

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Polytechnique

Département Hydraulique



Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Hydraulique

Étude des eaux épurées de la station d'épuration de Beni Messous en vue de leur utilisation agricole

Présenté par :

ALEM Samira Loubna

Sous la direction de Mr Maamar NAKIB

Présenté et soutenu publiquement le (16/06/2016)

Composition du Jury :

Président

M. Abdelmalek CHERGUI

Rapporteur/ Promoteur

M. Maamar NAKIB

M. Ahmed KETTAB

Examineur

M. Ishak BELKAID

Promotion 2016

10, Avenue Hacene Badi, El-Harrach, Alger

Remerciements :

*Cette thèse n'aurait jamais vu le jour sans l'aide de **DIEU**, le tout puissant, pour m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout et les moyens pour arriver à ce stade de connaissance.*

*Je souhaite exprimer mon plus profond remerciement à mon promoteur **M.Nakib**, pour son suivi au quotidien, pour ses conseils, sa disponibilité, son travail constructif et pour toute la confiance qu'il a su me témoigner à travers l'autonomie qu'il m'a accordée durant cette étude, il a sans doute été un promoteur exemplaire.*

*Je tiens aussi à remercier le professeur Mr **A.Kettab** pour son soutien et ses précieux conseils.*

*Un grand remerciement à M^{lle} **G.Saadi**, M^{me} **A.Mellak**, M^{me} **A.Ait Amara**, Mr **H.Bensayeh** du laboratoire et du service d'exploitation de la STEP de Beni Messous pour m'avoir aidé à recueillir tous les documents nécessaires à mon étude et pour avoir répondu à toutes nos questions.*

*J'exprime toute ma gratitude à Mr **Abdelmalek Chergui** qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ce mémoire.*

*Je remercie Mr **Ishak Belkaid** d'avoir accepté l'invitation à ma soutenance comme un membre de jury.*

Un immense remerciement est destiné à mes enseignants et enseignantes, ceux qui ont contribué à ma formation, depuis le cycle primaire jusqu'au cursus universitaire.

Je n'oublie pas bien sur mes amis : Walid, Kheiro, Kahina, Zahia, Samir, Smail, Marwen, Chakib et toute la promotion hydraulique 2016.

Samira

Dédicace :

Je dédie ce travail :

*À celle qui m'a transmis la vie, l'amour et le courage, le symbole de la tendresse. Mon Ange qui, jamais ne se plaint, ne demande de contrepartie, à part mon bonheur. À celle qui n'a jamais cessé de prier Dieu pour que tous mes pas soient couronnés de succès et mes vœux soient exaucés, à une femme très exceptionnelle : **Ma maman.***

*À celui qui s'est incliné pour ma droiture, qui m'a appris que mon aise ne se réalise qu'à travers tant d'efforts fournis de ma part. École de mon enfance, celui qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger, à un homme formidable: **Mon cher papa.***

*À mes **frères** adorés : Chakib et Aniss, leurs femmes et enfants, pour leur amour profond et leur soutien inconditionnel.*

*À mes **sœurs** : Affef et Zahra, leurs maris et enfants surtout Rania. Vous avez toujours su comment me rendre heureuse, m'aimer, me supporter et étiez là à mes côtés.*

*À mes **cousines** : Zeineb, Akila, Fahima et Nassima. En témoignage de ma sincère amitié et mon profond attachement « Que dieu vous offre une vie pleine de succès et de bonheur »*

*À mes **sœurs de cœur** : Amina, Aicha et Asma. Ceux avec qui j'ai eu de merveilleux souvenirs. Merci pour votre gentillesse, merci car vous avez toujours su me redonner le sourire.*

*À mes deux chères **familles** : Alem et Ould Chakmadji.*

Et à tous ceux dont l'oubli du nom n'est pas celui du cœur.

Samira

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة إمكانية استعمال المياه القذرة المطهرة والأحوال في سقي الأراضي الزراعية

اقتصرت الدراسة على محطة تطهير المياه لواد بني مسوس بالجزائر العاصمة على ضوء كل النتائج التي تحصلنا عليها و التي تم مقارنتها بالمقاييس الدولية استنتجنا أن هذه المياه يمكن استعمالها في سقي الأراضي الزراعية لكن بشروط بعد تفسير نتائج تحليل معلمات مختلفة، حاولنا وضع مؤشرات الأداء و التي سوف تعطينا لمحة عامة عن الحالة الراهنة لمحطات معالجة مياه الصرف بني مسوس

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة الصرف الصحي، مؤشرات الأداء، المياه القذرة، المياه المعالجة

Abstract

The aim of this work is to set possibilities of using purified water from a water-treatment plant used for irrigation.

Our investigation had been limited to the treatment station of Beni Messous.

Within this framework we monitored the operation of the station by examining and interpreting the pollution parameters. As a result, we have calculated some ratios through which we have detected some abnormalities.

In the light of the results obtained, compared with the standards promulgated by WHO and the FAO, we found that it is possible to use to this treated water only under conditions.

Keyword: treatment plant, performance indicators, waste water, treated water.

Résumé

Le but de notre étude à été la recherche des possibilités d'utilisation des eaux usées traitées à partir d'une station d'épuration dans le domaine de l'irrigation des terres agricoles.

Notre investigation s'est limitée à la station de traitement des eaux de Beni Messous.

Dans le cadre de ce travail, nous avons suivi le fonctionnement de la STEP en examinant et en interprétant les paramètres de pollution. Par suite nous avons calculé quelques ratios à travers les quels nous avons détecté quelques anomalies

A la lumière des résultats obtenus, et comparés aux normes édictées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et celle de l'Alimentation (FAO), nous avons relevé qu'il est possible de recourir à cette eau traitée seulement sous certaines conditions, que nous citerons de suite.

Mot clé: station d'épuration, indicateurs de performance, eau usée, eau traitée

Table des matières

Liste des figures.....	9
Liste des tableaux	11
Abréviations utilisées	9
Introduction générale :.....	13
<i>Partie Bibliographique</i>	14
Chapitre 1 Pollution de l'eau : généralités	15
1. Introduction	16
2. Les activités productrices de pollution.....	16
2.1. Définition des eaux usées :	16
1.1. Origine des eaux usées :.....	17
1.2. Classification des polluants :	18
3. Principaux paramètres de la pollution	19
2.1. Les paramètres physico-chimiques :.....	19
2.2. Les paramètres de la pollution particulaire	21
2.3. Les paramètres de la pollution dissoute :.....	23
2.4. Les paramètres de la pollution organique globale :	25
3.5. Les paramètres toxiques :.....	28
3.6. Les paramètres microbiologiques :.....	31
3.7. Norme de rejet.....	31
3.8. Notion d'équivalent habitant.....	33
4. Situation des eaux usées en Algérie	33
4.1. Législation algérienne sur les eaux usées	33
4.2. Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie	33
4.3. La réutilisation des eaux usées en Algérie	34
4.4. Aspect économique et financier	34
4.5. Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées.....	35
4.6. Liste des cultures autorisées.....	35
4.7. Projet d'irrigation avec des eaux non conventionnelles:	36
Chapitre 2 Les indicateurs de performance	38
1. Introduction :	39
2. Ratios de diagnostic :	39
2.1. Le rapport DCO/ DBO ₅	39

2.2.	Rapport MES/DBO ₅	39
2.3.	Le rapport DBO ₅ /N-NH ₄ ⁺ /P-PO ₄ ou C/N/P :.....	40
2.4.	Le rapport MVS/MS :.....	40
2.5.	Le rapport DCO/PT.....	40
2.6.	Rapport NH ₄ ⁺ /NTK :.....	40
2.7.	Rapport DCO/NTK :.....	41
2.8.	Rapport NTK/DBO ₅ :	41
2.9.	Rapport DBO ₅ / NO ₃ à dénitrifier.....	41
Chapitre 3 Les filières de traitement.....		43
1.	Introduction	44
2.	Implantation d'une station d'épuration	44
3.	Choix du type de station d'épuration	44
4.	Filières de traitement :.....	45
4.1.	Collecte	46
4.2.	Prétraitement	46
4.3.	Traitement primaire :	48
4.4.	Traitement secondaire : Élimination de la pollution organique.....	51
4.5.	Traitement tertiaire.....	57
4.6.	Traitements quaternaires : Les procédés de désinfection	60
5.	Situation actuelle de l'épuration en algérie :.....	61
Chapitre 4 Les eaux d'irrigation.....		62
1.	Introduction	63
2.	La réutilisation des eaux usées épurées : définition et objectifs	63
3.	Les différents types de réutilisation	63
3.1.	Réutilisation directe	63
3.2.	Réutilisation indirecte	64
4.	Domaines de réutilisation des eaux usées	65
5.	Caractéristiques de l'eau d'irrigation	66
5.1.	La salinité.....	66
5.2.	Le sodium.....	66
5.3.	L'Alcalinité et la dureté	67
5.4.	Éléments toxiques	68
5.5.	Le pH :	68
6.	Classement des cultures (FAO): risque de transmission de pathogènes	68

7.	Les types de traitement selon le mode de réutilisation.....	70
8.	Les exigences des cultures	70
8.1.	Les exigences en matière de qualité du sol	70
8.2.	Les exigences nutritives des cultures	71
	<i>Partie expérimentale</i>	73
	Chapitre 5 Présentation de la station d'épuration de Beni Messous	74
1.	Introduction	75
2.	Caractéristiques générales	75
2.1.	Capacités nominales de la STEP de Beni Messous	76
3.	Fonctionnement de la station d'épuration	76
3.1.	Alimentation générale de la station.....	76
3.2.	Dessablage / déshuilage	77
2.1.	Canal de comptage des eaux brutes	78
2.2.	Décantation primaire.....	79
2.3.	Bassin d'aération.....	79
2.4.	Clarificateurs	81
2.5.	Canal de comptage des eaux traitées	82
2.6.	Épaississement des boues	82
2.7.	Stabilisation aérobie des boues	83
2.8.	Bassin de stockage des boues stabilisées	84
	Chapitre 6 Résultats & discussions	85
1.	Étude des paramètres de pollution :	86
2.	Évolution de la charge hydraulique.....	87
2.1.	Taux de dilution STEP DE Beni Messous	87
2.2.	Paramètres de pollution physico-chimique	90
2.3.	Les paramètres de la pollution particulaire MES :.....	96
2.4.	Évolution des paramètres de la pollution organique globale :.....	97
2.5.	Évolution des paramètres de pollution dissoute :	99
3.	Interprétation des indicateurs de performance :	103
3.1.	Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO ₅	103
3.2.	Rapport nutritionnel : Rapport C/N/P	103
3.3.	Évolution du rapport MES/DBO ₅	104
3.4.	Étude du traitement du phosphore DCO/Pt	105
3.5.	Degré d'ammonification NH ₄ ⁺ /NTK.....	106

3.6. Degré de nitrification DCO/NTK	106
4. File énergie :.....	107
4.1. Énergie électrique totale consommée :	107
4.2. Efficacité de l'énergie hydraulique mensuel (Rapport kWh d'énergie consommée / m3 d'eau traitée)	108
5. Conclusion :.....	108
Conclusion générale :	109
<i>Références bibliographiques</i>	<i>111</i>
Annexes	113

Liste des figures

Figure 1.1 <i>Mesure de la DCO</i>	26
Figure 1.2 <i>Évolution temporelle de la DBO</i>	27
Figure 3.1 <i>schéma décrivant le procédé d'épuration des eaux usées</i>	45
Figure 3.2 <i>dégrilleur vertical (vue de biais et de face)</i>	47
Figure 3.3 <i>Décanteur rectangulaire avec raclage de boue</i>	49
Figure 3.4 <i>Décanteur circulaire avec raclage de boue</i>	49
Figure 3.5 <i>Décanteur cylindro-conique</i>	49
Figure 3.6 <i>Schéma d'une coagulation-floculation suivi d'une décantation lamellaire</i>	50
Figure 3.7 <i>Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien</i>	52
Figure 3.8 <i>Schéma de principe d'un disque biologique</i>	52
Figure 3.9 <i>Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique</i>	52
Figure 3.10 <i>Infiltration- percolation étanchée et drainée</i>	55
Figure 3.11 <i>Le lagunage aéré</i>	56
Figure 3.12 <i>Schéma de la déphosphatation biologique</i>	60
Figure 4.1 <i>Types de réutilisation des eaux usées</i>	65
Figure 5.1 <i>Photo satellite de la STEP de Beni Messous</i>	75
Figure 5.2 <i>Sonde ultrasons de surverse</i>	77
Figure 5.3 <i>Arrivée principale</i>	77
Figure 5.4 <i>dégrilleur</i>	77
Figure 5.5 <i>Vis d'Archimède</i>	77
Figure 5.6 <i>Déssableur / déshuileur</i>	77
Figure 5.7 <i>Citerne d'évacuation des graisses</i>	78
Figure 5.8 <i>Préleveur automatique</i>	78
Figure 5.9 <i>Aval du canal de comptage</i>	78
Figure 5.10 <i>Schéma simplifié d'un bassin de décantation</i>	79
Figure 5.11 <i>Pont racler</i>	79
Figure 5.12 <i>Bassin de décantation</i>	79
Figure 5.13 <i>Turbine en fonctionnement</i>	80
Figure 5.14 <i>Vue de l'ensemble du bassin d'aération</i>	80
Figure 5.15 <i>Schéma du clarificateur</i>	81
Figure 5.16 <i>Surverse d'un clarificateur</i>	81
Figure 5.17 <i>Vue d'ensemble</i>	81
Figure 5.18 <i>Vis de recirculation</i>	82
Figure 5.19 <i>Rejet d'eau épurée</i>	82
Figure 5.20 <i>Centrale de mesure avec préleveur</i>	82
Figure 5.21 <i>Zone aval du canal de mesure</i>	82
Figure 5.22 <i>Schéma de l'épaisseur de boues</i>	83
Figure 5.23 <i>Aérateur de surface</i>	83
Figure 5.24 <i>Bâche des boues stabilisées</i>	84
Figure 5.25 <i>Alimentation de la bâche des boues stabilisée par un déversoir mobile</i>	84
Figure 6.1 <i>Évolution du débit d'entrée et de sortie de janvier 2014 à décembre 2015 pour la STEP de Beni Messous</i>	87

