolisme anaérobie.



Fig. 16 - Bassin du traitement biologique de la STEP.

L'épuration des eaux usées fait appel à deux types de procédés : à culture bactérienne fixe et à culture dispersée (libre). Plusieurs procédés existent à ce stade du traitement biologique. Ce sont les procédés à culture en suspension ou procédés biologiques extensifs (le lagunage, l'épandage) et les procédés biologiques intensifs (lits bactériens, disques biologiques) [8].

1- Les procédés biologiques extensifs

Ce type de procédé utilise la capacité épuratrice de plans d'eau peu profonds, c'est ce qu'on appelle le lagunage naturel (**fig. 17**). Les eaux usées sont envoyées dans une série de bassins où l'oxygène est apporté par les échanges avec l'atmosphère. La pollution organique se dégrade sous l'action des bactéries présentes dans le plan d'eau. Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 à 90 % de DBO, 20 à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes.

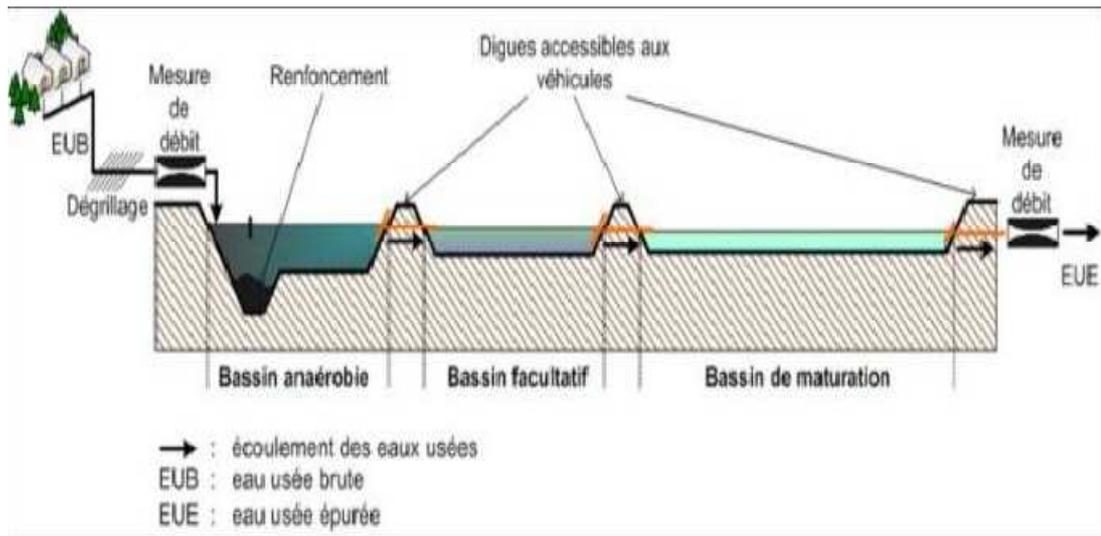


Fig. 17 - Epuration des eaux usées par lagunage naturel

On distingue trois types de lagunage : le lagunage aérobie, le lagunage facultatif et le lagunage anaérobie.

Lagunage aérobie

Ce type de lagunage est généralement de profondeur 1 à 1.2 m et ne dépassant pas 3m. C'est le siège du développement d'algues microscopiques ou des bactéries aérobies.

Lagunage facultatif

L'étang facultatif se divise en deux couches : une couche aérobie en surface composée d'algues produisant l'oxygène par photosynthèse et une couche en anaérobie au fond. La couche aérobie présentera une variation diurne de la teneur en oxygène avec décroissance nocturne, les dépôts de boues au fond subiront une décomposition anaérobie avec production de méthane et d'autres gaz. [4]

Lagunage anaérobie

Le temps de séjour est supérieur à 20 jours et dépasse fréquemment 50 jours, la charge journalière appliquée en DB05 est de l'ordre (200 à 500) kg/hectare/jour. Le rendement d'élimination peut varier sur une large plage de 50 à 80 % une profondeur importante de 5 à 6 m, elle se caractérise par des dégagements gazeux (NH_4 , CH_4 , CO_2) sans nuisance sur la pollution de l'air.

Dans ce type de lagunage, le rendement d'épuration exempté essentiellement du développement d'une fermentation méthanique, il n'est de ce fait applicable que sur des

effluents à forte concentration et le plus souvent ces lagunes deviennent inefficaces par basse température, elles ne sont donc utilisables que dans des zones suffisamment isolées et avec des conditions climatiques favorables (température 30°C).

Le lagunage présente des avantages et des inconvénients :

Avantages

- Adaptation aux variations de charges polluantes ;
- Contrôle et entretien réduits;
- Aucune source d'énergie ;
- Investissement modéré si le terrain est disponible à bas prix;
- Bon rendement sur les germes pathogènes;
- Bon rendement sur le phosphore.

Inconvénients

- Surface nécessaire très importante;
- Imperméabilité des bassins nécessaire;
- Rendement faible au climat froid ;
- Temps de séjour élevé.

Le but de cette technique : est d'avoir un très bon rendement d'élimination des charges en DBO5 et en MES et aussi une excellente épuration microbiologique des eaux usées ; une accumulation importante des métaux lourds aux fonds du réservoir.

L'épandage :

C'est le procédé le plus ancien, il consiste à déverser directement sur le sol perméable des eaux usées, où les granulats constituant le sol sont alors un matériau de support de microorganismes, ces derniers servent à dégrader la matière organique. Ce procédé peut être dangereux dans la mesure où les eaux qui s'infiltrent à travers le sol peuvent contaminer la nappe. L'épandage présente des inconvénients et des avantages :

Inconvénients :

L'épuration par épandage présente des risques d'intoxication à travers la chaîne alimentaire, des risques de contamination des nappes et le risque de colmatage des sols.

Avantages :

L'épandage présente l'avantage d'être un procédé simple et très économique, n'exigeant pas de grands moyens de mise en œuvre ou d'exploitation et permet la fertilisation des sols pauvres par un apport de substances nutritives contenues dans l'effluent.

Le traitement par boues activées

Les bactéries aérobies sont soumises à une oxygénation intense dans un bassin d'aération. Cette oxygénation permet aux bactéries de se développer rapidement car elles assimilent les matières organiques contenues dans l'effluent qui circule au courant contenu et elles s'agglutinent en flocons gélatineux qui décantent pour constituer des masses de flocons appelées «boues activées ».Le processus est naturel et consiste à faire développer le floc bactérien dans un bassin d'aération alimentée en eau usée. Les boues activées sont entraînées par l'effluent qui s'évacue en trop plein du bassin d'aération vers le clarificateur, et une partie sera récupérée pour être renvoyée dans le bassin d'aération pour maintenir le taux de la concentration de bactéries nécessaires au traitement des matières dégradables contenues dans l'effluent. Le traitement par boues activées élimine 85 à 95% de DBO₅ [6].

2- Procédés biologiques intensifs

Les techniques les plus utilisées au niveau des stations d'épuration sont des procédés biologiques intensifs. Ces procédés n'utilisent que des surfaces réduites et permettent d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

- Epuration sur lit bactérien

C'est une technique de traitement qui s'inspire de la filtration par le sol. Le principe des lits bactériens consiste à faire ruisseler l'eau à traiter préalablement décantée sur une masse de matériaux poreux qui sert de support aux microorganismes. Ce principe se base sur trois paramètres: le Choix des matériaux, la Répartition de l'effluent et l'Utilisation de recyclage.

Pour avoir un bon rendement, l'apport d'oxygène nécessaire aux microorganismes est fourni par l'aération sous forme d'un film biologique sur la surface des matériaux. Cette technique élimine jusqu'à 80% de la DBO.

Principe de fonctionnement :

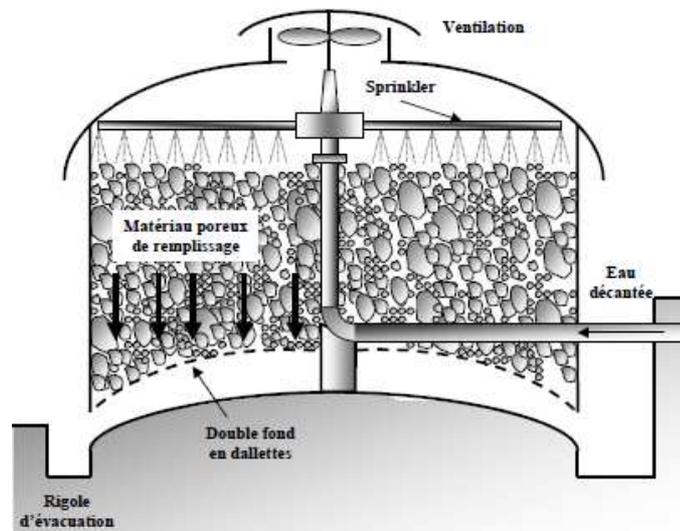
Les eaux usées arrivent par le système de distribution des effluents dans le lit bactérien qui est réalisée par des éléments fixes (rigoles, rampes fixes) ou mobiles (sprinklers rotatifs), elles sont ensuite dispersées sur le support bactérien qui repose sur un système de support. Le ruissellement des eaux sur les supports permet le développement d'un film biologique. L'oxygénation par ventilation naturelle (ou forcée) va permettre le traitement de ces eaux notamment pour les solutions dissoutes (carbone et ammoniac). La conception du lit permet de limiter l'épaisseur du film par un auto curage hydraulique (**fig. 18**).

Le traitement des eaux usées par lit bactérien possède des avantages pour les exploitants des stations d'épuration que ce soit sur le confort d'utilisation ou le coût d'exploitation limité. On note aussi d'autres avantages, tels que :

- Absences de nuisances (odeurs, bruits, aspect)
- Faible emprise au sol
- Modularité de l'ouvrage
- Intégration à l'environnement naturel
- Réduction importante des boues de stockage
- Faible consommation d'énergie
- Simplicité de gestion

- La bio filtration

C'est aussi une culture bactérienne fixée sur un support granulaire. Le milieu granulaire sert à la fois de filtre et de support aux cultures bactériennes. Cette installation offre donc la possibilité de réaliser conjointement la dégradation des matières polluantes et la clarification des eaux usées. C'est un système d'aération qui apporte de l'oxygène nécessaire à l'intérieur du filtre. Cette technique élimine l'azote et environ 90 % de DBO.