Figure 6.2 Évolution du taux de dilution dans la STEP de Beni Messous (Avril 2014 à Octobre 2015).....	88
Figure 6.3 Évolution de la température d'entrée et de sortie de janvier 2014 à décembre 2015 au niveau de la STEP de Beni Messous	90
Figure 6.4 Évolution du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous entre janvier 2014 et décembre 2015	91
Figure 6.5 Évolution de la conductivité à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous de janvier 2014 à décembre 2015	92
Figure 6.6 Diagramme de Richards (Riverside)	94
Figure 6.7 Représentation graphique de l'évolution de la concentration d'oxygène dissous des deux bassins d'aération au niveau de la STEP de Beni Messous de janvier 2014 à décembre 2015	95
Figure 6.8 Évolution de la concentration en MES de Janvier 2014 à décembre 2015 au niveau de la STEP de Beni Messous	96
Figure 6.9 Évolution de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous de Janvier 2014 à Décembre 2015	97
Figure 6.10 Évolution de la DBO ₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous de Janvier 2014 à Décembre 2015	98
Figure 6.11 Évolution de la concentration du phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous durant la période de janvier 2014 à décembre 2015	99
Figure 6.12 évolution de la concentration de l'ammonium NH ₄ ⁺ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous (de janvier 2014 à aout 2015)	100
Figure 6.13 Evolution des nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous (de janvier 2014 à décembre 2015).....	101
Figure 6.14 Évolution des nitrites à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous (de janvier 2014 à décembre 2015).....	102
Figure 6.15 Variation du ratio DCO/DBO ₅ durant la période de janvier 2014 à décembre 2015 pour la STEP de Beni Messous	103
Figure 6.16 variation du ratio MES/DBO ₅ durant la période de janvier 2014 à décembre 2015 pour la STEP de Beni Messous	104
Figure 6.17 Évolution du rapport DCO/Pt durant la période de janvier 2014 à décembre 2015 au niveau de la STEP de Beni Messous	105
Figure 6.18 Évolution de la consommation énergétique totale de la STEP de Beni Messous de mars à décembre 2015	107
Figure 6.19 Évolution de l'efficacité énergétique hydraulique de la STEP de Beni Messous (mars à décembre 2015).....	108

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres physico - Chimiques.....	21
Tableau 1.2 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution particulière de l'eau.....	22
Tableau 1.3 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution dissoute de l'eau.....	25
Tableau 1.4 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution organique de l'eau.....	28
Tableau 1.5 Normes internationales de rejets sur les métaux lourds	29
Tableau 1.6 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres toxique de l'eau	30
Tableau 1.7 valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels	32
Tableau 1.8 Les normes internationales des paramètres de rejets d'effluents liquides.....	32
Tableau 2.1 Récapitulatif de signification des ratios avec le minimum à ne pas dépasser	41
Tableau 3.1 Les avantages et les inconvénients des procédés intensifs.....	53
Tableau 3.2 Les avantages et les inconvénients des procédés extensifs	57
Tableau 4.1 Normes d'irrigation selon la FAO et l'OMS.....	69
Tableau 4.2 Procédés d'épuration pour usages principaux	70
Tableau 4.3 Exigences de fertilisants par type de culture.....	71
Tableau 5.1 Capacités de la STEP	76
Tableau 5.2 Flux nominal journalier des eaux brutes	76
Tableau 6.1 Les paramètres de pollution dans les eaux brutes et les eaux épurées au niveau de STEP de Beni Messous	86

Abréviations utilisées

CE : Conductivité électrique

Cm : Charge massique

COT : Carbone organique total

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DTO : Demande total en oxygène

EH : Équivalent habitant

Hm³ : hectomètres cubes

IANOR : Institut Algérien de normalisation

JORADP : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire

MES : Matières en suspension

MS : Matière sèche

MM : Matières minérales

MES : Matière En Suspension

MRE : Ministère des Ressources en Eau

MS : Matière sèche

MVS : Matières volatiles en suspension

NH₃⁺: Ammoniac

NTK: Azote Kjeldahl

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONA : L'Office National de l'Assainissement

P_T : Phosphore total

SEAAL : Société des Eaux et de l'Assainissement Algérie

STEP : Station d'épuration des eaux usées

UV : Ultra-violet

μS : Micro siemens

Introduction générale :

Dieu le tout Miséricordieux a dit :

« A partir de l'eau Nous avons constitué toute chose vivante »

Derrière ce mot, s'impose une image, née des derniers voyages spatiaux, celle d'une planète bleue : la terre. Mais malgré cette bleutée de notre planète, l'homme est toujours confronté au problème de l'eau, c'est à cette raison que les experts déclarent que les guerres du XXI^e siècle auront **l'or bleu** pour enjeu.

L'eau est l'une des plus importantes ressources naturelles, indispensable à la vie des hommes, des bêtes et des plantes, et à la plupart des activités de la société. Elle est de plus en plus rare dans le monde et en particulier en Algérie à cause du climat méditerranéen aride à semi aride. Elle fait actuellement l'objet d'une exploitation concurrentielle entre les besoins de la population, ceux de l'agriculture et de l'industrie qui se disputent une disponibilité limitée.

La pollution des eaux est l'un des fléaux qui menacent l'environnement. Une bonne gestion des systèmes de lutte contre cette pollution nous permettra de prospérer dans plusieurs domaines en causant le moindre dommage à l'environnement.

Les solutions envisagées visent à la préservation des ressources disponibles et le recours aux ressources non conventionnelles telles que les eaux usées, les eaux saumâtres et l'eau de mer. L'une des voix d'avenir est la valorisation de l'eau dépolluée et ses déchets en agriculture.

Dans le cadre de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique à l'école nationale polytechnique d'Alger, nous nous sommes intéressés aux eaux usées traités par la station d'épuration de Beni Messous dans le but de leur réutilisation dans l'agriculture.

Le but des analyses effectuées au laboratoire de cette station est le contrôle de la qualité de ses eaux en amont et en aval, ceci se fait en mesurant certains paramètres pour déterminer la qualité biologique et chimique de ces eaux comme la DCO, la température ou les MES. Ainsi, après présentation du site d'étude, un chapitre est consacré aux différentes méthodes d'analyses et à l'identification des indicateurs de suivi et d'optimisation en traitant les données disponibles des années antérieures. Ces indicateurs permettront de mettre en évidence les optimisations nécessaires pour chaque poste et serviront, une fois mis en place, à piloter l'exploitation des installations.

Partie
Bibliographique

Chapitre I

Pollution de l'eau : généralités

1. Introduction

Afin d'atteindre une gestion efficace et une préservation durable de l'environnement, une étude approfondie de la pollution des eaux et de ses impacts est indispensable. Nous allons voir dans ce chapitre quelques généralités et quelques chiffres sur la situation actuelle de la pollution des eaux ainsi que les paramètres et les techniques d'évaluation de sa pollution ainsi que les impacts associées.

2. Les activités productrices de pollution

2.1. Définition des eaux usées :

La pollution de l'eau est une altération de sa qualité et de sa nature qui rend son utilisation dangereuse et perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et les eaux souterraines. [1]

La pollution de l'eau se manifeste principalement dans les eaux de surface par :

- **Une diminution de la teneur en oxygène dissous** : les matières organiques essentielles à la vie aquatique en tant que nourriture, peuvent devenir un élément perturbateur quand leur quantité est trop importante. Parmi les substances qui entraînent une importante consommation d'oxygène, notons en particulier les sous-produits rejetés par l'industrie laitière, le sang rejeté par l'industrie de la viande, les déchets contenus dans les eaux usées domestiques, etc. Cette diminution de l'O₂ dissous peut provoquer dans certains cas des mortalités importantes de poissons. [1]
- **La présence de produits toxiques** : ces substances provoquent des effets qui peuvent être de deux formes : effet immédiat ou à court terme conduisant à un effet toxique brutal et donc à la mort rapide de différents organismes et effet différé ou à long terme, par accumulation au cours du temps, des substances chez certains organismes. La plupart des produits toxiques proviennent de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels. [1]
- **Une prolifération d'algues** : bien que la présence d'algues dans les milieux aquatiques soit bénéfique pour la production d'oxygène dissous, celles-ci peuvent proliférer de manière importante et devenir extrêmement gênantes en provoquant le processus d'eutrophisation. [1]
- **Une modification physique du milieu récepteur** : le milieu peut être perturbé par des apports aux effets divers : augmentation de la turbidité de l'eau (ex. lavage de matériaux de sablière ou de carrière), modification de la salinité (ex : eaux d'exhaure des mines de sel), augmentation de la température (ex. eaux de refroidissement des centrales nucléaires). [1]

➤ **La présence de bactéries ou virus dangereux** : les foyers domestiques, les hôpitaux, les élevages et certaines industries agro-alimentaires rejettent des germes susceptibles de présenter un danger pour la santé. [1]

1.1. Origine des eaux usées :

Quatre types de pollution sont généralement définis contre lesquels des moyens de lutte doivent être mis en œuvre :

- La pollution traditionnelle des eaux usées domestiques ;
- La pollution drainée par les eaux pluviales ;
- La pollution des industries implantées dans la commune ;
- La pollution des matières de vidange issues de l'assainissement autonome des habitations non raccordées au réseau d'assainissement collectif.

1.1.1. *Les eaux usées domestiques :*

Constituant généralement l'essentiel de la pollution, elles se composent :

- Des eaux vannes d'évacuation des toilettes,
- Des eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain.

Les déchets présents dans ces eaux souillées sont constitués par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. [3]

1.1.2. *Les eaux pluviales :*

Les eaux de ruissellement peuvent être particulièrement polluées surtout en début de pluie :

- Lessivage des sols, des surfaces imperméabilisées,
- Remise en suspension des dépôts des collecteurs,...

Les eaux pluviales sont de même nature que les eaux domestiques et peuvent contenir en plus, des métaux lourds et des toxiques : Plomb, Zinc, Hydrocarbures, ...

Suivant le contexte local, des dispositions devront être prises pour en limiter l'impact : bassins d'orage, bassins d'étalement, chaussées filtrantes, ... [3]

1.1.3. *Les eaux usées industrielles :*

Les caractéristiques des eaux usées d'origine industrielle sont bien évidemment directement liées aux types d'industries implantées sur la commune.

La pollution de ces eaux peut être organique, minérale, toxique.

Le branchement des établissements commerciaux, industriels ou artisanaux au réseau public n'est pas obligatoire.

Toutefois ceux-ci pourront être autorisés à déverser leurs eaux industrielles dans le réseau public pour qu'elles soient épurées avec les eaux usées domestiques, à condition qu'elles soient compatibles avec les techniques d'épuration traditionnelle.

1.1.4. Les matières de vidange :

Dans toutes les communes, il existe des habitants non raccordés ou non raccordables à l'égout public. Or, toute fosse septique (ou appareil équivalent) produit obligatoirement des matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières domestiques font partie intégrante de l'assainissement. [3]

1.2. Classification des polluants :

Si l'on cherche à classer les matières polluantes dans les eaux usées, c'est pour essayer de s'y retrouver et de bien choisir les procédés qui permettront de les éliminer. La nature des matières polluantes de l'eau dépend bien sûr, de l'origine de l'eau usée. On les classe en fonction des caractéristiques décrites ci-après :

2.2.1. Matière organique ou minérale :

- **Matière organique** : c'est la matière qui est principalement issue de la matière vivante (végétaux, animaux....) et de l'industrie chimique. Sa composition est structurée autour du carbone. On y trouve des sucres, des protéines, des acides organiques (lactique, acétique...), des acides gras, des macromolécules comme l'amidon, la cellulose....etc

- **Matière minérale** : c'est la matière qui ne contient généralement pas de carbone. On y retrouve les métaux lourds, l'ammoniac, les nitrates, les phosphates et le gaz carbonique (le CO₂).

Pratiquement, les eaux usées contiennent toujours ces deux types de pollution en quantités variables suivant son origine. [2]

2.2.2. Matière soluble ou insoluble :

La matière organique ou minérale peut être sous forme soluble ou insoluble :

- **Matière soluble** : elle est dissoute dans l'eau et se trouve donc souvent sous forme d'unité chimique simple, la molécule, ou de macromolécules comme les protéines ou les colloïdes qui «flottent» dans l'eau mais que l'on ne voit pas.

- **Matière insoluble** : C'est un agrégat de matière qui se retrouve sous forme particulière. Les particules solides qui peuvent, soit flotter, soit décanter en fonction de leurs densités. [2]

2.2.3. Matières toxiques ou non :

Parmi les différentes matières présentes dans des eaux polluées, certaines ont une toxicité élevée pour le monde vivant. C'est à dire qu'à très faible concentration, elles ont un impact important sur l'équilibre du milieu naturel.

Par exemple le cyanure en très faible quantité peut avoir un effet dévastateur sur un écosystème. C'est le cas aussi de métaux lourds comme le cadmium et le mercure qui, présents en très faible quantité, modifient fortement l'équilibre des écosystèmes. [2]

2.2.4. Matière inerte ou vivante :

Les eaux polluées contiennent des matières organiques et/ou minérales qui n'ont donc pas les caractéristiques du «vivant » et que l'on peut qualifier de «matières inertes».

Mais on y trouve aussi, très souvent, des micro-organismes (des bactéries par exemple), qui sont de la matière vivante. Ces derniers se développent dès que l'eau est souillée. Ils peuvent être pathogènes. [2]

3. Principaux paramètres de la pollution

2.1. Les paramètres physico-chimiques :

2.1.1. Température :

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz (entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique). Par ailleurs, la température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques d'un facteur de 2 à 3 pour une augmentation de température de 10 degrés Celsius (°C). L'activité métabolique des organismes aquatiques est donc également accélérée lorsque la température de l'eau augmente.

La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes. Des changements brusques de température de plus de 3°C s'avèrent souvent néfastes.

2.1.2. pH (potentiel d'hydrogène)

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est -à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H⁺).L'échelle des pH s'étend en pratique de 0 (très acide) à 14 (très alcalin) ; la valeur médiane 7 correspond à une solution neutre à 25°C. Le pH d'une eau naturelle peut varier de 4 à 10 en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Des pH faibles (eaux acides) augmentent notamment le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, toxique pour les poissons.

On admet généralement qu'un pH naturel situé entre 6,5 et 8,5 caractérise des eaux où la vie se développe de manière optimale.

2.1.3. Oxygène dissous (OD) et pourcentage (%) de saturation en oxygène

Les concentrations en oxygène dissous constituent, avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique.

L'oxygène dissous dans les eaux de surface provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments. Cette concentration en oxygène dissous est également fonction de la vitesse d'appauvrissement du milieu en oxygène par l'activité des organismes aquatiques et les processus d'oxydation et de décomposition de la matière organique présente dans l'eau.

Globalement, plus la concentration en oxygène dissous (OD) est proche de la saturation, plus l'aptitude de la rivière à absorber la pollution est grande : une valeur inférieure à 1 mg d'O₂ par litre indique un état proche de l'anaérobie. Cet état se produit lorsque les processus d'oxydation des déchets minéraux, de la matière organique et des nutriments consomment plus d'oxygène que celui disponible. Une faible teneur en oxygène dissous provoque une augmentation de la solubilité des éléments toxiques qui se libèrent des sédiments. Une valeur de 1 à 2 mg d'O₂ par litre indique une rivière fortement polluée mais de manière réversible ; une teneur de 4 à 6 mg d'O₂ par litre caractérise une eau de bonne qualité ; des teneurs supérieures à la teneur naturelle de saturation en oxygène indiquent une eutrophisation du milieu se traduisant par une activité photosynthétique intense.

Les espèces de poissons sensibles peuvent être perturbées par une teneur en oxygène inférieure à 4 mg/l.

2.1.4. Conductivité électrique (EC)

La mesure de la conductivité de l'eau permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et des activités industrielles de la population.

Cette mesure de la conductivité est plus utilisée dans l'optique de détection d'une éventuelle pollution, que les autres paramètres n'auraient pas mise en lumière (cas de métaux lourds dissous dans l'eau par exemple). [4]

La conductivité électrique standard s'exprime généralement en milli siemens par mètre (mS/ m) à 20 °C. Celle conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm.

L'estimation de la quantité totale de matières dissoutes peut être obtenue par la multiplication de la valeur de la conductivité par un facteur empirique dépendant de la nature des sels dissous et de la température de l'eau. La connaissance du contenu en sels dissous est importante dans la mesure où chaque organisme aquatique a des exigences propres en ce qui concerne ce paramètre. Les espèces aquatiques ne supportent généralement pas des variations importantes en sels dissous qui peuvent être observés par exemple en cas de déversements d'eaux usées. [5]

Tableau 1.1 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres physico - Chimiques

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
Température	Détermination au moyen de trois appareillages : oxymétrie, conductimètre, et pH-mètre. La valeur prise étant la moyenne des trois températures mesurées. NF EN 25667 (ISO 5667)	<ul style="list-style-type: none"> • 30°C : valeur limite de rejet direct dans le milieu récepteur [OMS et JORA1993] • 35°C : valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation
Oxygène dissous	La détermination de l'oxygène peut être réalisée soit : - par titrage (méthode Winkler 1888) - Grâce à une électrode sensible à l'oxygène dissous. AFNOR NF EN 25813 et AFNOR NE EN 25814	
pH	La mesure du pH peut être réalisée par : • pH-mètre • procédé électrométrique à l'électrode de verre. AFNOR NF T 90-008	6.5 < pH < 8.5 [OMS]
Conductivité	Détermination par conductimètre : basée sur une mesure électrochimique de résistance. AFNOR EN 27888	Conductivité <2700 µS/cm [OMS]

2.2. Les paramètres de la pollution particulaire

2.2.1. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont des matières non solubilisées, de nature organique et minérale, les premières sont généralement volatiles, elles peuvent être traitées par dégradation biologique ; les dernières de natures minérales essentiellement inertes, peuvent être éliminées en grande partie par sédimentation. [6]

La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par suite, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les MES peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...). Une forte teneur en MES entraîne également une atteinte aux usages récréatifs. Elles sont exprimées en mg/l.

2.2.2. Matières volatiles sèches (MVS)

C'est la fraction organique des MES, appelés «volatiles » car elles sont mesurées en volatilissant les MES dans un four. La mesure des MVS permet de distinguer la partie organique des MES de la partie minérale. Les MVS ne représentent que les particules de biomasse, vivante ou morte, ainsi que certaines particules organiques n'intervenant pas dans le processus de dépollution :

- Sa valeur a des conséquences sur le dimensionnement du réacteur biologique (l'optimisation du volume du réacteur nécessite de travailler avec des valeurs élevées mais limitées en raison de la capacité hydraulique du clarificateur situé à l'aval).
- La biomasse en suspension des boues activées pouvant facilement être estimée par une mesure de matières volatiles en suspension.
- Le volume du bassin d'aération nécessaire au traitement d'une masse journalière de DBO peut ainsi être calculé en fixant la valeur de la charge massique et la concentration de MVS dans le bassin d'aération.

2.2.3. La turbidité

C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes (MES). Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique. [4]

Tableau 1.2 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution particulière de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
MES	Il existe deux méthodes normalisées d'analyse des MES : - la méthode par filtration sur filtre en fibres de verre (NF EN 872) - la méthode par centrifugation (NF T 90-105-2).	MES < 20 mg/L [OMS]
MVS	-Calcination des matières organiques dans un four à moufle à 550 °C. La différence de masse, exprimée en mg.L ⁻¹ , entre les MES et les matières résiduelles (minérales) représente les MVS. [2] AFNOR NF T 90-105	En Basse saison, la valeur basse doit être supérieure à 1 à 1,5 g de MVS/L [5]
La turbidité	-Mesure de la réduction de l'intensité lumineuse d'un rayon traversant un liquide contenant des matières en suspension. [6] (NF EN ISO 7027)	Turbidité < 5 NTU

2.3. Les paramètres de la pollution dissoute :

2.3.1. Les composés azotés :

L'azote est l'un des éléments chimiques les plus abondants sur terre. Il se présente sous deux formes : l'azote organique (protéines, acides aminés,...) et l'azote minéral (azote moléculaire, ammonium, nitrites, nitrates, ...).

2.3.1.1. Problème de l'azote dans les effluents urbains

L'azote présent dans les eaux résiduaires urbaines provient essentiellement des déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport, essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque. Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés et certains agents de surface (des assouplissant) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés.

Lors du transport des effluents jusqu'à la station d'épuration, des réactions d'ammonification ont lieu, transformant cet azote organique en ammonium, forme particulièrement nuisible pour les ressources d'eau de surface.

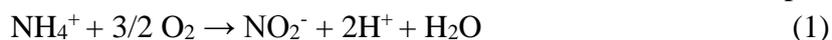
- NH_4^+ : Ce n'est pas la forme ionisée (NH_4^+) qui est toxique, mais la forme non ionisée (NH_3). La transition vers cette forme non ionisée dépend du pH, de la température et du taux d'oxygène.
- NTK : A fortes doses, l'azote ammoniacal et organique peut être toxique pour la biocénose (faune et flore) du milieu récepteur par la consommation d'oxygène nécessaire à sa transformation et la toxicité propre à l'ammoniac.
- NO_3^- : Les nitrates stimulent la flore aquatique ; c'est la forme d'azote la plus utilisée par les végétaux.

2.3.1.2. Processus d'élimination de l'azote

L'élimination de l'azote ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques de "nitrification". Le principe de la nitrification consiste en l'oxydation, par des bactéries aérobies, de l'azote ammoniacal en nitrites puis nitrates. Les espèces dites "nitrifiantes" sont des bactéries autotrophes qui tirent leur énergie de l'oxydation et qui utilisent les sources de carbone minéral (CO_2) pour synthétiser la matière vivante. Les bactéries responsables de la nitrification sont les Nitrosomonas et les Nitrobacter.

La nitrification s'effectue en 2 étapes:

- La Nitritation, oxydation des ions ammonium en nitrites, selon la réaction simplifiée suivante :



- la nitratation, oxydation des nitrites en nitrates, selon la réaction simplifiée suivante :



Le principe de la dénitrification est une réduction des nitrites et nitrates en azote gazeux, qui se dégage dans l'atmosphère, selon la réaction suivante:



2.3.2. Les composés phosphorés :

2.3.2.1. Problème du phosphore dans les effluents urbains

L'origine du phosphore dans les eaux usées est multiple. Il provient :

- Du métabolisme humain : un homme excrète entre 1 et 2g de P par jour,
- Des produits lessiviels et de nettoyage : 1 à 2 g de P par jour et par habitation
- Des rejets industriels : effluents industriels agro-alimentaires, d'abattoirs, de laveries industriels, d'industries de traitement de surface.

La présence de phosphore dans les cours d'eau et les lacs est responsable de leur eutrophisation, provoquant la prolifération anarchique d'algues et une surconsommation de l'oxygène dissous dans l'eau. Celui-ci est alors moins disponible pour les autres espèces vivantes, et notamment pour les poissons. Les stations d'épuration doivent donc traiter le phosphore.

2.3.2.2. Traitement biologique du phosphore

La déphosphatation biologique repose sur l'accumulation du phosphore à l'intérieur des bactéries qui sont évacuées avec les boues en excès. La biomasse est exposée à une alternance de conditions anaérobies et aérobie.

En condition anaérobie, les bactéries déphosphatantes synthétisent un produit de réserve, les poly- β -alcanoates (PHA), à partir du substrat facilement biodégradable des eaux usées et de l'énergie libéré par l'hydrolyse intracellulaire de polyphosphate. Il en résulte un relargage de phosphate dans le milieu externe.

En condition aérobie, les PHA et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leur stock de polyphosphate et croissent.