Lit bactérien

Éléments de remplissage du lit bactérien

Fig. 18 - Principe d'un lit bactérien et Eléments de remplissage du lit bactérien.

- Epuration sur Disque biologique

Dans le procédé à biodisque, le support est constitué par des disques parallèles régulièrement espacés sur un axe horizontal, tournant à faible vitesse et immergés sur la moitié de leur hauteur. Ce mouvement induit une oxygénation de la culture pendant la période d'immersion. Le disque biologique est une variante des lits bactériens dans lesquels les microorganismes se développent (**fig. 19**).

Ce procédé est caractérisé par :

- la profondeur d'immersion des disques (généralement deux mètres);
- la vitesse de rotation de l'arbre qui doit être optimale pour permettre une aération et une fixation des bactéries convenable ;
- la température doit être comprise entre 15 et 29°C [4].

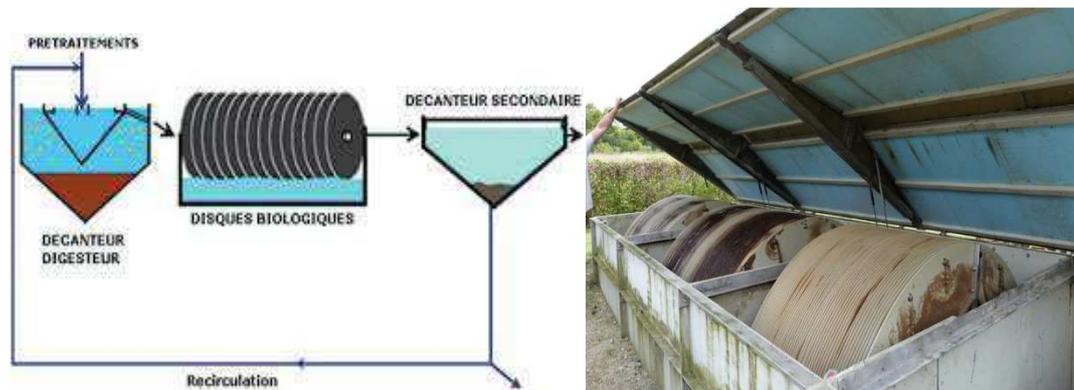


Fig. 19 - Procédé des disques biologiques

Ce procédé possède des inconvénients et des avantages :

Inconvénients :

Les disques ne s'adaptent pas au traitement à forte charge, ils sont très sensibles à la qualité des eaux à traiter, aux pointes excessives des concentrations et de débits. Aussi, ce procédé par biodisque ne s'adapte qu'au traitement des effluents de petites agglomérations.

Avantages :

Ce procédé est d'une extrême simplicité d'exploitation et économique. En plus des avantages inhérents aux systèmes à cultures fixées, sécuritaires vis-à-vis des pertes de biomasse épuratrice, dans la limite de la charge prévue au projet, la croissance du biofilm des disques s'autorégule en fonction de la charge traitée; il permet : une Consommation énergétique modérée (de l'ordre de 1KWh/Kg de DBO éliminée) et un bon épaissement de boues par décanteur -digesteur.

1.9.1.5 Traitement tertiaire

Certains rejets d'eaux usées sont soumis à des réglementations spécifiques concernant l'élimination de l'azote, du phosphore ou des germes pathogènes qui se fait par le traitement tertiaire. Pour l'élimination de l'azote, il est réduit dans un premier temps en nitrates et est oxydé par les bactéries par nitrification puis ces nitrates se transforment en gaz diazote par un processus biologique. L'élimination du phosphore (ou déphosphatation) se fait soit par la voie physico-chimique, soit par la biologique [4]. La déphosphatation biologique est basée sur la succession de phases aérobies et anaérobies au cours du traitement biologique mais son rendement est en moins bon que celui fait par la déphosphatation physicochimique.

Pour obtenir une épuration plus poussée, il peut être nécessaire d'effectuer des traitements complémentaires de type :

- Filtration sur lit de sable ;
- Désinfection par le chlore ou d'autres produits oxydants ;
- L'élimination de l'azote ;
- L'élimination du phosphore.

1-Elimination de l'azote

Les stations d'épuration des eaux usées éliminent par les matières organiques jusqu'à 20% d'azote. Les procédés biologiques sont aujourd'hui de plus en plus compétitifs et les mieux adaptés pour l'élimination azotée des effluents, ils sont très facile à réaliser à des couts modérés. L'élimination de la pollution azotée est basée sur deux processus différents : la nitrification et la dénitrification (figs. 20, 21).

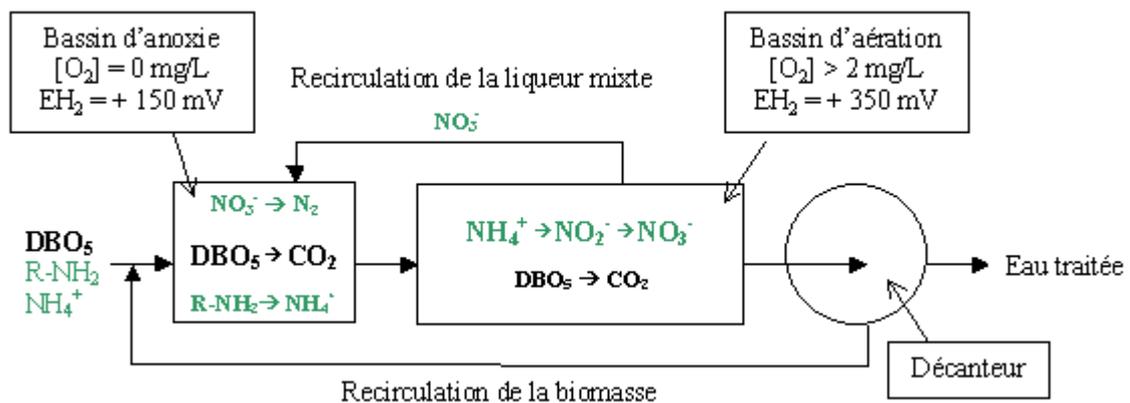
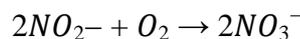


Fig. 20 - Traitement biologique du carbone et de l'azote.

➤ **La nitrification**

La nitrification consiste en la transformation de l'ammoniaque en nitrates. Elle est réalisée de façon biologique par les bactéries nitrifiantes selon les équations suivantes :



La nitrification se produit par un traitement aérobie tertiaire plus long et favorisée par l'augmentation du temps de rétention et la qualité de l'air injectée.

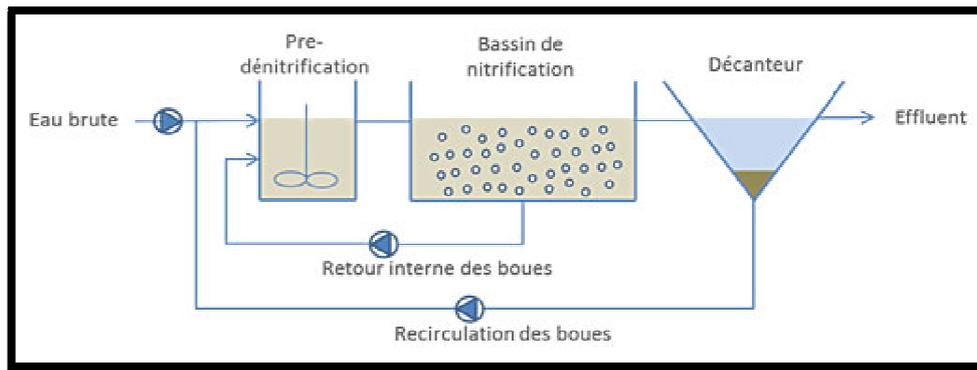


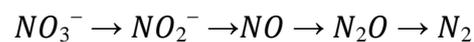
Fig. 21 - Processus de nitrification.



Fig. 22 - Fraction de l'azote à l'entrée de la STEP.

➤ La dénitrification

La dénitrification (figs. 23, 24) est le processus par lequel les bactéries dénitrifiantes anaérobies convertissent le nitrate en azote gazeux (N_2). Cette opération est réalisée en absence d'oxygène selon la réaction suivante :



En pratique, cette étape sera réalisée grâce à un bassin tertiaire anaérobie.

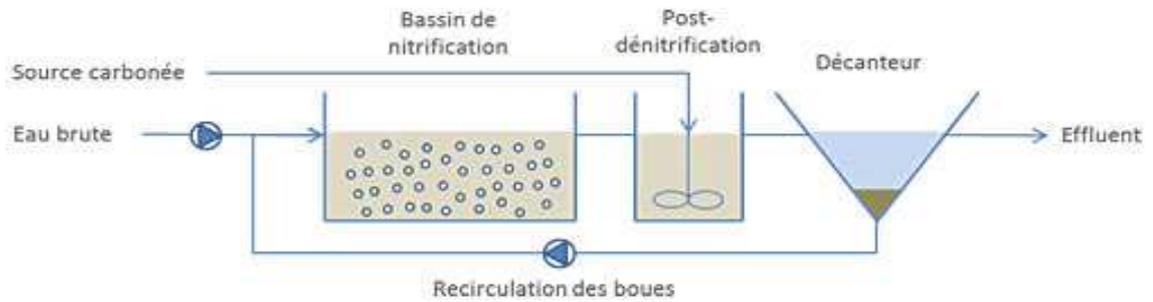


Fig. 23 – Processus de Dénitrification.

La dénitrification permet d'éliminer l'azote total. Ce processus se déroule dans un réacteur biologique anoxique sous l'effet de microorganismes particuliers qui se développent aux dépend d'un apport en carbone organique [11].