Le tableau suivant regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution dissoute ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Tableau1.3 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution dissoute de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
Les composés azotés	-Méthode normalisée de mesure d'Azote Kjeldahl (N-NTK) AFNOR NF T	NTK < 6 mg/L
	-Méthode normalisée de mesure d'Azote ammoniacal (N-NH ₄ ⁺) AFNOR T 90-015-2 (2000)	NH ₄ ⁺ < 5 mg/L
	-Méthode normalisée de mesure des nitrites : NF EN 26777	NO ₂ ⁻ < 10 mg/L
	-Méthode normalisée de mesure des nitrates : NF EN ISO 13395,	
	-Méthodes continues de mesure des nitrates : <ul style="list-style-type: none"> • méthodes colorimétriques, • méthode spectrophotométrique directe, • méthode par électrode à ion spécifique. 	NO ₃ ⁻ < 10 mg/L [OMS]
Les composés phosphorés	-Méthode de mesure normalisée du phosphore total : NF EN ISO 6878	P _T < 3 mg/L
	-Méthode commerciale : le phosphore total est dosé après minéralisation et en général par colorimétrie.	
	-Méthode de mesure normalisée de l'Ortho-phosphates (P-PO ₄ ⁻³) NF EN 1189 (1997)	P ₂ O ₅ < 1 mg/L [OMS]

2.4. Les paramètres de la pollution organique globale :

Le contenu d'une eau en matières oxydables responsables de son appauvrissement en dioxygène dissous peut être évalué en mesurant la quantité de dioxygène nécessaire pour les dégrader. On utilise pour cela deux paramètres différents, la demande chimique en oxygène DCO qui donne une mesure de la quantité totale de matières réduites dans l'eau qu'elles soient biodégradables ou non, et la demande biologique ou DBO₅ qui donne une mesure des matières polluantes biodégradables.

3.4.1. La demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO permet d'évaluer la concentration en matières organiques ou minérales, dissoutes ou en suspension dans l'eau, au travers de la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale. L'oxydation est réalisée par un réactif ayant un pouvoir d'oxydation puissant (le permanganate de potassium ou le bichromate de potassium à chaud en milieu acide).

La quantité de réactif consommé pour l'oxydation des matières organiques présentes, rapportée en mg. L-1 d'oxygène, correspond à la DCO.

La DCO est utilisée pour qualifier les eaux usées qui ne sont pas biodégradables, ou qui renferment des composants qui freinent l'activité des micro-organismes. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques.

La valeur de la DCO est toujours plus élevée que celle de la DBO₅, car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement. [5]

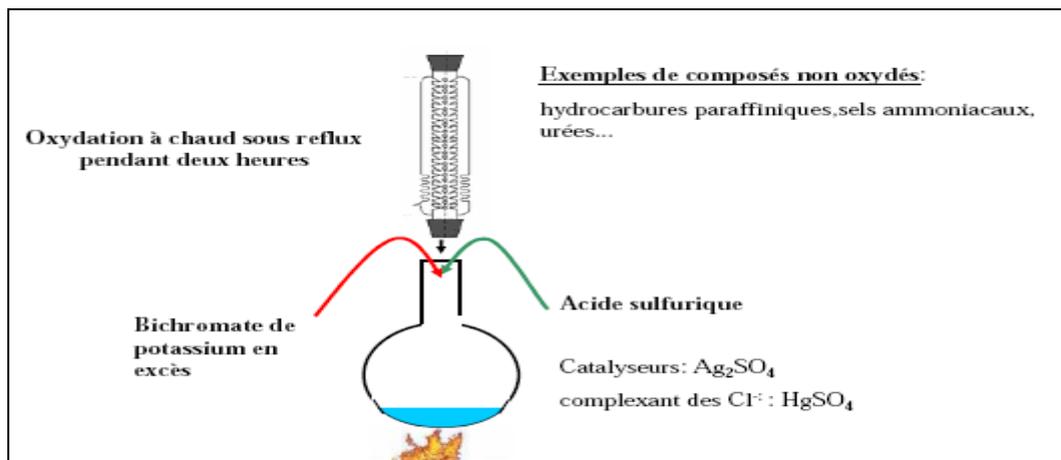


Figure1.1 Mesure de la DCO

3.4.2. La demande biochimique en oxygène DBO (DBO₅):

Elle est définie comme étant la quantité d'oxygène consommée par des microorganismes pour assurer la dégradation par voie biologique de certaines matières organiques (biodégradables) [4].

- Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante entraîne une consommation de l'oxygène)
- Elle donne une indication indirecte de l'activité bactérienne.
- La DBO₅ permet de mesurer la qualité d'une eau (eaux superficielles : rivières, lacs..., eaux usées : stations d'épuration, rejets industriels...)
 - ✓ Une eau potable a une DBO₅ quasi nulle,
 - ✓ une eau courante propre de rivière est très peu chargée, quelques mg/l,
 - ✓ Les eaux résiduaires domestiques sont assez constantes autour de 300 mg/l sauf accidents, pluies, etc ou activités industrielles fluctuantes.
- Elle permet de connaître l'impact du rejet dans le milieu récepteur (une désoxygénation du milieu provoque une mortalité piscicole).

La réaction se déroule pendant 5 jours à 20 °C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite), on parle alors de la DBO₅ exprimée en (mg/l). Cette valeur donne accès à la partie rapidement biodégradable de la matière organique carbonée. En continuant la mesure au-delà de 5 jours, la partie lentement biodégradable de la matière organique carbonée va être prise en compte à son tour (Figure II.3). On considère que la mesure obtenue au 21^{ème} jour prend en compte la totalité de la pollution présente dans l'échantillon (DBO ultime). [10]

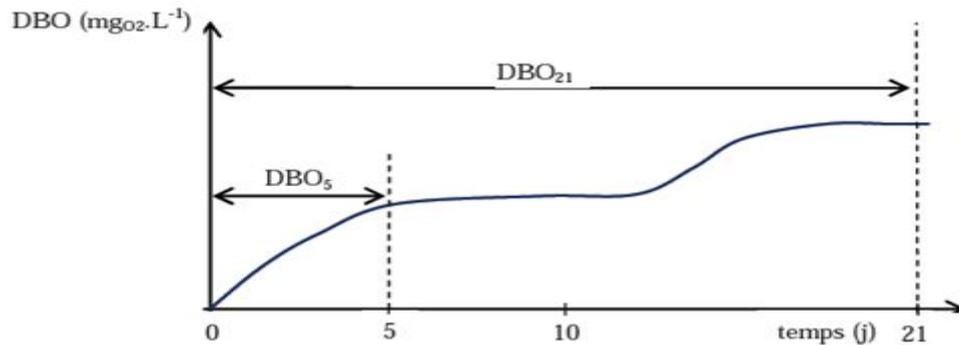


Figure 1.2 Évolution temporelle de la DBO

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO₅ et la DCO est donnée par l'équation suivante :

$$\mathbf{MO = (2 * DBO5 + DCO)/3} \quad [11]$$

3.4.3. La Demande Totale en Oxygène DTO:

La DTO est la quantité d'oxygène (exprimée en mg/L) nécessaire à la combustion totale en atmosphère oxydante d'un litre d'échantillon soumis à analyse. Dans la majorité des cas, la Demande Totale en Oxygène et la Demande Chimique en Oxygène sont très voisines (sauf si l'échantillon contient des ions tels que Cl⁻, SO₄⁻², NO₃⁻, NH₄⁺).

3.4.4. Le carbone organique total COT :

Le COT représente, comme la DCO ou le DBO₅ (ou en combinaison avec ces derniers), un paramètre composite important dans la détermination de la contamination organiques des eaux.

La mesure du carbone organique total permet de donner une indication directe de la charge organique d'une eau. , il renseigne sur le type et l'origine des contaminations.

Les composés organiques sont d'une part les protéines, les lipides, les glucides et les substances humiques et d'autre part, les substances organiques carbonées élaborées ou utilisées par l'industrie chimique, pharmaceutique, pétrolière...etc.

Le tableau ci-dessous regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution organique globale ainsi que la norme associée à chaque paramètre.

Tableau 1.4 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres de la pollution organique de l'eau (Source OMS)

Paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
DCO	-mesure par des DCO-mètres : l'analyse se fait généralement suivant la norme (NFT 90-101) et la mesure peut s'effectuer soit par titrimétrie, soit par colorimétrie	DCO<90mg/l [OMS]
DBO ₅	Les méthodes normalisées de mesure : - méthode par dilution et ensemencement avec apport d'allyle thio-urée (NF EN 1899-1) - méthode pour les échantillons non dilués (NF EN 1899-2). -méthode par mesure de la quantité d'oxygène consommée (NF-T-90-103) Les méthodes commerciales : - mesure respirométrique ou manométrique, - mesure de la consommation d'oxygène [11]	DBO ₅ <30 mg/l [OMS]
COT	-Détection infrarouge du CO ₂ formé lors de la combustion d'un échantillon d'eau à 680 °C NF EN 13137	

3.5. Les paramètres toxiques :

3.5.1. Les Métaux lourds :

Le suivi des concentrations des métaux lourds est particulièrement important vu leur toxicité et leur capacité de bioaccumulation le long de la chaîne alimentaire. Contrairement aux polluants organiques, les métaux ne peuvent pas être dégradés biologiquement ou chimiquement. Cependant, leur précipitation engendrerait leur mélange avec les boues décantées.

Les concentrations en cuivre, nickel, chrome, plomb cadmium, mercure, zinc caractérisent certains types de pollution :

- ✓ La présence de cuivre et de nickel indiquent l'existence de rejets provenant d'industries de traitement de surface des métaux
- ✓ Le chrome indique l'existence de rejets provenant d'une tannerie
- ✓ Le plomb est lié à des pollutions diffuses.
- ✓ Le zinc est évacué par des industries qui pratiquent la galvanisation ou la préparation d'alliages tels que le laiton et le bronze, il peut provenir également du contact entre les eaux de ruissellement et les matériaux galvanisés
- ✓ Le cadmium peut notamment être rejeté par des usines de galvanoplastie et d'industries chimiques, de textiles et de teintures.

Les métaux lourds se dissolvent très bien dans une eau acide (pH faible). Dans des eaux neutres ou basiques, ils précipitent et s'accumulent principalement dans la phase solide (boues).

L'analyse de ces boues permet ainsi d'obtenir une vue de l'ensemble des déversements en métaux lourds qui ont eu lieu, tant en nature qu'en quantité. [12]

- **Mesure des métaux lourds :**

Il existe des méthodes normalisées pour certains métaux. La majorité des métaux lourds peuvent être analysés :

- par absorption atomique

- par colorimétrie (cette méthode n'est pas encore normalisée mais elle peut être utilisée par l'entreprise dans le cadre de l'auto surveillance).

- **Normes internationales de rejet des métaux lourds dans les eaux usées :**

Les concentrations limites ont été fixées par l'OMS :

Tableau 1.5 Normes internationales de rejets sur les métaux lourds (Source OMS)

Métal	Concentration (mg/l)	Métal	Concentration (mg/l)
Aluminium (Al)	5.0	Lead (Pb)	5.0
Arsenic (As)	0.1	Lithium (Li)	2.5
Beryllium (Be)	0.1	Manganese (Mn)	0.2
Boron (B)	0.75	Molybdenum (Mo)	0.01
Cadmium (Cd)	0.01	Nickel (Ni)	0.2
Chromium III (Cr)	0.1	Selenium (Se)	0.02
Cobalt (Co)	0.05	Vanadium (V)	2.0
Copper (Cu)	0.2	Zinc (Zn)	0.005
Iron (Fe)	5.0		

3.5.2. Les tensioactifs :

Ils ont la propriété d'abaisser la tension superficielle de l'eau et sont employés à cause de leur pouvoir mouillant et moussant. Si les tensio-actifs sont eux-mêmes relativement peu toxiques, leur impact environnemental est lié au fait que leur présence dans les eaux usées se caractérise principalement par des mousses abondantes qui peuvent perturber le fonctionnement des stations d'épuration, en effet La maîtrise du transfert d'oxygène dans les procédés d'épuration biologiques aérobies est déterminante pour la qualité et la fiabilité du traitement des eaux usées. Les stations d'épuration renferment des cultures bactériennes concentrées en suspension (boues activées) qui dégradent à grande échelle les substrats contenus dans les eaux usées en présence d'oxygène, apporté par des aérateurs. Or, les tensioactifs et les graisses limitent le transfert de l'oxygène dans les boues activées.

Car en présence des tensioactifs les capacités d'oxygénation des systèmes d'aération sont réduites de 40 à 70 % par rapport à l'eau claire. [13]

3.5.3. *Huiles et graisses :*

Quelque soit leur origine, biologique ou industrielle, elles affectent les propriétés organoleptiques et en s'étalant à la surface de l'eau, créent un film superficiel souvent irisé, diminuant la capacité de ré-oxygénation du milieu. De ce fait, elles risquent de perturber le fonctionnement des stations d'épuration.

3.5.4. *Les hydrocarbures :*

Ce terme fait la plupart du temps référence aux huiles minérales qui comportent des substances telles que les alcanes, les alcènes, etc. Outre leur toxicité, ces substances peuvent limiter l'apport d'oxygène dans les eaux de surface lorsqu'elles sont présentes en concentrations élevées. Ces polluants incluent également les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ainsi que les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM).

Les HAP sont des combinaisons organiques résultant de l'assemblage de plusieurs noyaux benzéniques. Ces composés sont relativement stables et peu solubles dans l'eau. Ils s'adsorbent fortement aux sols et aux matières en suspension et sont, en outre, très solubles dans les graisses ce qui favorise leur bioaccumulation dans les tissus humains et animaux. Plusieurs HAP sont classés comme agents cancérigènes possibles par l'OMS. Les HAM incluent des polluants comme le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène dont les impacts sur la santé peuvent être très importants (diminution de la réponse immunitaire, effet neurotoxique, irritation des voies respiratoires...).

Leur présence dans les rejets est liée principalement à l'activité humaine par voie atmosphérique à partir de fumées industrielles, gaz d'échappement, rabattues par les pluies ou volontairement par des rejets dans le réseau (station, service, processus de combustion ...)

Le tableau ci-dessous regroupe les méthodes de mesure des paramètres de la pollution toxique ainsi que la norme associée à chaque paramètre. [12]

Tableau 0.6 Normes internationales de mesure et de rejets sur les paramètres toxique de l'eau (Source OMS)

paramètre	Norme et méthode de mesure	Norme de rejet
Les tensioactifs	- Dosage des agents de surface anioniques par mesure de l'indice au bleu de méthylène (SABM NF EN 903)	
Les hydrocarbures	-Mesure par la méthode de dosage des hydrocarbures totaux : <ul style="list-style-type: none"> • Hydrocarbures Totaux : AFNOR T90-203 • Halogénés : AFNOR EN ISO 10301 • Aromatiques : AFNOR EN ISO 1568 	HC<20 mg/L [OMS]

3.6. Les paramètres microbiologiques :

Plusieurs organismes font partie de l'étude de la microbiologie aquatique. Leur élimination doit être certaine. Ils concernent surtout les espèces tels que :

3.6.1. *Les bactéries :*

Les bactéries concernent surtout les coliformes totaux et fécaux. Leur présence dans l'eau peut signifier la proximité d'une décharge d'égouts sanitaires ou de contamination fécale.

- **Les coliformes totaux :** sont des bactéries utilisées comme indicateur de la qualité microbiologique de l'eau. Leur présence en excès dans l'eau, soit 10 coliformes par 100 ml et plus, annonce une contamination de l'eau potable.
- **Les coliformes fécaux :** sont des bactéries d'origine fécale qu'on retrouve dans le tube digestif des humains et des animaux. Leur présence dans l'eau peut avoir des conséquences graves sur la santé. Les personnes les plus susceptibles d'être affectées sont les enfants de moins de 5 ans. Pour les coliformes fécaux au Canada la norme de rejet fixe une valeur de 400 par 100 ml (après désinfection). [9]

3.6.2. *Les virus :*

Les virus se retrouvent dans l'eau par contamination directe ou indirecte des humains ou des animaux. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10^3 à 10^4 particules par litre. Parmi les virus les plus importants, il faut citer les genres entérovirus, rotavirus, adénovirus et le virus de l'Hépatite qui ont une durée de vie d'environ 3 mois et constituent une importante source de contamination.

Une eau fortement turbide protège les virus et augmente leur transmission. La coagulation chimique peut enlever entre 88 et 99.8 % des virus. La filtration enlève une quantité variable de virus. La meilleure méthode d'enlèvement des virus demeure la désinfection (Degremont, 1989).

3.6.3. *Les parasites :*

Ces organismes peuvent survivre entre une vingtaine de jours et une dizaine de mois, les plus connus sont ténia et giardia lamblia.

3.7. Norme de rejet

3.7.1. *Normes des effluents en Algérie*

D'après le décret exécutif nA 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels qui fixent les valeurs limites de rejets d'effluents liquides industriels et obligent toutes les installations générant des rejets d'effluents liquides industriels à assurer un traitement aboutissant à des rejets définies dans le tableau suivant :

Tableau 1.7 valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels

Paramètres	Valeurs maximales	Paramètres	Valeurs maximales
Températures	30 C°	Fer	5 mg/l
PH	6,5 à 8,5	Manganèse	1 mg/l
Mes	30 mg/l	Mercuré	0,01 mg/l
DBO5	40 mg/l	Nickel	5 mg/l
DCO	120 mg/l	Plomb	1 mg/l
Azote Kjeldahl	40 mg/l	Cuivre	3 mg/l
Phosphates	02 mg/l	Zinc	5 mg/l
Cyanures	0,1 mg/l	Huiles et Graisses	20 mg/l
Aluminium	5 mg/l	Hydrocarbures	20 mg/l
Cadmium	0,2 mg/l	Phénols	0,5 mg/l
Chrome 3+	3,0 mg/l	Solvant-organique	20 mg/l
Chrome 6+	0,1 mg/l	Chlore actif	1,0 mg/l
Détergents	2 mg/l	PCB	0,001 mg/l
Tensio-actifs anioniques	10 mg/l		

3.7.2. Normes Internationale

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser, ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret-loi.

Tableau 1.8 Les normes internationales des paramètres de rejets d'effluents liquides.

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
PH	6,5-8,5
DBO5	< 30 mg/l
DCO	< 90 mg/l
MES	< 20 mg/l
NH ₄ ⁺	< 0,5 mg/l
NO ₂	< 1 mg/l
NO ₃	< 1 mg/l
P ₂ O ₅	< 2 mg/l
Température	< 30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

3.8. Notion d'équivalent habitant

L'équivalent habitant (éq. h.) correspond à la quantité de pollution rejetée par un habitant quotidiennement.

L'arrêté du 10 décembre 1991 définit les quantités journalières suivantes pour chaque habitant

- 90 g de matières en suspension ;
- 57 g de matières oxydables ;
- 15 g de NTK ;
- 4 g de phosphore total.

Les matières oxydables (MO) correspondent à une moyenne pondérée de la DCO et de la DBO5, mesurées après une décantation de 2 h, suivant la formule :

$$MO = \frac{DCO+2*DBO5}{3} \quad (4)$$

4. Situation des eaux usées en Algérie

4.1. Législation algérienne sur les eaux usées

Le déversement des eaux usées domestiques et industrielles est soumis à diverses dispositions de nature législative ou réglementaire visant notamment la protection de la santé publique, c'est le texte de l'article 84 de la loi du 16 juillet 1983 portant code des eaux définissant ainsi les principaux objectifs de l'assainissement urbain. L'article 84 de la même loi rend obligatoire le branchement d'égout en zone agglomérée, de toute habitation ou établissement rejetant des eaux usées. [16]

4.2. Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages. Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Économique et Environnementale (MRE, 2012).

Le réseau national d'assainissement totalise un linéaire de 27000 kilomètres. Le taux de recouvrement est, hors population éparse, de 85%. Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du nord. Ce chiffre passerait à près de 1150 millions de m³ à l'horizon 2020.

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle. Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas (Départements), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture.

Un plan d'action entre ONA et ONID (Office national d'irrigation et de drainage) est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des stations d'épurations exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des 05 bassins hydrographiques à l'échelle nationale (MRE, 2012)

4.3. La réutilisation des eaux usées en Algérie

En Algérie la réutilisation des eaux usées traitées longtemps délaissée, en raison de l'état défectueux du parc de stations d'épuration qu'il a fallu réhabiliter, est devenue un axe important de la nouvelle politique de l'eau. Avec la remise en état des anciennes STEP et la construction de nouvelles stations, plusieurs projets d'irrigations à partir des eaux usées traitées sont en cours d'études ou déjà réalisés.

La stratégie nationale en matière de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation a trois objectifs :

- économiser et préserver les ressources en eaux traditionnelles,
- accroître les superficies irriguées,
- et participer à l'augmentation de la production agricole.

Le programme en cours doit porter le nombre de stations d'épuration de 150 STEP avec une capacité d'épuration installée de 550 millions de m³ par an à 216 STEP en 2020 avec une capacité de 1200 millions de m³ par an d'eaux épurées. [16]

4.4. Aspect économique et financier

Ces aspects doivent tenir compte du coût de production de l'eau comme alternative à l'utilisation d'une eau conventionnelle, de l'impacte de l'utilisation des eaux usées sur l'environnement notamment, sur la qualité et la quantité des eaux des ressources en eaux souterraines ou de surface.

Un certain nombre de mesures de prévention doivent être mises en œuvre dans le cadre de tout projet de réutilisation :

- Choix du système d'irrigation le plus apte à réduire les risques sanitaires.
- Vaccination des groupes sociaux cibles.
- Pour les agriculteurs, il a lieu de se conformer à une éducation sanitaire rigoureuse : (port bottes, gants...).
- Implantation des projets loin des agglomérations.
- Choix des cultures.

4.5. Cadre réglementaire d'usage des eaux usées épurées.

La loi n° 05 - 12 du 04 août 2005, relative à l'eau, a institué, à travers ses articles 76 et 78, la concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation. (JORADP, 2005)

Le décret n°07-149 du 20 mai 2007 fixe les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges y afférent :

- Concession à travers un cahier des charges à toute personne morale ou physique de droit public ou privé.
- Qualité spécifique fixée par arrêté (santé, eau, agriculture)
- Cultures fixées par arrêt (santé, eau, agriculture)
- Contrôle sanitaire (personnel, produit agricole, sol)
- Dispositions financières (redevance pour la concession, tarif pour la fourniture d'eaux usées épurées). [18]

Ce décret règle tous les processus d'utilisation des eaux usées épurées par les stations d'épurations, par une demande adressée par un concessionnaire au Wali (premier responsable de la Wilaya ou département) de la région, cette demande comporte une convention avec la station d'épuration qui fournit les eaux usées épurées. Le contrôle technique, la gestion des périmètres irrigués et le contrôle sanitaire ainsi que la qualité de l'eau épurée et des produits agricoles est assurée par les directions territoriales de chaque wilaya sous tutelle de différents ministères : ressources en eau, agriculture, santé, environnement et commerce. [14]

4.6. Liste des cultures autorisées

Une autre réglementation a été mise en œuvre, c'est l'arrêté interministériel du 8 Safar 1433 correspondant au 2 janvier 2012 fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées. Ce texte est promulgué par les ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée. [14]

Tableau 1.9 Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées.

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (*)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (**)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin
Cultures céréalières	Blé, orge, triticale et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin

4.7. Projet d'irrigation avec des eaux non conventionnelles:

En plus de l'approche classique et la diversité des paramètres (sol, climat, plante), il devient primordial de considérer la qualité de l'eau à utiliser dans la conception d'un projet d'irrigation.

En général, on doit procéder comme suit :

- 1) Connaissance du cadre réglementaire régissant l'usage des eaux non conventionnelles:
 - A- Décret Exécutif n°07/149 du 20/05/2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges - type y afférant
 - B- Arrêté interministériel fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation
 - C- Arrêté interministériel fixant la liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées
 - D- Arrêté interministériel fixant la liste des laboratoires qualifiée d'analyses de la qualité des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation.
- 2) Connaître l'origine, la nature, la qualité (analyses et observations) et la disponibilité de l'eau non conventionnelle à utiliser dans son « état brut »;
- 3) L'existence d'une station d'épuration et de traitement, sa capacité, la disponibilité et la qualité de l'eau épurée à la sortie.

- 4) Connaître les modes, types et périodicité des analyses (de l'eau, du sol, du végétal et du fruit), les laboratoires existants et les normes de référence;
- 5) Connaissance de la gamme des cultures à introduire dans ces conditions;
- 6) Faire le choix de la technique et le système d'irrigation à utiliser ;
- 7) Dimensionnement du réseau d'irrigation « adopté » ;
- 8) Connaissance de toutes les mesures préventives (laver les fruits, les mains, etc...). [15]

Chapitre II

Les indicateurs de performances

1. Introduction :

Pour mieux suivre le fonctionnement de la station d'épuration et afin de détecter les anomalies lorsqu'ils sont produits, des ratios sont mis au point. Ces ratios nous donnent des informations sur la nature de la pollution engendrée par les eaux usées. Ces informations aident à adopter en premier lieu (dans la phase d'étude et de dimensionnement) le mode d'épuration le bien approprié afin d'éliminer le maximum de polluants. Ces rapports font l'objet d'un diagnostic efficace pour la station.

2. Ratios de diagnostic :

2.1. Le rapport DCO/ DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ a une importance pour la définition de la chaîne d'épuration d'un effluent. En effet, une valeur faible du rapport DCO/DBO₅ implique la présence d'une grande proportion de matières biodégradables et permet d'envisager un traitement biologique. Inversement, une valeur importante de ce rapport indique qu'une grande partie de la matière organique n'est pas biodégradable et, dans ce cas, il est préférable d'envisager un traitement physico-chimique. [17]

On peut établir le classement suivant:

- **DCO/DBO₅ < 1.66:** eaux résiduaires susceptibles d'être facilement traitées biologiquement.
- **1.66 < DCO/DBO₅ < 2.5:** eaux résiduaires susceptibles de subir un traitement biologique.
- **2.5 < DCO/DBO₅ < 5:** eaux résiduaires non susceptibles de subir un traitement biologique ou nécessitant une acclimatation préalable des micro-organismes impliqués.