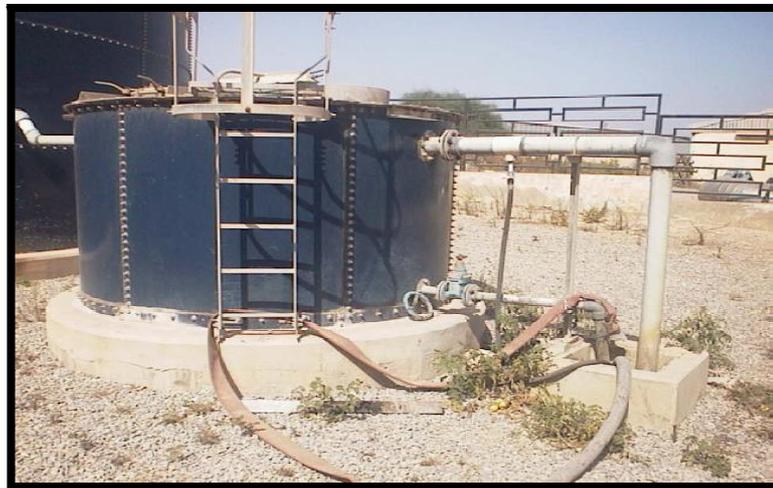


Fig. 24 - Bassin d'aération et dénitrification de la STEP.

L'élimination de l'azote peut être classée en fonction des niveaux de qualité à atteindre pour une eau épurée. On distingue :

- ✓ les procédés biologiques réalisant une nitrification seule ;
- ✓ les systèmes d'épuration biologique réalisant l'élimination de l'azote par nitrification dénitrification [18].



Fig. 25 - Gaz de la nitrification et la dénitrification en phase anaérobie/aérobie.

2- Elimination du phosphore

L'élimination du phosphore (ou déphosphatation) peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques (fig 26).

En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Les techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues[13].

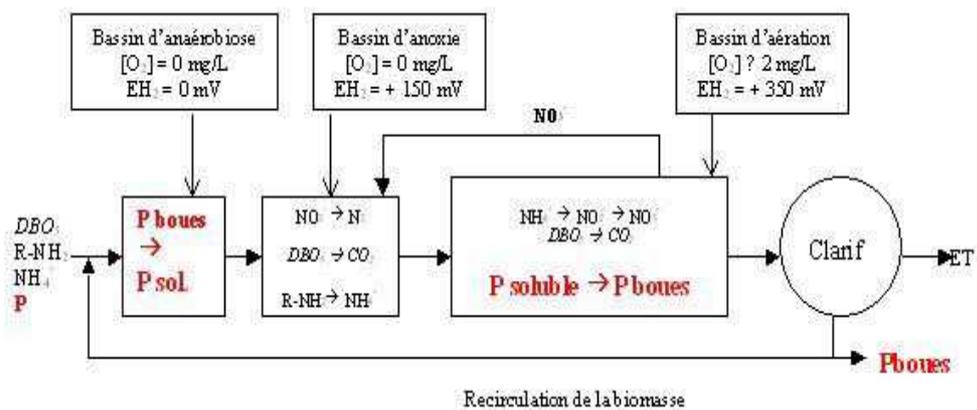


Fig. 26 – Déphosphatation.

La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Il convient de développer préalablement un type de microorganisme accumulateur du phosphore et naturellement présent dans les eaux usées. Le développement de ce type de microorganisme s'accomplit dans des bassins

fonctionnant en anaérobiose et situés en tête des ouvrages du traitement secondaire. Les mécanismes du déphosphatation biologique sont relativement complexes et leur rendement est variable (en fonction notamment de la pollution carbonée et des nitrates présents dans les eaux usées). Le rendement moyen est d'environ 60%. Dans les grosses installations d'épuration, ce procédé est souvent couplé à un déphosphatation physicochimique, pour atteindre les niveaux de rejets requis. Cette déphosphatation demande une alternance de phases anaérobie et aérobie.

Phase anaérobie :

- Synthèse à partir de la pollution carbonée facilement assimilable de polymères stockés dans les cellules ;
- relargage de phosphore lié à la consommation de l'énergie stockée sous forme de polyphosphate pour la réaction précédente[16].

Phase aérobie :

Oxydation des polymères organiques avec production d'énergie stockée par la synthèse de polyphosphate[16]

1.9.1.6 Clarification

La clarification permet de séparer par décantation, l'eau épurée des boues secondaires issues du traitement biologique (**figs. 27, 28**). Cette décantation se fait dans les ouvrages spéciaux, le plus souvent circulaires appelés clarificateurs ou décanteurs secondaires. Une partie des boues secondaires est évacuée en aval vers le traitement des boues ; l'autre partie est recyclée vers le bassin d'aération pour maintenir la masse biologique nécessaire au fonctionnement de l'installation.

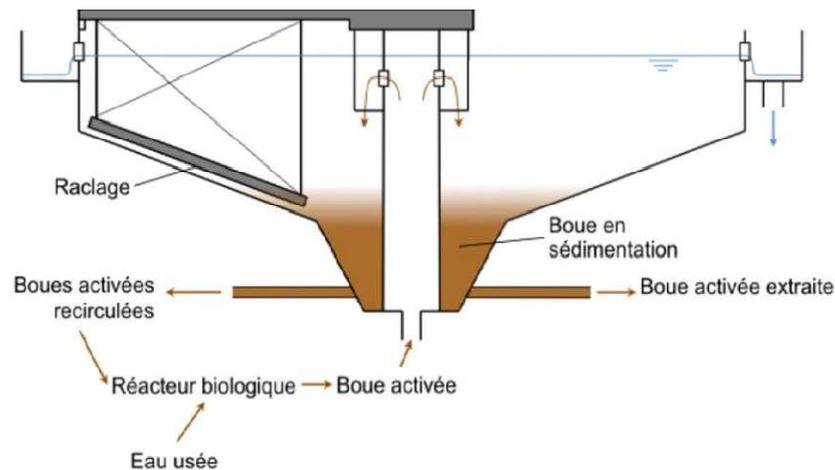


Fig. 27 - Système de séparation de l'eau, des boues dans un clarificateur.

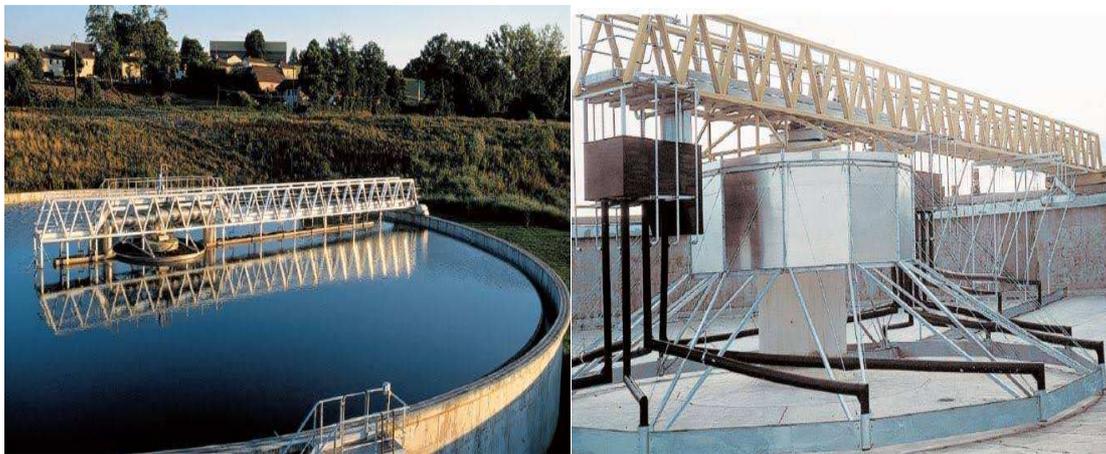


Fig. 28 – Clarificateur de la STEP.

1.9.1.7 Rejet de l'eau épurée dans le milieu naturel

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans les eaux usées et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture [13]. Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre (fig. 29). Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit, dans les eaux usées épurées ou brutes. Une lame de 100 mm d'eau résiduaire traitée peut apporter à l'hectare de terre agricole : de 16 à 62 kg d'azote, de 2 à 69 kg de potassium, de 4 à 24 kg de phosphore, de 18 à 208 kg de calcium, de 9 à 100 kg de magnésium, de 27 à 182 kg de sodium [12].



Fig. 29 – Canal du rejet du complexe GL1/Z.

Conclusion

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre d'une part, la définition des eaux usées, l'aspect des eaux, l'origine des eaux usées et leur collecte. Et d'autre part, les différents types de pollutions des eaux usées et leur impact sur l'environnement. Ainsi que les normes internationales et les normes nationales.

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer son origine et de connaître l'importance de leur charge polluante, dont la contamination microbiologique par des microorganismes pathogènes a des conséquences importantes sur la santé humaine et celle des autres êtres vivants.

Avant que les eaux usées ne soient rejetées dans le milieu naturel, elles doivent être acheminées vers une station d'épuration où elles subiront plusieurs phases d'épuration selon des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution.

Qui dit épuration des eaux, dit également production de boues. Pourtant, dans un premier temps, l'objectif de ces stations a été essentiellement de garantir le rejet d'une eau de qualité définie en se préoccupant peu des boues engendrées par les procédés d'épuration. La tendance actuelle est différente car les boues, au même titre que l'eau épurée, sont considérées comme un élément qui contribue à l'impact environnemental. Néanmoins ces stations qui produisent des boues sont les plus utilisées à travers le monde pour le traitement des eaux usées.

Chapitre 2

La réutilisation des eaux usées

Introduction

La réutilisation des eaux usées traitées (ou REUT) se présente comme un enjeu politique et socioéconomique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement. Elle présente l'avantage d'assurer une ressource alternative, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau.