2.2. Rapport MES/DBO₅

Le rapport MES/DBO₅ indique la répartition de la pollution particulaire représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la DBO₅.

Les valeurs de ce ratio varient en fonction du phénomène de sédimentation-érosion au sein du réseau ainsi qu'au lessivage du sol (d'après CHEBBO 1992), des valeurs importantes pour ce rapport sont observées suite à des événements pluvieux importants, en effet le flux de MES rejeté par temps de pluie dans les milieux récepteurs proviennent majoritairement de la remise en suspension des dépôts accumulés (dépôts et biofilms) dans le collecteur. [19]

$\frac{MES}{DBO_5} > 1$ la pollution est dite particulaire

$\frac{MES}{DBO_5} < 1$ la pollution est dite dissoute.

2.3. Le rapport $DBO_5/N-NH_4^+/P-PO_4$ ou C/N/P :

Le rapport $DBO_5 / N-NH_4^+ / P-PO_4$ exprime l'équilibre nutritionnel, le métabolisme bactérien s'accompagne de besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'ortho phosphates dans des proportions bien précises. Toute déviation signifie un déséquilibre en nutriments qui constitue un handicap au niveau du traitement biologique. [18]

Pour un développement correct des micro-organismes épurateurs, on admet les rapports suivants:

$$C/N/P = 100 / 5 / 1$$

2.4. Le rapport MVS/MS :

Ce rapport indique l'organicité de l'effluent ainsi que sa mixité relative, et aura une incidence importante sur :

- La production de boue biologique en excès ;
- La qualité mécanique des boues activées (définie par son IM) ;
- Le taux de MVS dans le réacteur biologique ;
- Le dimensionnement du réacteur biologique tant pour le traitement de la pollution carbonée que pour la nitrification et la dénitrification simultanée ;
- Le dimensionnement du clarificateur ;
- Le dimensionnement de la filière boue (directement par l'influence sur la production de boue et indirectement par l'influence sur l'IM). [20]

2.5. Le rapport DCO/PT

Le rapport DCO/P_T indique la faisabilité d'une déphosphatation biologique, la mixité relative de l'effluent ainsi que les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore.

En effet la composition de l'eau usée influence de manière prépondérante l'efficacité du processus de déphosphatation biologique. Cette influence est pratiquement aussi importante que la présence ou l'absence d'oxygène dans le milieu. L'acétate et le propionate sont les substrats de choix pour une élimination maximale de phosphore. [20]

2.6. Rapport NH_4^+/NTK :

Le rapport NH_4^+/NTK caractéristique de la pollution azotée apportée par l'effluent. Il indique le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le réseau

Plus la valeur de ce ratio est élevée, plus l'azote organique est transformé en azote ammoniacal soluble (ammonification importante) donc une grande partie de la pollution azotée se trouve sous forme d'ions ammonium NH_4^+ . [21]

2.7. Rapport DCO/NTK :

Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d'abattement de l'azote global.

Plus ce rapport est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée. [8] [21]

2.8. Rapport NTK/DBO₅ :

Ce rapport est lié à la cinétique de dénitrification. Une valeur faible de ce ratio désigne l'efficacité du procédé d'élimination de l'azote organique donc le taux de nitrification sera important, la majorité de l'azote organique sera donc transformée en nitrates sous l'action des bactéries nitrifiantes, la quantité de nitrates ainsi disponibles influence la cinétique de dénitrification. [8]

2.9. Rapport DBO₅ / NO₃ à dénitrifier

Ce rapport indiquera la cinétique de la réaction de dénitrification, plus ce rapport diminue, plus le processus de dénitrification est ralenti.

En effet, la dénitrification est d'autant plus rapide que la quantité de carbone disponible est importante et que ce carbone est rapidement biodégradable. La vitesse de dénitrification est une fonction croissante de la pression de carbone exercée sur la biomasse, donc de la charge appliquée. [8] [21]

Tableau 2.1 Récapitulatif de signification des ratios avec le minimum à ne pas dépasser

Ratio	Effluent urbain strict	Signification
DCO / DBO ₅	2,2 -2,4	Évaluation de la biodégradabilité de la matière organique : ♦ DCO/ DBO ₅ < 2 : facilement biodégradable ♦ 2 < DCO/ DBO ₅ < 3 : biodégradable (a dominante domestique) ♦ DCO/ DBO ₅ > 3 : non biodégradable
DBO ₅ / N-NH ₄ ⁺ /P-PO ₄ ²⁻ (C/N/P)	(100/5/1)	Exprime l'équilibre nutritionnel
MES/ DBO ₅	0,69 et 2,93	♦ Indiquera la nature de la pollution ♦ Influencera la production de boues.
MVS/MES	0,65 – 0,75	Ce ratio indiquera l'organicité de l'effluent et les possibilités de son traitement.
DCO/P _T	44-50	DCO/P _T > 40 à 45 indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore.
NH ₄ ⁺ /NTK	0,6 – 0,8	Indiquera le degré d'ammonification durant le transfert de l'effluent dans le

		réseau
DBO₅/NTK	4-5	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Indiquera la mixité de l'effluent ◆ Influencera le taux d'abattement de l'azote.
NTK/DBO₅	/	<p>Estimation de la cinétique de dénitrification :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ NTK/DBO₅ > 0.5: k=1.7 mg N-NO₃/g MVS. h ◆ NTK DBO₅ < 0.5: k=2.1 mg N-NO₃/g MVS. h ◆ NTK/ DBO₅ < 0.4: k=2.4 mg N-NO₃/g MVS. h ◆ NTK DBO₅ < 0.3: k=2.7 mg N-NO₃/g MVS. h ◆ NTK/ DBO₅ < 0.2: k=3 mg N-NO₃/g MVS. h
DBO₅/NO₃	/	<p>Indiquera les possibilités et la faisabilité de la réaction de dénitrification.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ DBO₅/NO₃⁻ > 2 bonne dénitrification (technique de l'ingénieur, épuration de l'eau)
MS/DCO (éliminée)	/	Indiquera le taux d'extraction des boues biologiques.
Polymère/ MS (extraites)	/	<p>Permet de vérifier l'efficacité de l'injection du polymère.</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ Boues primaire : Polymère / MS = [3-5] ◆ Boues mixtes : Polymère / MS = [6-8] ◆ Boues biologiques : Polymère /MS = [8-12]
Énergie consommée sur DBO₅ ou DCO	/	Optimisation de la consommation énergétique

Chapitre III

Les filières de traitement

1. Introduction

Qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle les eaux usées sont collectées dans un système d'égouts et acheminées vers une station d'épuration où elles sont épurées par différents traitements tant physiques que chimiques et biologiques, avant d'être rejetés dans les écosystèmes naturels ou réutilisés.

La station d'épuration rassemble une succession de dispositifs, empruntés tour à tour par les eaux usées. Chacun de ces dispositifs est conçu pour extraire un ou plusieurs polluants contenus dans ces eaux usées.

2. Implantation d'une station d'épuration

La nécessité de la mise en place d'une station d'épuration passe par un ensemble de dispositions qui sont à prendre en considération dans l'élaboration du projet en commençant par le choix du site qui est indissociable de l'étude d'impact.

A cet égard, quelques règles doivent être rappelées :

- Éviter de construire à proximité d'une zone urbaine, une zone industrielle et un environnement touristique ;
- Éviter les zones inondables ;
- Envisager des extensions et les aménagements futurs.

Par ailleurs, il existe deux zones de rejet des eaux usées qu'on peut distinguer :

- **Zones « sensibles »** : ces zones correspondent à des zones avec risques d'eutrophisation ou zones posant problème pour la production d'eau potable.

- **Zones « moins sensibles »** : certaines zones de rejet en eaux côtières et estuariennes pourront être considérées comme « moins sensibles » après qu'une étude préalable d'environnement l'aura justifié. Les niveaux de rejet applicables pour les zones « moins sensibles » correspondent à un traitement « primaire » : réduction au moins de 20 % de la DBO5 et de 50 % des MES sur échantillon moyen 24 h. [26]

3. Choix du type de station d'épuration

La décision d'implantation du site d'une station d'épuration étant prise, il convient après d'en choisir le type.

De nombreux critères de choix peuvent intervenir :

- **La nature des eaux usées** : il est important de bien connaître les caractéristiques des eaux à traiter et d'identifier les rejets industriels susceptibles d'être présents dans les rejets d'une ville.

- **La qualité d'eau à obtenir** : assurer une qualité d'eau en aval qui répond aux normes de rejet dans le milieu naturel, ou pour une éventuelle réutilisation, notamment dans le secteur de l'agriculture.

On peut distinguer plusieurs types de STEP dont les plus courants sont :

- ✓ Les stations primaires.
- ✓ Les stations physico-chimiques.
- ✓ Les stations à boues activées.
- ✓ Les stations à lits bactériens.
- ✓ Le lagunage naturel.

4. Filières de traitement :

Le traitement des eaux usées se fait dans des stations d'épuration suivant ces différentes étapes :

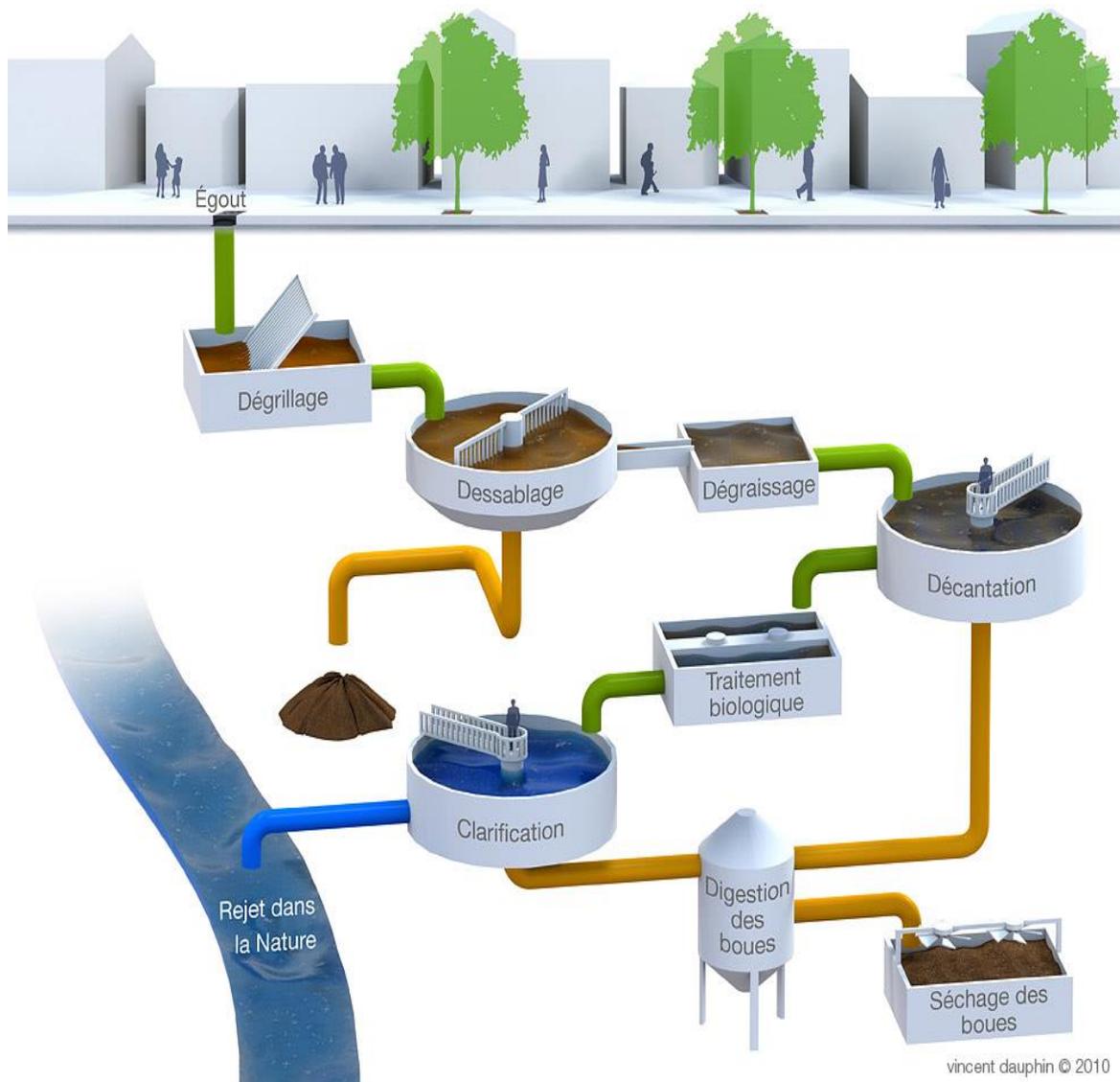


Figure 3.1 schéma décrivant le procédé d'épuration des eaux usées

4.1. Collecte

Après utilisation, les eaux usées sont transportés des différentes zones (urbaines ou industrielles) à travers l'assainissement, sans stagnation et le plus rapidement possible vers les stations d'épuration. Il existe deux systèmes fondamentaux de réseaux :

- Le système séparatif ;
- Le système unitaire.