2.1 Définition de la réutilisation des eaux usées

La réutilisation des eaux usées, ou recyclage, consiste à récupérer les eaux usées après plusieurs traitements destinés à en éliminer les impuretés, afin de stocker et d'employer cette eau à nouveau. Le recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués. L'intérêt en est cependant limité quand il n'y a pas de tension quantitative sur la ressource en eau dans le secteur concerné[1].

2.2 Principales voies de réutilisation

La réutilisation des eaux usées épurées peut être réalisée de deux manières :

- La réutilisation directe : qui correspond à l'emploi immédiat des eaux usées, après épuration ; sans passage ni dilution de ces eaux dans le milieu naturel.
- La réutilisation indirecte : qui correspond à l'emploi des eaux usées épurées, après leur rejet et dilution dans le milieu naturel (cours d'eau, barrage, nappe d'eau souterraine....).

En fonction des exigences de qualité des consommateurs, deux grandes classes de réutilisation peuvent être définies :

- Les usages potables qui peuvent être directs, après un traitement poussé, ou indirects, après passage dans le milieu naturel.
- Les usages non potables dans les secteurs agricoles (irrigation), industriel et urbain[2].

2.3 Catégories de réutilisation de l'eau**2.3.1 Réutilisation à titre d'eau potable**

La réutilisation directe à titre d'eau potable, soit l'acheminement direct d'une eau récupérée à un système d'approvisionnement en eau potable. La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel. Les eaux épurées sont directement

acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable (système « pipe to pipe »).

L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie. Cependant, ce mode de REUE sans passer par le traitement supplémentaire offert par le milieu naturel est déconseillé. Il doit être mis en œuvre uniquement quand aucune autre solution n'est possible. La réutilisation indirecte à titre d'eau potable fait référence à l'augmentation des sources d'approvisionnement en eau potable à partir d'eaux récupérées hautement traitées.

La réutilisation est indirecte et non planifiée quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Cette notion est à la limite de la définition d'une REUE. La réutilisation est indirecte et planifiée quand elle consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement. La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des eaux usées épurées ; elle a lieu essentiellement dans les zones arides ou semi-arides [5].

2.3.2 Utilisations urbaines et irrigation des cultures vivrières

La plus répandue, permettant d'exploiter la matière fertilisante contenue dans ces eaux réalisant ainsi une économie d'engrais. Cette catégorie de réutilisation exige une qualité d'eau assez élevée et représente actuellement le plus haut degré de réutilisation pratiquée de façon courante. Entre autres exemples typiques d'utilisation non restreinte en milieu urbain à des fins agricoles ou récréatives, mentionnons : [2].

2.3.2.1 Utilisation en milieu urbain : irrigation des parcs, terrains de jeu et cours de récréation; protection contre les incendies; fontaines et bassins ornementaux; chasse d'eau de toilette et climatisation des édifices.

2.3.2.2 Irrigation agricole des cultures vivrières destinées à la consommation humaine sans cuisson.

Les procédés de traitement usuels nécessaires comportent un traitement secondaire minimal suivi d'une filtration et d'une désinfection ; des limites strictes sont fixées en ce qui concerne la demande biochimique en oxygène (DBO) des effluents, leur turbidité, les coliformes totaux et les coliformes fécaux, les résidus de désinfectant et le pH.

2.3.3 Utilisations urbaines et récréatives restreintes, irrigation de cultures non vivrières ou de cultures transformées avant consommation

Ces applications sont des exemples relativement fréquents de réutilisation de l'eau dans des lieux d'accès restreint ou d'activités restreintes. Ces restrictions supposent l'exposition limitée d'une population à l'eau récupérée ou encore l'exposition limitée des populations urbaines à des activités restreintes. Des exemples typiques de cette catégorie suivant :

2.3.3.1 Irrigation d'aménagements : terrains de golf, cimetières, bordures de verdure et terre-pleins des autoroutes (**fig. 30**).



Fig. 30 – Irrigation d'aménagement.

2.3.3.2 Utilisations récréatives restreintes : pêche récréative, canotage et autres activités récréatives sans contact.

2.3.3.3 Irrigation agricole : fourrages, fibres, cultures grainières, pâturages, pépinières, gazonniers et aquaculture commerciale (**fig. 31**).



Fig. 31 - Eau épurée pour les activités agricoles.

Les exigences relatives à la qualité de l'eau sont les mêmes pour toutes les utilisations de cette catégorie. Le traitement de récupération habituel comporte un traitement secondaire suivi d'une désinfection. Les exigences relatives à la demande biochimique en oxygène (DBO), à la turbidité (solides en suspension) sont plus souples pour cette catégorie que pour la catégorie de réutilisations urbaines non restreintes [2].

2.3.4 Réutilisation et recyclage industriels

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour les pays industrialisés, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) sont parmi les secteurs qui utilisent les eaux usées en grande quantité. La qualité de l'eau réutilisée dépend de l'industrie ou de la production industrielle. Les applications sont nombreuses et on peut classer les secteurs où se pratique la REUT en fonction des différentes catégories d'activités industrielles : le secteur chimique et parachimique, le secteur agro-alimentaire, le secteur des industries mécaniques, métallurgiques. Le secteur industriel est celui qui utilise le plus d'eau [3].

La réutilisation des eaux usées des municipalités pour répondre aux besoins du secteur industriel, a commencé au début des années 1940.

L'utilisation des eaux usées récupérées aux fins des secteurs de la construction et de l'industrie, notamment le lavage des agrégats, la fabrication du béton, le nettoyage de l'équipement, l'alimentation des tours de refroidissement (à l'exclusion du refroidissement par évaporation), le nettoyage des cheminées, l'alimentation des chaudières et l'eau de fabrication (à l'exclusion de la transformation des aliments). Cependant, les exigences relatives à la qualité de l'eau tendent à être propres à l'industrie, puisque les changements de la composition chimique de l'eau peuvent modifier les procédés utilisés. Les préoccupations que pose la qualité de l'eau dans la réutilisation et le recyclage industriel touchent habituellement l'entartrage, la corrosion, la formation de bactéries, l'encrassement, la formation de mousses et les effets sur la santé des travailleurs que peut entraîner l'inhalation d'aérosols contenant des composés organiques volatils ou des agents pathogènes microbiologiques.



Fig. 31 - Centrale de fabrication du béton.

2.3.5 La réutilisation des eaux usées traitées en zone urbaine

En zone urbaine et périurbaine, la réutilisation des eaux usées est une source importante. Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysagé (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Une autre application importante est le recyclage en immeuble, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage. Il existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ;
- les bassins d'agrément, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance.
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles.
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.

La REUE en zone urbaine nécessite un réseau double qui permet de distribuer séparément les eaux épurées et l'eau potable. Il peut y avoir un réseau double à l'échelle de la ville entière ou à l'échelle de l'habitation.

2.3.6 Amélioration des ressources

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer. Le dispositif de la recharge de nappe consiste à faire infiltrer ou percoler les REUT dans le sous-sol dont les principaux objectifs sont :

- La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable.
- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée.
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée.
- L'amélioration du niveau de traitement de l'eau en utilisant le pouvoir auto épurateur du sol[4].

2.3.7 Aspect réglementaire sur la réutilisation de l'eau, critères de qualité et directives

Les régions où la réutilisation des eaux usées est une pratique courante, doivent disposer de normes et de critères bien définis régissant de telles applications. En ce qui concerne les règlements, les critères de qualité et les directives sur la réutilisation de l'eau, nous devons connaître[4].

2.3.7.1 Directives nationales sur la réutilisation de l'eau : des directives nationales qui lieraient les usages proposés aux exigences relatives à la qualité de l'eau ;

2.3.7.2 Normes nationales : il faudrait établir des critères régissant la qualité de la réutilisation des eaux usées[3].

2.3.7.3 Nouveaux contaminants préoccupants

Les questions de santé humaine liées à la salubrité des eaux récupérées contenant des perturbateurs endocriniens, des produits chimiques pharmaceutiques ou thérapeutiques et des produits chimiques organiques d'usage industriel commencent à se

poser. Les répercussions que peuvent avoir ces produits chimiques, présents en très faibles quantités, ne sont pas bien comprises quant aux effets à long terme sur la santé [3].

2.3.7.4 Contrôle environnemental et conséquences de la récupération de l'eau

L'utilisation de l'eau récupérée pour la préservation des terres humides, dont on prévoit qu'elle s'accroîtra, l'augmentation des écoulements fluviaux et l'alimentation des nappes souterraines démontre la nécessité de faire davantage de recherche dans ce domaine [3].

Conclusion

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans de nombreux pays où la ressource en eau peut manquer. La REUE est très peu utilisée car les ressources en eau sont, à l'exception de situations particulières très localisées, abondantes ; elle permet aussi d'éviter les rejets des stations d'épuration dans le milieu. Enfin, l'information des futurs usagers (sur la qualité des eaux épurées, la fiabilité de la ressource, les économies éventuelles...) est indispensable dans un tel projet.

Chapitre 3

Matériel et Méthodes

3.1 Situation géographique du complexe GL1/Z

Le complexe GL1/Z (**fig. 33**) se trouve dans la commune de Béthioua située à 08 km à l'est d'Arzew, à 500 km au nord des gisements du gaz naturel de HassiR'mel. Il dispose d'une superficie de 72 hectares, comprenant six (06) trains de liquéfaction identiques et indépendants fonctionnant en parallèle avec une moyenne de 250 000 m³/H de GN chacun[1].

Le complexe a pour mission de liquéfier le gaz naturel provenant des champs gaziers de HassiR'mel, avec possibilité d'extraction du propane, du butane et de la gazoline. Le GNL (Gaz Naturel Liquéfié) est pompé et chargé dans des méthaniers spécialement conçus pour le transport cryogénique pour être expédié vers l'étranger. Il peut également contenir d'infimes quantités d'éthane, de propane et d'hydrocarbures lourds. Durant le processus de liquéfaction, d'autres composants tels que l'oxygène, le dioxyde de carbone, le soufre et l'eau, disparaissent entièrement. La liquéfaction du gaz naturel permet de réduire environ 600 fois son volume. Ceci facilite son stockage en grandes quantités et son transport par bateau sur de longues distances.

En Algérie, quatre complexes de liquéfaction de gaz naturel sont implantés depuis 1961 (CAMEL), 1972 (GL1K), 1977 (GL1Z), 1981 (GL2Z). Le complexe GL1Z liquéfie le gaz naturel suivant le procédé **APCI** (Air Product and Chemical Incorporated) où le gaz naturel entre avec une pression de 45 bars et une température de 28°C, puis il doit subir différents traitements conduisant à sa liquéfaction à une pression atmosphérique et une température de -163°C.

La production de GNL par train en moyenne est de 8400 m³/jour. Les capacités de stockage sont trois (03) réservoirs de 100.000 m³ chacun, soit une autonomie totale de production de cinq (05) jours.

La zone STEP du complexe est conçue pour récupérer les eaux usées des toilettes, des bâtiments et les eaux utilisées par le personnel. La contamination de ces eaux est due aux déchets organiques, aux détergents tensio-actifs ou même aux huiles issues des cuisines.



Fig. 33- Situation géographique du complexe GL1/Z [2].

3.2 Présentation du complexe GL1/Z[3]

Le complexe GNL1/Z comprend trois (03) zones essentielles :

3.2.1 Zone 1 :Utilités : Elles constituent une zone importante au sein du complexe GL1/Z.Elles permettent d’assurer la fourniture de tous les besoins pendant le démarrage et la marche normale des trains de liquéfaction.

3.2.1.1 Source d’énergie :La vapeur d’eau est la source d’énergie choisie pour le complexe (plusieurs chaudières haute pression (62 bars) et une chaudière basse pression (4,5 bars)

3.2.1.2Source de refroidissement : L’eau est la source de refroidissement transportée par un ensemble de six (06) pompes de grande puissance de 175000 m³/h.

3.2.1.3 Production d’électricité : La production d’électricité est assurée par trois (03) alternateurs entraînés par des turbines à vapeurs. Les turbo-alternateurs fournissent l’énergie de 36 MW par générateur plus une ligne provenant de GL2Z et un (01) branchement SONALGAZ.

3.2.1.4 Unité de dessalement : Elle permet de produire l’eau distillée pour alimentation des chaudières.

3.2.1.5 Production d’air comprimé :Une grande partie de l’instrumentation du complexe est pneumatique. La production de l’air comprimé est assurée par un ensemble de quatre (04)compresseurs et d’un compresseur d’air secours.

3.2.2 Zone 2 : Zone Process, est composée de six (06) trains qui produisent 9000 m³/jour/train du **GNL**. Chaque train dispose de sa propre production de vapeur, sa propre section de décarbonatation, de séchage et de liquéfaction des hydrocarbures.

3.2.3 Zone 3 : Zone Terminale est la zone de stockage et de chargement, elle contient trois (03) réservoirs de **GNL** d'une capacité de 100000 m³, d'un (01) réservoir de gazoline d'une capacité de 14500 m³.

- Une station de pompage de **GNL** d'une capacité de 10000 m³/H.
- Deux (02) quais d'expédition avec dix (10) bras de chargement.

3.3 Traitement des effluents liquides

La protection de l'environnement constitue une activité importante du développement des unités pétrochimiques. Dans ce sens, le complexe GL1/Z s'est attelé à cette politique et a procédé à la réhabilitation des unités et des systèmes installés pour la protection de l'environnement. A cet effet, lors du projet de rénovation des installations du complexe, deux nouvelles stations ont été installées, l'une pour le traitement des eaux huileuses et l'autre pour le traitement des eaux sanitaires [4].

3.3.1 Station d'épuration des eaux sanitaires (STEP)

La station d'épuration des eaux usées (**fig. 34**) a été remise en service en juillet 2000. Les différentes phases de traitement des eaux sanitaires comprennent la collecte des eaux sanitaires dans un réseau puis leur renvoi dans une station de relevage située au niveau de la zone du train 400, le transfert de l'effluent par pompage vers la station de traitement des eaux sanitaires, la filtration, l'aération, la chloration et enfin le rejet vers la mer [5].

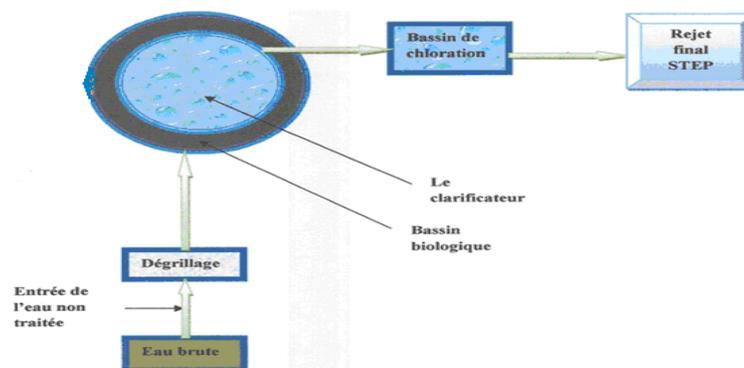


Fig. 34- Schéma de la STEP[25].

3.4 Matériel et Méthodes

3.4.1 Points d'échantillonnage

Nous avons effectué les analyses physico-chimiques des eaux usées domestiques en amont et en aval de la station d'épuration à boues activée (STEP) ainsi que les analyses physicochimiques des eaux huileuses provenant de la station d'épuration (CPS) au niveau du laboratoire du complexe GL1/Z. Les prélèvements choisis de la phase liquide sont réalisés pendant 04 jours (05, 11, 12 et 18 juin 2021) en respectant les horaires suivants : 10H30 et 14H00[6].

P1 : désigne le point de prélèvement sur la conduite des rejets située à l'entrée de la station d'épuration (amont de la station) des eaux sanitaires du complexe GL1/Z (**fig. 35**).



Fig. 35 - Point de prélèvement P1 (Amont de la station).

P2 : désigne le point de prélèvement à la sortie de la station d'épuration des eaux sanitaires (aval de la station) (**fig. 36**).

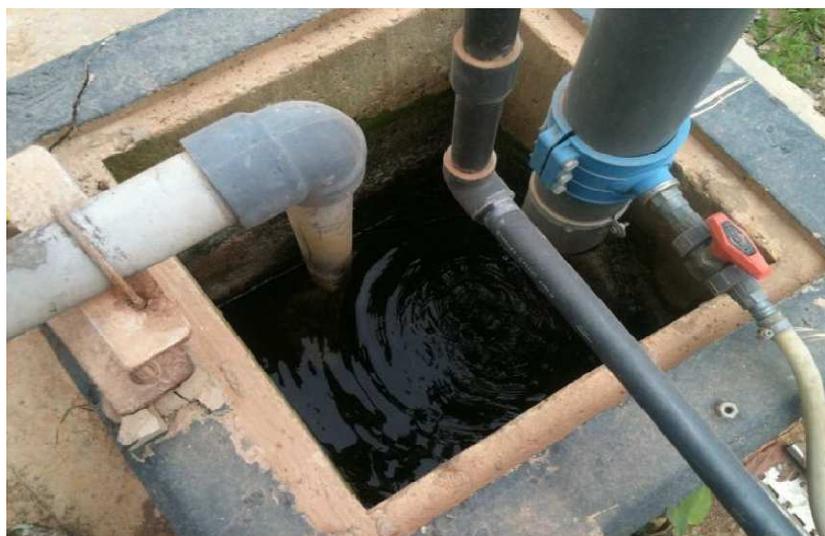


Fig. 36 - Point de prélèvement P2 (Sortie STEP).

P3 : désigne le point où se rencontrent les rejets provenant de la STEP et de la station de traitement des eaux huileuses du complexe GL1/Z ainsi que ceux provenant du complexe GL2/Z. Ce point se situe sur le canal de rejet (**fig. 37**).



Fig. 37 - Point de prélèvement P3 (canal de rejet).

P4 : désigne le point de prélèvement de l'entrée de la station CPS (**fig. 38**).

P5 : désigne le point de prélèvement à la sortie de la station CPS.



Fig. 38 - Point de prélèvement à l'entrée et à la sortie de la station CPS.

3.4.2 Méthodologie du travail

3.4.2.1 Analyses physicochimiques des eaux de rejet de la STEP

-Mesure du pH et de la température :

Le potentiel d'hydrogène et la température ont été déterminés par utilisation d'un pH-mètre (**fig. 39**).

Mode opératoire

-Etalonnage de l'appareil.

-Introduire un volume de l'échantillon l'eau à analyser dans bécher.

-La lecture est faite après stabilisation de la valeur affichée du pH. On lit directement la température exprimée en degré Celsius (°C).



Fig39–pH-mètre du laboratoire de STEP GL1/Z.

-Mesure de MES :

La matière en suspension (exprimée en mg /l) a été déterminée par l'utilisation d'un spectrophotomètre (**fig. 40**).

Mode opératoire

- Etalonnage de l'appareil
- Programme : 630 régler à une longueur d'onde de 810nm.
- Introduire dans une cuvette de 10 ml, le blanc (l'eau distillée).
- Dans une autre cuvette, introduire l'eau d'entrée (brute) ou l'eau de sortie (épurée) et faite la lecture sur l'appareil.



Fig. 40 - Spectrophotomètre du laboratoire de STEP GL1/Z.

-Mesure de la DBO₅ :**Mode opératoire**

-Gamme : 700 pour l'eau brute, 350 pour l'eau épurée

-Introduire dans deux bouteilles du DBO-mètre (fig. 41) 95ml d'eau brute et 160ml d'eau épurée.

-Poser un agitateur puis ajouter une base (NaOH ou KOH). Au niveau du laboratoire, on utilise l'Hydroxyde de Lithium qui absorbe le CO₂ dégagé lors de l'oxydation.

-Fermer les bouteilles et les mettre dans l'appareil de DBO pendant 5 jours.



Fig41– DBO-mètre du laboratoire de STEP GL1/Z.