Il y a aussi un troisième système appelé système mixte qui est constitué, selon des zones, des deux systèmes cités précédemment. [22]

4.2. Prétraitement

Le but du prétraitement est la séparation des matières grossières et des éléments qui pourraient gêner et nuire les procédés du traitement ultérieurs et ceci avec des opérations mécaniques et physique qui sont : le dégrillage, le dessablage et le dégraissage.

4.2.1. Dégrillage

Cette étape est considérée, comme obligatoire, à partir de 200 équivalents habitants. Le dégrillage consiste à retenir, au niveau des grilles, des matières volumineuses permettant par la suite de ne pas dégrader les systèmes de relevage ou encore les unités de traitement à proprement dit.

Il existe différents types de dégrillage : le pré-dégrillage avec des barreaux espacés de 30 à 100 mm, un dégrillage moyen avec un espacement entre 10 et 30 mm puis un dégrillage fin dont les barreaux sont espacés de moins de 10 mm.

Ces grilles peuvent être de deux types : manuelles ou mécaniques :

- Les **grilles manuelles** sont des grilles composées de barreaux généralement inclinés sur l'horizontal de 60 à 80 degrés. Ces grilles sont destinées à de petites collectivités et nécessitent un nettoyage manuel régulier par l'intermédiaire d'un râteau.
- Les **grilles mécaniques**, quant à elles, fonctionnent par l'intermédiaire d'un nettoyage automatique pouvant être réalisé à l'amont comme à l'aval. [23]



Figure 3.2 *dégrilleur vertical (vue de biais et de face)*

4.2.2. Dessablage / dégraissage

➤ Dessablage:

Cette étape a pour but d'extraire les graviers, les sables et les particules minérales de l'effluent à traiter, afin de réduire le risque d'abrasion des équipements mais aussi de diminuer les dépôts et le colmatage dans les conduites. On utilise les dessableurs pour éliminer des particules de granulométrie égale ou supérieure à 100 μm . La quantité de sable contenue dans l'effluent est très variable, cependant les quantités classiques de sable à extraire sont comprises entre 8 et 15 litres/habitant/an.

Il existe divers types de dessableurs dont :

- **Dessableurs à couloirs** : ce sont des canaux, à section généralement rectangulaire, dans lesquels on ralentit la vitesse de l'eau à moins de 0.3 m/s. les sables déposés sont périodiquement évacués.
- **Dessableurs rectangulaire à insufflation d'air** : L'insufflation d'air provoque une rotation de liquide et crée ainsi une vitesse constante de balayage du fond. Le sable est extrait soit manuellement ou mécaniquement.
- **Dessableurs circulaire** : Ces appareils sont alimentés tangentiellement, les sables sont projetés vers la paroi et descendent en décrivant une spirale d'axe vertical, d'où ils sont évacués.

➤ Dégraissage:

Cette étape a pour but d'éliminer les matières grasses et les huiles difficilement biodégradables, qui possèdent des densités inférieures à celle de l'eau, par effet de flottation. La récupération des graisses permet de palier à divers problèmes comme le colmatage des conduites.

Pour les eaux résiduaires domestiques, lorsqu'il n'y a pas d'étape de décantation primaire, le dégraissage est indispensable. Les dégraisseurs sont généralement fabriqués pour traiter des débits compris entre 20 et 30 L/s. Le temps de séjour couramment utilisés pour le dimensionnement des dégraisseurs est compris entre 10 et 20 minutes et la vitesse ascensionnelle de sédimentation utilisée est de l'ordre de 15 m/h. [23] [24]

Remarque : le plus souvent les opérations de dessablage et de dégraissage sont regroupées dans un même bassin.

4.3. Traitement primaire :

Malgré le prétraitement, les effluents possèdent une charge polluante dissoute et des MES, il faut alors procéder au traitement primaire qui consiste en des procédés physiques ou physico-chimiques.

4.3.1. Décantation physique :

La base de ces procédés de séparation solide-liquide est la pesanteur. On utilise le terme de décantation lorsque l'on désire clarifier une eau brute ; si l'on veut obtenir une boue concentrée on parle alors de sédimentation.

Le dimensionnement des décanteurs est essentiellement fondé sur la vitesse de sédimentation des matières en suspension.

Il existe différents types de décanteurs primaires on peut citer :

- *Les décanteurs longitudinaux*, très peu répandus car très peu économiques (usure rapide, coût de construction élevé...),
- *Les décanteurs circulaires*, largement répandus du fait de leur faible coût de réalisation
- *Les décanteurs lamellaires*, qui sont de plus en plus utilisés, notamment dans les procédés d'épuration physico-chimiques. La décantation lamellaire consiste à multiplier la surface de décantation à l'intérieur d'un ouvrage, il en résulte un rendement épuratoire excellent.

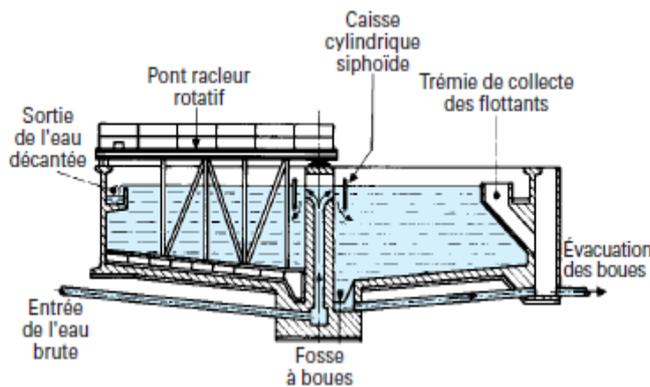


Figure 3.3 *Décanteur circulaire avec raclage de boue*

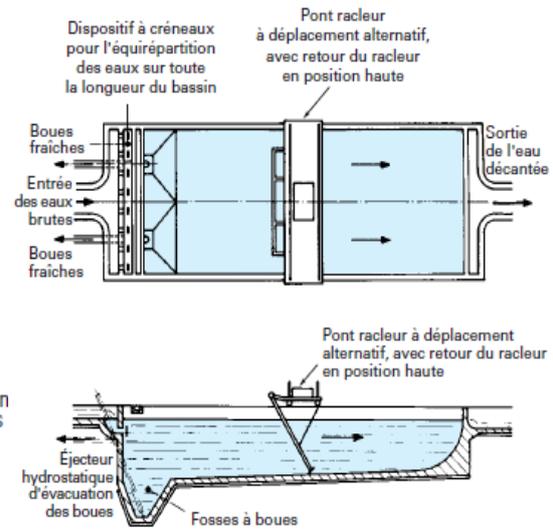


Figure 3.4 *Décanteur rectangulaire avec raclage de boue*

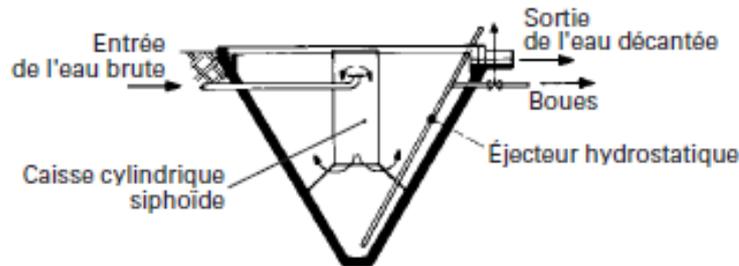


Figure 3.5 *Décanteur cylindro-conique*

Ces procédés permettent d'éliminer, d'une part 50% à 60% des matières en suspension et d'autre part, de réduire leurs caractéristiques dimensionnelles (élimination des matières présentant une taille supérieure à 50 μ m).

4.3.2. *Décantation chimique :*

Les procédés physico-chimiques de décantation consistent à alourdir les particules en suspension. Ils font appel aux techniques de coagulation-floculation ou de flottation.

4.3.2.1. *Procédé de coagulation-floculation :*

- Qu'est-ce que la coagulation-floculation?

Le processus de coagulation implique d'ajouter du fer ou de l'aluminium à l'eau comme du sulfate d'aluminium, sulfate ferrique ou de la chlorure ferrique. Ces produits chimiques s'appellent des coagulants et ont une charge positive. La charge positive du coagulant neutralise la charge négative des particules dissoutes et suspendues dans l'eau. Quand cette réaction se produit, les particules se lient ensemble ou se coagulent.

L'agglomération est accélérée par l'ajout d'un polymère, sorte de macromolécule à longue chaîne qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées en flocons volumineux qui se déposent par gravité. C'est le floc. Cette étape est appelée « floculation ». [27]

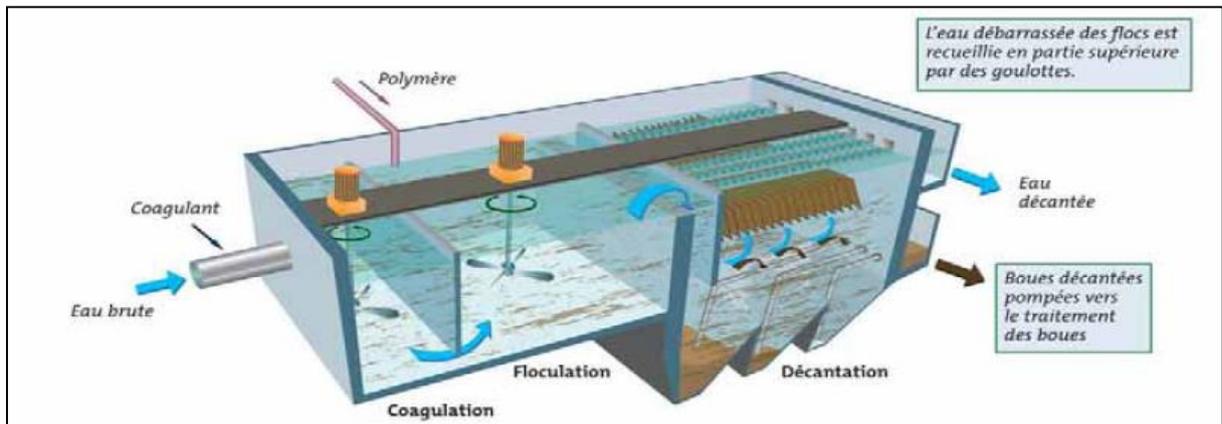


Figure 3.6 Schéma d'une coagulation-floculation suivi d'une décantation lamellaire

- Qu'est-ce qui est enlevé durant la coagulation-floculation?

La coagulation-floculation, suivie d'une décantation permet d'éliminer jusqu'à 90% de MES et de 40 à 65% de la DBO5 des effluents résiduels urbains.

Dans un rapport international édité en 1998, on a constaté que la coagulation et la sédimentation peut enlever entre 27 et 84% des virus et entre 32 et 87% des bactéries.

4.3.2.2. La flottation :

Dans certains cas si les éléments à éliminer ont une densité légèrement inférieure à celle de l'eau, on les élimine par flottation avec ou sans adjonction de polymère. De fines bulles sont injectées à la base du bassin pour favoriser la remontée des boues et ces dernières sont éliminées par un raclage de surface.

D'autres procédés chimiques peuvent être mises en œuvre dans cette filière tel que :

- La neutralisation.
- La précipitation : Elles sont principalement utilisées pour éliminer par insolubilisation un ou plusieurs composés minéraux qui gênent l'usage de l'eau, entres autres :
 - la dureté (Ca^{++} et Mg^{++})
 - les métaux (effluents traitements de surface, eaux de mines, lixiviats d'hydrométallurgie)
 - Certain anions (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , F^- ...)
- L'oxydoréduction : Transforme certains polluants en substances non toxiques. [27]

4.4. Traitement secondaire : Élimination de la pollution organique

Les traitements secondaires recouvrent les techniques d'élimination des matières polluantes solubles. Il existe un grand nombre de procédés de traitements des eaux usées, dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des eaux usées à traiter, et de degré d'épuration désiré.

Le rapport DCO/DBO₅ donne une estimation de la biodégradabilité des matières présentes dans l'eau usée.

- Si $DCO/DBO_5 < 2.5$: L'effluent est excellent pour le traitement biologique.
- Si $DCO/DBO_5 > 2.5$: Le traitement biologique est impossible, on doit procéder à un traitement physico-chimique.

4.4.1. Traitement physico-chimique :

L'épuration chimique, coûteuse et difficile à réaliser, s'applique plutôt aux eaux résiduaires industrielles ou aux eaux usées contenant des résidus d'usine susceptibles d'entraver des processus biologiques.