-Mesure de la DCO :**Mode opératoire**

-Gamme : (0-1500ppm) pour l'eau brute, (0-150ppm) pour l'eau épurée.

-Programme : L'eau brute : 435 et l'eau épurée 430

-Prélever 2 ml d'eau à analyser (l'eau brute et épurée) à l'aide d'une pipette jaugée de 2ml et le rajouter au tube de réactifs à DCO.

-Placer le tube bouché dans le réacteur DCO et chauffer 2H à 150 °C.

-Lire la DCO après refroidissement directement avec le DCO-mètre (fig. 42).



Fig. 42 - Réacteur DCO du laboratoire de STEP GL1/Z.

-Mesure des huiles et graisses :

Mode opératoire

- Dans une ampoule à décanter, prélever 1L d'eau usée et l'acidifier à pH5 pour hydrolyser les savons et casser les émulsions éventuelles.
- Ajouter 100 ml du tétrachlorure de carbone (CCl_4) dont 25 ml servira au rinçage du flacon ayant contenu l'échantillon.
- Agiter pendant 20 mn, puis laisser les couches se séparer.
- Soutirer la fraction aqueuse et faire couler la phase CCl_4 dans un erlenmeyer.
- Ajouter 100 ml de CCl_4 dans la phase aqueuse et agiter pendant 20 mn, récupérer la phase aqueuse et mettre le CCl_4 avec le 1er mélange.
- Agiter pendant 20 mn.
- Séparer les deux phases en récupérant la phase organique dans un erlenmeyer de 500 ml.
- Recommencer l'extraction sur la phase aqueuse avec 100 ml de solvant.
- Réunir la nouvelle phase organique avec la précédente. Effectuer la 3^{ème} extraction avec 50 ml de solvant en agitant seulement pendant 10 mn.
- Procéder à l'évaporation (le chauffage ne doit pas dépasser 70 °C).
- Arrêter l'évaporation une fois le volume de 20 ml est atteint.
- Transvaser les 20 ml dans un petit erlenmeyer préalablement taré.
- Rincer le grand erlenmeyer avec quelques ml de solvant.

- Réchauffer de nouveau pendant quelques minutes.
- Laisser refroidir au dessiccateur.
- Peser l'erenmeyer.
- La mesure est affichée dans l'appareil de mesure des huiles et des graisses(**fig. 47**).



Fig. 47 - Appareil de mesure des huiles et des graisses.

-Mesure de l'oxygène dissous : à l'aide d'un oxymètre.

Mode opératoire

- Allumer l'oxymètre
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée
- Prendre un bécher et verser l'échantillon
- Entrer l'électrode dans l'échantillon et lire directement le résultat sur l'afficheur de l'oxymètre (**fig. 43**)



Fig. 43 - Oxymètre (laboratoire de STEP GL1/Z)

-Mesure du Chlore résiduel :**Mode opératoire**

-Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans une fiole conique de 250 ml.

-Ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur puis une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium à 10 %.

-Verser alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent (AgNO_3) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 min. Soit : Vie nombre de millilitres de nitrate d'argent 0,1 Nutilisés.

La mesure est affichée dans l'Analyseur de chlore résiduel CL-8100 (**fig. 44**).



Fig. 44 – Analyseur de chlore résiduel CL-8100.

-Mesure de l'azote kjeldhal :**Mode opératoire**

-Programme : 350 régler à 410nm.

-Blanc : 2ml d'eau désionisée dans le tube d'hydroxyde d'azote total + une pochette de réactif persulfate.

-Echantillon : 2ml d'eau brute et épurée dans le tube d'hydroxyde d'azote total +2 pochettes de réactif persulfate.

-Placer les tubes (**fig. 45**) dans l'étuve à 105°C pendant 30min.

-Après le réchauffement, laisser refroidir et ajouter réactif NTA, agiter et appuyer sur Shift5 pendant 3min; puis ajouter réactif NTB et agiter puis appuyer sur Shift5 pendant 2min.

-Prélever 2ml d'hydroxyde de 3 tubes et les ajouter dans 3 tubes de réactif NTC ; agiter et appuyer sur Shift5 pendant 5min.

-Faire la lecture à l'aide de spectrophotomètre.

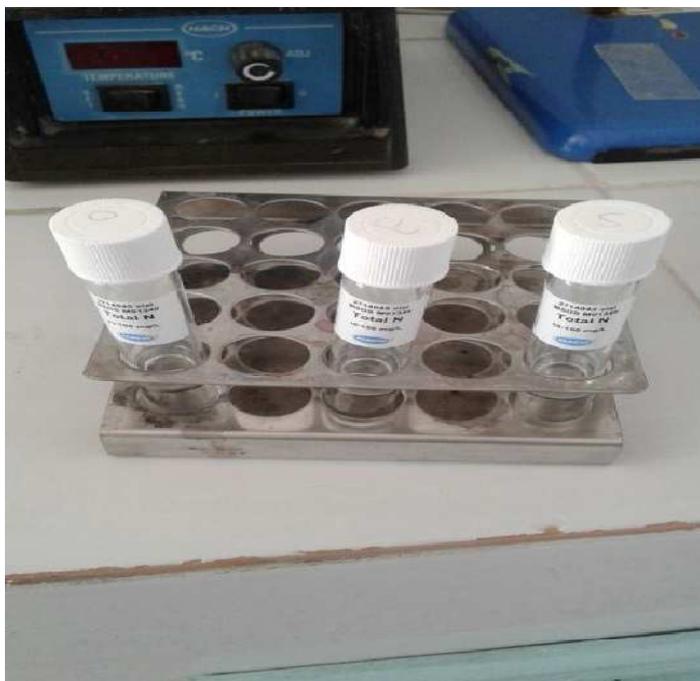


Fig. 45 - Tube d'azote total du laboratoire de STEP GL1/Z.

3.4.2.2 Analyses métalliques des eaux de rejet de la STEP

La lecture des concentrations enregistrées des métaux étudiés (phosphore, plomb, fer et zinc) est réalisée par le spectrophotomètre d'absorption atomique à lampes spécifiques (fig.46).

-Mesure de phosphore :

Mode opératoire

-Préparation d'étalon

-Préparation d'échantillon (Préparer une solution de référence de l'échantillon, Diluez la solution échantillon de référence.

-Analyse d'échantillon à l'aide du spectrophotomètre.

-Mesure de plomb :

Mode opératoire

-Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de plomb puis 10 ml d'échantillon.

-Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon.

-Effectuer la lecture des échantillons à la longueur d'onde (283.3 nm).

-Lire la quantité du plomb dans la spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de plomb.

-Mesure de fer :

Mode opératoire :

-Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de fer puis 10 ml d'échantillon.

-Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon.

-Effectuer la lecture des échantillons à la longueur d'onde (248.3 nm).

-Lire la quantité du plomb dans le spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de fer.

-Mesure de zinc :

Mode opératoire :

-Dans une fiole jaugée de 100 ml, introduire 10 ml Solution mère étalon de zinc puis 10 ml d'échantillon.

-Nébuliser la solution dans une flamme air-acétylène, en intercalant de l'eau permutée entre chaque échantillon.

-Effectuer la lecture des échantillons à la longueur d'onde (213.86 nm).

-Lire la quantité du plomb dans le spectrophotomètre d'absorption atomique équipé d'une lampe à cathode creuse de zinc.



Fig. 46- Spectrophotomètre d'absorption atomique du laboratoire GL1/Z.

Chapitre 4

Résultats et discussion

Les analyses bactériologiques des eaux de rejet du complexe GL1 Z n'ont pas été réalisées. Nous avons établi les résultats des paramètres physico-chimiques et métalliques des eaux usées avant et après la station d'épuration (STEP) en se basant sur la notation suivante :

- EM (STEP) : Entrée de la STEP pendant la matinée ;
- SM (STEP) : Sortie de la STEP pendant la matinée ;
- SM(CR) : Sortie du Canal de Rejet pendant la matinée ;
- EAM (STEP) : Entrée de la STEP pendant l'après-midi ;
- SAM (STEP) : Sortie de la STEP pendant l'après-midi ;
- SAM (CR) : Sortie du Canal de Rejet pendant l'après-midi.

4.1 Résultats d'analyses physicochimiques des eaux de rejet de la STEP

L'estimation de la pollution industrielle est un problème complexe et délicat qui fait appel à des dosages et des tests de différents paramètres servant à caractériser de manière globale et pertinente le niveau de la pollution présente dans les effluents [1].

4.1.1 Potentiel d'hydrogène

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques et dépend des facteurs multiples par exemple la température et l'origine de l'eau[2].Le pH résume la stabilité de l'équilibre établi entre les différentes formes de l'acide carbonique et il est lié au système tampon développé par les carbonates et les bicarbonates [14].

Les valeurs de pH des différents points de prélèvement sont comprises entre 6.1 et 6.9 à l'entrée de la STEP tandis qu'à la sortie de la STEP, les valeurs de pH varient entre 6,9 et 7,5. Donc le pH varie dans la fourchette de valeurs admises par les normes de rejet (6,5-8,5). Il est bien entendu que les valeurs de pH des eaux usées, avant qu'elles subissent un traitement, ne dépassent pas les normes de rejet (**tab. 5**).

La fluctuation du pH de l'effluent s'explique par la consommation des produits chimiques au niveau du site [3].

Les eaux usées ont parfois un pH élevé dû à l'emploi de la soude caustique pour le lavage des équipements ou la préparation des matières premières.

Tab. 5 – Résultats du pH des points de prélèvements.

pH							
Echantillons	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	6,1	6,9	7,12	6,3	7,2	7,8	6,5-8,5
11/06/2021	6,4	7,1	4,74	6	7,2	8	6,5-8,5
12/06/2021	6,8	7,5	4,34	6,2	7,2	7,9	6,5-8,5
18/06/2021	6,6	7,9	7,61	6,9	7,5	8,1	6,5-8,5

4.1.2 Température

La température est un facteur clé de l'activité biologique, son élévation accélère le processus d'acidification, de fermentation et favorise la formation d'une biomasse bactérienne, elle freine surtout la vie aquatique et beaucoup d'organismes dépourvus de mécanismes de régulation thermique [5].

Les valeurs de température enregistrées pendant les 4 jours du mois de juin 2021 ne dépassent pas 24° C à l'entrée de la station d'épuration des eaux sanitaire tandis qu'à la sortie de la station, les valeurs ne dépassent pas 19°C. Dans le canal du rejet, la température atteint 25°C. Cette légère augmentation de température est due à l'influence de la température extérieure sur l'eau du canal puisque ce dernier se trouve à ciel ouvert. On peut conclure que la température des eaux épurées ne dépasse pas celle de la norme limitée à 30°C (**tab. 6**).

Tab. 6 – Résultats de la température des points de prélèvements.

Température (°C)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	21,5	19	21	24	19	25	30
11/06/2021	19,5	17	21	23	17	25	30
12/06/2021	18	17	22	20	19	24	30
18/06/2021	20	19	24	23	18	25	30

La température des eaux usées est généralement élevée en raison de l'ajout d'eau chaude provenant des activités industrielles [6]. La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure de l'air, l'insolation et l'heure de prélèvement [7]. Les augmentations de température peuvent tuer certaines espèces, mais également favoriser le développement d'autres organismes causant ainsi un déséquilibre écologique [15].

4.1.3 Matières en suspension (MES)

Les eaux usées sanitaires renferment une quantité de MES ne dépassant pas 68 mg/l. A la sortie de la STEP, cette valeur est réduite à une valeur comprise entre 12,59 et 31,05 mg/l. Au canal de rejet, cette valeur atteint plus de 30 mg/l. Après le traitement, il est évident que la concentration en matière organique répond aux normes nationales relatives aux rejets dans un milieu aquatique récepteur (tab. 7).

Tab. 7 – Résultats de MES des points de prélèvements.

MES (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	59,23	20,12	12,59	61,03	13,4	16	35
11/06/2021	66,8	15,8	12,59	67,5	18,3	25,7	35
12/06/2021	60,7	28,1	31,05	61,3	29,1	30,3	35
18/06/2021	46,1	20,08	22,79	47,6	19,03	21,07	35

Les résultats obtenus confirment les valeurs maximales de MES enregistrées dans les eaux de rejet du complexe industriel de Skikda [8]. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide [16]. Les MES ont des effets néfastes lorsqu'elles sont élevées sur les caractéristiques physicochimiques de l'eau : réduction et transparence de l'eau, modification de la turbidité et réduction de la pénétration de la lumière [17] ; mais elles peuvent être considérées comme une source de nourriture non négligeable pour la faune et la flore lorsqu'elle respecte les normes.

4.1.4 Demande chimique en oxygène (DCO)

La valeur de la DCO est une indication importante avec laquelle on peut caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Dans l'étude [9] et [10], la mesure de la DCO correspond à une estimation des matières organiques biodégradables et non biodégradables retrouvées dans les eaux usées sous forme colloïdale ou sous forme de MES [11].

Les valeurs des concentrations de la DCO de l'effluent, enregistrées à l'entrée dépassent la norme limitée à 120 mg/l. La valeur minimale atteinte est de 117 mg/l alors que la valeur maximale atteinte est de 156 mg/l. A la sortie de la STEP, les valeurs de la DCO se sont réduites à des valeurs comprises entre 66 mg/l et 83 mg/l répondant aux normes nationales (tab. 8).

L'augmentation de la DCO peut avoir un effet néfaste sur la qualité de l'eau de mer et cela affecte la vie aquatique et les poissons [12].

Tab. 8 – Résultats de la DCO des points de prélèvements.

Demande chimique en Oxygène (mg/l)					
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	Norme
05/06/2021	144	76	123	79	120
11/06/2021	122	83	118	80	120
12/06/2021	152	79	156	66	120
18/06/2021	117	73	123	78	120

4.1.5 Demande biologique en oxygène durant 5jours (DBO₅)

La mesure de la DBO est très utilisée pour le suivi des rejets des stations d'épuration, car elle donne une approximation de la charge en matières organiques biodégradable.

Les valeurs enregistrées de DBO₅ dans le **tableau 9** présentent des teneurs variant entre 109 et 162 mg/l à l'entrée de la STEP. A la sortie, les concentrations enregistrées en DBO₅ ne répondent pas à la norme algérienne requise (30 mg/l). La valeur minimale notée est de 35 mg/l alors que la valeur maximale atteinte est de 60 mg/l. Les teneurs en

DBO₅ dans le canal de rejet sont au-dessous de 50 mg/l. On note une légère augmentation de la DBO₅ qu'il faut résoudre.

Les valeurs élevées de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) sont peut être dues suite à la constitution des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec le réchauffement des eaux [13]. Ces résultats sont contradictoires aux résultats trouvés par [18]. et Mohamed Ben Ali (2014) et concernant les valeurs de DBO₅ (28,2 mg/L et 2,53 mg/L respectivement) dans les eaux rejetées par le complexe industriel (GNL) de Skikda.

Tab. 9 – Résultats de la DBO₅ des points de prélèvements.

DBO ₅ (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	162	60	45	153	55	39	30
11/06/2021	112	35	38	113	35	37	30
12/06/2021	109	58	35	118	60	36	30
18/06/2021	160	44	49	160	40	47	30

4.1.6 Oxygène dissous

Selon le **tableau 10**, à l'entrée de la STEP, les teneurs en Oxygène dissous dans les eaux résiduaires sont comprises entre 3,22 et 4,19 mg/l. tandis qu'à sa sortie elles sont réduites à 1,93 mg/l et par conséquent répondent à la norme requise (2mg/l). La teneur en oxygène dissous dans le canal de rejet est égale à celle enregistrée à la sortie de la STEP et par conséquent répond à la norme nationale requise.

Tab. 10 – Résultats de l'Oxygène dissous des points de prélèvements.

O ₂ dissous (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	3,35	1,65	1,9	4,19	1,93	1,8	2
11/06/2021	3,4	1,8	1,75	4	1,4	1,8	2
12/06/2021	3,75	1,08	1,73	3,22	1,62	1,81	2
18/06/2021	4,05	1,7	1,8	4,01	1,6	1,7	2

4.1.7 Azote Kjeldhal

A l'entrée de la STEP, on constate que la teneur en azote Kjeldhal varie entre 11.2 et 48 mg/l. A la sortie de STEP ainsi que dans le canal de rejet, les valeurs enregistrées sont moins de 6 mg/l et par conséquent, répondent à la norme requise de rejet (tab. 11).

Tab. 11 – Résultats de l'azote Kjeldhal des points de prélèvements.

Azote kjeldhal (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	45	3,9	4	42,3	3,2	4,7	30
11/06/2021	12	3,3	4,1	11,2	3,2	3,91	30
12/06/2021	46	3,7	5,6	48	3,9	4,73	30
18/06/2021	34	5,3	4,7	35,2	5,2	3,98	30

4.1.8 Chlore résiduel

D'après le **tableau 12**, les concentrations en chlore résiduel enregistrées à la sortie de la STEP ainsi qu'au niveau du canal de rejet, durant toute la période de suivi, sont

comprises entre 0,2 et 0,6 mg/l. Il est bien entendu que ces valeurs répondent à la norme de rejet algérienne requise (1 mg/l).

Tab. 12 – Résultats du chlore résiduel des points de prélèvements.

Cl ₂ résiduel (mg/l)					
Date	SM (STEP)	SM (CR)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	0,6	0,6	0,6	0,6	1
11/06/2021	0,6	0,6	0,6	0,6	1
12/06/2021	0,4	0,2	0,2	0,2	1
18/06/2021	0,2	0,2	0,2	0,2	1

4.1.9 Huiles et graisses (HG)

A l'entrée de la STEP, on constate que les concentrations en Huiles et Graisses dans les eaux résiduaires ont atteint des valeurs de 30 mg/l qui sont largement supérieures à la norme requise (20 mg/l). A la sortie de la STEP, ces concentrations se sont réduites jusqu'à une valeur minimale de 11 mg/l et 15mg/l comme valeur maximale. Quant au canal de rejet, les teneurs en Huiles et Graisses enregistrées ne dépassent pas 13 mg/l, valeurs nettement inférieures à la norme requise (20 mg/l) (**tab. 13**).

Tab. 13 – Résultats des huiles et graisses des points de prélèvements.

Huiles et Graisses (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	30	7	15	27	4	13	20
11/06/2021	17	9	11	14	9	13	20
12/06/2021	30	7	12	30	12	13	20
18/06/2021	22	11	14	20	9	13	20

4.2 Résultats d'analyses métalliques des eaux de rejet de la STEP

4.2.1 Phosphore (P)

D'après le **tableau 14**, on constate que la teneur en phosphore, à l'entrée de la station d'épuration, dépasse légèrement le double de la norme limitée à 10mg/l. A la sortie de la STEP, la valeur de la teneur en Phosphore est minimisée à une concentration maximale de 5.11 mg/l. On peut conclure que le traitement physique est satisfaisant.

Tab. 14 – Résultats du phosphore des points de prélèvements.

Phosphore (mg/l)					
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	Norme
05/06/2021	19,032	5,11	20,057	5,1	10
11/06/2021	13,052	4,57	13,057	4,57	10
12/06/2021	14,072	3,31	13,077	4,05	10
18/06/2021	17,01	3,99	16,097	4,11	10

4.2.2 Plomb (Pb)

Les eaux résiduaires ne renferment qu'une faible teneur en Plomb. Elle est largement inférieure à la norme nationale requise (0,5 mg/l). La teneur en Plomb, à l'entrée de la STEP, varie entre 0,03 et 0,082 mg/l, et à sa sortie elle est presque négligeable (inférieure à 0.001mg/l). Des constatations similaires ont été faites pour la teneur en Plomb dans le canal de rejet (**tab. 15**).

Tab. 15 – Résultats du plomb des points de prélèvements.

Plomb (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	0,029	0,00098	0,00098	0,03	0,03	0,00098	0,5
11/06/2021	0,059	0,00098	0,00098	0,059	0,00098	0,00098	0,5
12/06/2021	0,079	0,00098	0,00098	0,082	0,00098	0,00098	0,5
18/06/2021	0,081	0,00098	0,00098	0,082	0,00098	0,00098	0,5

4.2.3 Fer (Fe)

Les valeurs enregistrées du Fer ne dépassent pas la norme requise (3 mg/l). A l'entrée de la STEP, la valeur maximale atteinte est de 3 mg/l tandis qu'à sa sortie, elle est de 1,966 mg/l. La teneur en fer dans le canal de rejet s'élève à 2,065 mg/l répondant aux normes (**tab. 16**). Donc on peut dire que ces concentrations faibles en Fer expliquent l'absence des travaux de maintenance réalisés avant le démarrage de la chaudière, l'absence de corrosion des conduites de l'installation. Un risque de toxicité par ce polluant pourrait se manifester vis-à-vis de la faune et la flore aquatiques.

Tab. 16 – Résultats du fer des points de prélèvements.

Fer (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	2,789	0,909	1,726	2,786	0,912	1,72	3
11/06/2021	3	0,942	1,385	2,566	0,944	1,386	3
12/06/2021	2,619	1,966	2,065	2,597	1,957	2,086	3
18/06/2021	2,828	0,97	2,065	2,597	0,964	1,376	3

4.2.4 Zinc (Zn)

A l'entrée de la STEP, on constate que les teneurs en Zinc varient entre 0,091 et 3mg/l. A la sortie de STEP ainsi que dans le canal de rejet, les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 0,09 mg/l, très nettement inférieures aux valeurs de la norme algérienne requise de rejet limitée à 3mg/l (**tab. 17**). Bien que ces teneurs ne dépassent pas les valeurs limites fixées par le décret 06-141 (3 mg/L comme valeur limite et 5 mg/L comme tolérance extrême pour les anciennes installations en activité). Ces valeurs sont justifiées par la corrosion des installations et les condenseurs (échangeurs thermiques) contenant des barres en zinc utilisées comme un métal de sacrifice pour éviter la corrosion des revêtements (en cupronickel).

Tab. 17 – Résultats du zinc des points de prélèvements.

Zinc (mg/l)							
Date	EM (STEP)	SM (STEP)	SM (CR)	EAM (STEP)	SAM (STEP)	SAM (CR)	Norme
05/06/2021	0,098	0,042	0,075	0,098	0,042	0,076	3
11/06/2021	3	0,062	0,0069	0,091	0,062	0,069	3
12/06/2021	0,3	0,086	0,089	0,3	0,087	0,09	3
18/06/2021	1,01	0,069	0,089	0,3	0,072	0,076	3

*Conclusion
générale*

Conclusion Générale

Dans cette étude, nous avons analysé objectivement la qualité des rejets liquides du complexe GL1/Z dans l'objectif de vérifier l'efficacité des procédés d'épuration, de contribuer et d'apporter une aide pratique pour améliorer les procédés de traitement des eaux résiduaires en respectant les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels définies par le décret exécutif n°06-141 du 19 Avril 2006.

La méthode utilisée est basée sur les analyses physico-chimiques des eaux usées avant et après les opérations de traitement effectuées dans la station en détectant les éléments pouvant être trouvés dans ces eaux, pour déterminer la performance le rendement de la STEP.

A la lumière des résultats obtenus des analyses physicochimiques des eaux usées traitées par la station d'épuration, les concentrations enregistrées de certains paramètres étudiés sont généralement conformes aux normes algériennes de rejet et aux normes d'irrigation internationales fixées par la FAO et l'OMS. Au terme de l'évaluation du degré de pollution physico-chimique dans la station, on peut constater qu'en particulier (MES, DBO5, DCO) dépassent les normes admissibles, lorsqu'elles atteignent leurs valeurs maximales. Des conclusions similaires concernant les résultats d'analyse effectuée au niveau du canal de rejet recevant les eaux épurées du complexe GL1/Z.

Tous les paramètres mesurés ne dépassent pas la norme de rejet à l'exception de la DBO5. Ceci nous a également permis de conclure que les procédés d'épuration du complexe du GL1/Z sont performants.

Le respect de l'environnement est réussi par la maîtrise des rejets puisque la notion de zéro rejet n'existe pas dans l'absolu ; mais nous essayons d'alléger la charge polluante du milieu récepteur.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

Introduction :

[1].(Djeddi,2006).

[2].(Hannachi et *al.*,2014).

[3].(Metahri, 2012).

Chapitre 1 :

[16]Audic, 2002

[6].Belahmadi., 2011

[3].Bettach, 2013

[8].Division de l'expertise technique Montréal, 2016

[9]Desjardins, 1997

[4].Dugniolle*etal.*,1989

[5].FAO, 2003

[2].Franck, 2002

[11].Hamza-Cherif et Ramdani, 2016

[10].Metahri, 2012

[12].OMS, 2004 :

[13].OMS, 2012

[9].Pütz (2008

[7].Pütz (2012

[15]<https://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-269.html>.

[14]<https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/coagulation-floculation/generalites>.

[18].Zella, 2007

Chapitre 2 :

[1].Boeglin. J.C - Traitement biologique des eaux résiduaires. Revue technique de l'ingénieur, Doc J 3 942-1.

Références Bibliographiques

[2] BEB, 2018- Epuration & réutilisation des eaux usées. Polycopié de cours. Université de Guelma faculté science et technologie 2018.)

[3] Office international de l'eau, 2001- Guide des procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités.

[4] JORADP, 2012 - Les paramètres physico-chimiques, Article 41, 15.07.2012)

[5]. (OIE, 2001).

Chapitre 3:

[1] Manuel opératoire de procédé de liquéfaction du complexe GL1/Z.

[2]Google Earth.

[3]ZEDDAM, H., 2012. La pollution ammoniacale. Mémoire d'induction au GL1/Z, BETHIOUA « 2003 »..2012-2013.

et S ZAZOU « Evaluation de la pollution des eaux au GL1/Z en vue de l'application de la norme ISO 14001 »Mémoire fin d'étude 2006, département de chimie ;(USTO).

[4]Ramade, F., 2000. Elément d'écologie appliquée, Dunod, Paris,(2000).

[5]Anonyme ; « Séminaire : système de traitement des rejets liquides » document interne (BETHIOUA 1999).

[6]Godert, H., 1995. Eau de distribution, clarification. Ed.Technique d'Ingénieur. Volume G5199 (1995), pp1-15.

Chapitre 4:

[2] Aissaoui, M., Benhamza, M., Guettaf, M., 2017. Caractéristiques hydro chimiques des eaux de l'oued Seybouse-Cas de la région de Guelma (Nord est Algérien). Synthèse Rev. Sci. Technol. 35, 178–186.

[8] Avasan, M-Y., et Rao, R-S., 2001. Effect of sugar mill effluent on organic resources of fish. *Poll. Res.*, 20 (2) : 167-171.

[11] Daghri, R., 2010. Développement d'un procédé hybride d'oxydation électrolytique et d'électrocoagulation pour le traitement des eaux usées non connectées à des infrastructures communautaires. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.

[3] Fathallah, Z., Elkharrim, K., Fath-allah, R., Hbaiz, E.M., Hamid, C., Ayyach, A., Elkhadmaoui, A., Belghyti, D., 2014. Etude physico-chimique des eaux usées de l'unité industrielle papetière (cdm) à Sidi Yahia El-Gharb (Maroc). LARHYSS J. P-ISSN 1112-3680 E-ISSN 2602-7828 0.

Références Bibliographiques

- [14] Ferdaous, L., Mohammed, B., Nouzha, B., Hamid, L., Aberrahim, L., 2015. Etude de la qualité physicochimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc). *Eur. Sci. J.* 11.
- [12] Igbinosa, E.O., Okoh, A.I., 2009. Impact of discharge wastewater effluents on the physico-chemical qualities of a receiving watershed in a typical rural community. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 6, 175–182. <https://doi.org/10.1007/BF03327619>.
- [9] IsbathBonaOuré, 2018
- [1] Koller, E., 2004. *Traitement des pollutions industrielles: eau, air, déchets, sols, boues.* Dunod. Paris PP 59-90.
- [7] Kouti, A., 2014. Contribution à l'évaluation de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau des principales zones humides de l'éco-complexe de Guerbes Sanhadja (wilaya de Skikda). Université du 20 Août 1955 Skikda.
- [13] Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., Van Clooster, M., 2011. Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *LARHYSS J. P-ISSN 1112-3680E-ISSN 2602-7828*.
- [18] Mezedjri, L., 2008. Modélisation de l'Impact de la Pollution Industrielle Hydrique dans le Golfe de Skikda (Littoral Est algérien). Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.
- [17] Miquel, G., Deutsch, J.-C., Meybeck, M., Montiel, A., Vassel, J.-L., 2003. La qualité des eaux souterraines l'échec des réglementations. *Flux* 8–16.
- [15] Rabouille, C., Bopp, L., Gehlen, M., Locatelli, B., Chave, J., Torquebiau, E., 2017. Nicolas Viovy 2. Mécanismes d'atténuation du changement climatique par les processus biologiques. *Mécanismes D'adaptation Biodiversité Aux Chang. Clim. Leurs Lte.* 23.
- [5] Rodier, J., 2009. *L'analyse de l'eau.* Dunod.
- [6] Sankpal et Naikwade, 2012
- [10] Sanni, I.B.O., 2018. Combinaison des procédés d'électrocoagulation et d'électro-oxydation pour le traitement des eaux usées résiduelles issues des opérations de nettoyage de cuves industrielles. Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique.
- [16] Sigg, L., Black, F., Buffle, J., Cao, J., Cleven, R., Davison, W., Galceran, J., Gunkel, P., Kalis, E., Kistler, D., 2006. Comparison of analytical techniques for dynamic trace metal speciation in natural freshwaters. *Environ. Sci. Technol.* 40, 1934–1941.