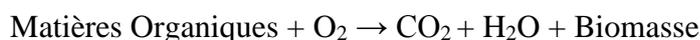
Les rendements épuratoires sont excellents, car l'élimination des MES se situe entre 80% et 95%, celle des matières organiques entre 65% et 75%. Par ailleurs, ce type d'installation possède un temps de réponse extrêmement court (1 heure contre 12 à 14 heures pour une installation biologique). Néanmoins, ce type de procédé entraîne une surproduction de boues, de 15 à 25% en plus, ainsi qu'une mauvaise élimination des matières organiques, en particulier de la pollution soluble.

4.4.2. Traitement biologique :

Deux voies sont possibles pour dépolluer les effluents organiques biodégradables :

- *la voie anaérobie* : elle est réalisée en milieu réducteur, où le carbone organique est transformé en CH₄ et en biomasse. Ce processus est réalisé par les bactéries anaérobies. Vu que les eaux domestiques usées sont faiblement polluées, l'anaérobie n'est pas souvent utilisé en station d'épuration urbaine. Un traitement aérobie convient amplement. Le traitement anaérobie sera quant à lui utilisé dans certains effluents industriels très chargés en pollution organique.

- *la voie aérobie* : cette voie est celle qui s'instaure spontanément dans les eaux suffisamment aérées, le carbone organique y est dégradé par la respiration bactérienne. La réaction de respiration bactérienne peut être résumée ci-après :



La voie aérobie peut se réaliser par deux types de procédés : les procédés « intensifs » et les procédés « extensifs ». [25]

4.4.2.1. Procédés intensifs :

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs. Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel

Trois grands types de procédés sont utilisés :

- ◆ les lits bactériens,
- ◆ les disques biologiques,
- ◆ les boues activées [28]

a) Lits bactériens :

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelquefois appelé « filtre bactérien » ou « filtre percolateur », consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées, sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs. [28]

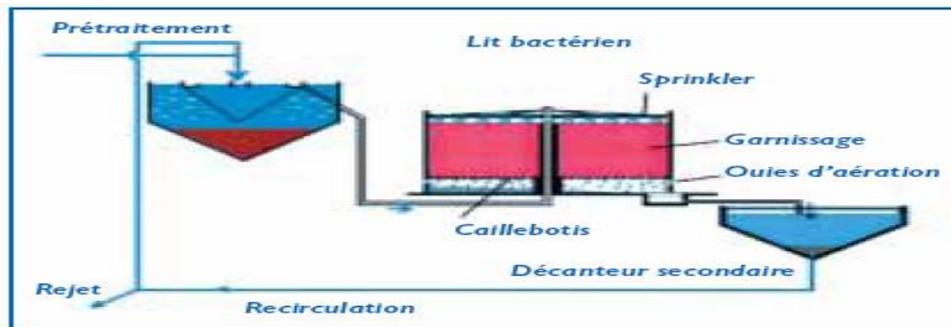


Figure 3.7 Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

b) Disques biologiques :

Cette technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants. Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immérgés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. [28]

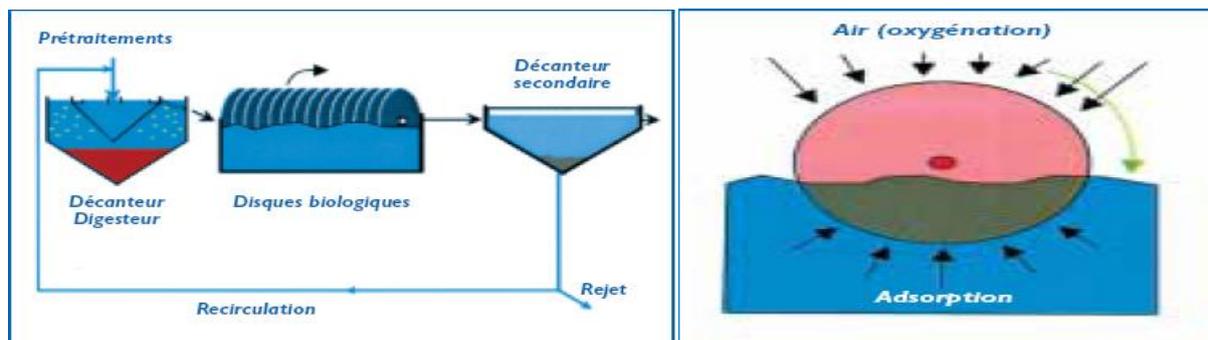


Figure 3.8 Synoptique d'une station d'épuration comportant un disque biologique

Figure 3.9 Schéma de principe d'un disque biologique

c) Boues activées (culture libre) :

Les boues activées sont des systèmes qui fonctionnent biologiquement, qui consistent à mettre en contact l'eau à traiter composée de matière organique, azotée et phosphorée avec des bactéries (flocs bactériens) en présence d'oxygène.

Une station d'épuration par boues activées se compose toujours :

- D'un bassin d'aération dans lequel l'eau à traiter est mise en contact avec la biomasse épuratrice maintenue agitée par aération associée ou non par un agitateur.
- D'un dispositif de fourniture d'oxygène à la biomasse présente dans ce réacteur.
- D'un dispositif de brassage du bassin d'aération
- D'un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne formée.
- D'une recirculation des boues récupérées en fond du clarificateur vers le bassin d'aération. Elle permet de maintenir dans le bassin d'aération la quantité nécessaire de microorganismes pour assurer le niveau d'épuration recherché.
- D'un dispositif d'extraction, de traitement (diminution des volumes) puis d'évacuation de l'excès de boues produites. [30]

d) Avantages et inconvénients :

Le tableau suivant résume les avantages et les inconvénients des différents procédés intensifs.

Tableau 3.1 *Les avantages et les inconvénients des procédés intensifs*

Filière	Avantages	Inconvénients
Lit bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> ● faible consommation d'énergie ; ● fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique des boues activées ; ● bonne décantabilité des boues ; ● plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ; ● généralement adaptés pour les petites collectivités ; ● résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> ● performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ; ● coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; ● nécessité de prétraitements efficaces ; ● sensibilité au colmatage ; ● ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boue activée	<ul style="list-style-type: none"> ● adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ; ● bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ; ● adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ; ● boues (cf. glossaire) légèrement stabilisées ; ● facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée. 	<ul style="list-style-type: none"> ● coûts d'investissement assez importants ; ● consommation énergétique importante ; ● nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ; ● sensibilité aux surcharges hydrauliques ; ● décantabilité des boues pas toujours aisée à maîtriser ; ● forte production de boues qu'il faut concentrer.

4.4.2.2. Procédés extensifs :

Ces techniques se distinguent des techniques évoquées précédemment par le fait que les charges surfaciques appliquées restent très faibles. Elles réalisent l'épuration à l'aide de cultures fixées sur support fin ou encore à l'aide de cultures libres mais utilisant l'énergie solaire pour produire de l'oxygène par photosynthèse. Le fonctionnement de ce type d'installation sans électricité est possible, excepté pour le lagunage aéré pour lequel un apport d'énergie est nécessaire pour alimenter les aérateurs ou les matériels d'insufflation d'air.

Ces techniques peuvent être classées comme suit :

a) Cultures fixées :

Les deux principaux mécanismes sont :

- ❖ Filtration superficielle : les matières en suspension (MES) sont arrêtées à la surface du massif filtrant et, avec elles, une partie de la pollution organique (DCO particulaire)
- ❖ Oxydation : le milieu granulaire constitue un réacteur biologique, un support de grande surface spécifique, sur lequel se fixent et se développent les bactéries aérobies responsables de l'oxydation de la pollution dissoute (DCO dissoute, azote organique et ammoniacal).

On distingue ainsi plusieurs types de procédés à cultures fixes.

Infiltration-percolation : L'infiltration-percolation d'eaux usées est un procédé d'épuration par filtration biologique aérobie sur un milieu granulaire fin. L'eau à traiter est uniformément répartie à la surface du filtre qui n'est pas recouvert. La plage de distribution des eaux est maintenue à l'air libre et visible. [37]

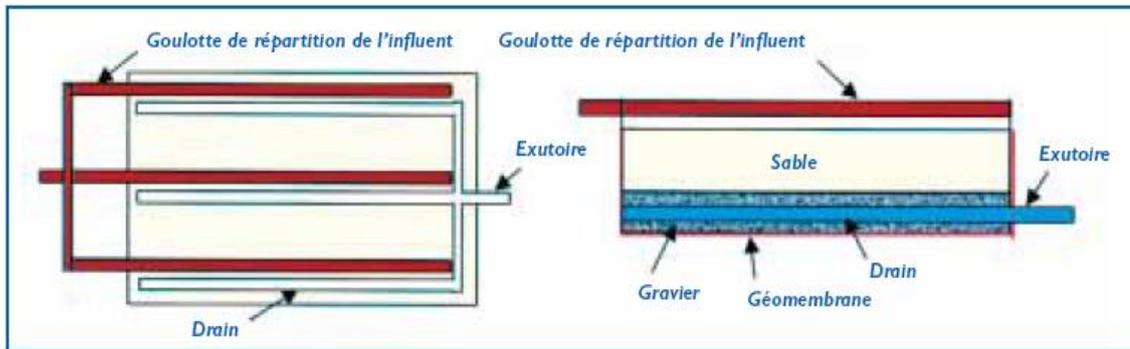


Figure 3.10 *Infiltration- percolation étanchée et drainée*

- **Filtre planté à écoulement vertical :**

Les filtres sont des excavations, étanchées du sol, remplies de couches successives de gravier ou de sable de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter.

- **Filtre planté à écoulement horizontal :**

Dans les filtres à écoulement horizontal, le massif filtrant est quasi-totalement saturé en eau. L'effluent est réparti sur toute la largeur et la hauteur du lit par un système répartiteur situé à une extrémité du bassin, il s'écoule ensuite dans un sens principalement horizontal au travers du substrat. La plupart du temps, l'alimentation s'effectue en continu car la charge organique apportée est faible.

b) Cultures libres :

- ❖ **Lagunage à macrophyte :**

Les lagunes à macrophytes reproduisent des zones humides naturelles comportant une tranche d'eau libre, tout en essayant de mettre en valeur les intérêts des écosystèmes naturels mais sont souvent réalisées pour des traitements tertiaires à la suite de lagunage naturel, de lagunes facultatives ou de lagunage aéré aux États-Unis. Cette filière est généralement utilisée en vue d'améliorer le traitement (sur les paramètres DBO₅ ou MES) ou de l'affiner (nutriments, métaux,...).

❖ Lagunage aéré :

L'oxygénation est, dans le cas du lagunage aéré, apportée mécaniquement par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. Ce principe ne se différencie des boues activées que par l'absence de système de recyclage des boues ou d'extraction des boues en continu.

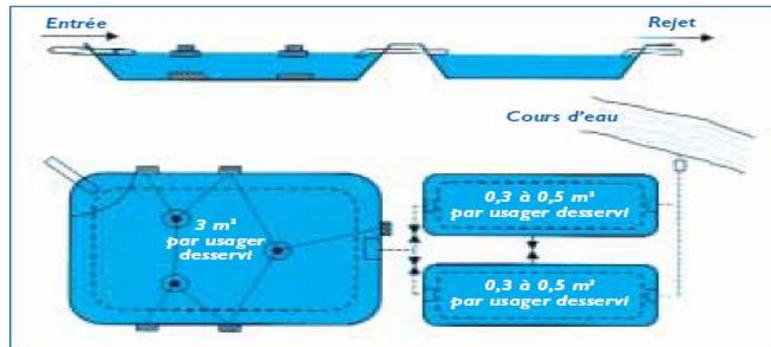


Figure 0.11 Le lagunage aéré

c) Avantages et inconvénients :

Le tableau ci-après résume les avantages et les inconvénients des procédés extensifs.

Tableau 3.2 Les avantages et les inconvénients des procédés extensifs

Filière	Avantages	Inconvénients
Infiltration-percolation sur sable	<ul style="list-style-type: none"> • Excellents résultats sur la DBO₅, la DCO, les MES et nitrification poussée ; • Superficie nécessaire bien moindre que pour un lagunage naturel ; • Capacité de décontamination intéressante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'un ouvrage de décantation primaire efficace ; • Risque de colmatage à gérer ; • Nécessité d'avoir à disposition de grandes quantités de sables ; • Adaptation limitée aux surcharges hydrauliques.
Filtres plantés à écoulement vertical	<ul style="list-style-type: none"> • Facilité et faible coût d'exploitation. Aucune consommation énergétique si la topographie le permet ; • Traitement des eaux usées domestiques brutes ; • Gestion réduite au minimum des dépôts organiques retenus sur les filtres du 1^{er} étage ; • Bonne adaptation aux variations saisonnières de population. 	<ul style="list-style-type: none"> • Exploitation régulière, fauchage annuel de la partie aérienne des roseaux, désherbage manuel avant la prédominance des roseaux ; • Utiliser cette filière pour des capacités supérieures à 2 000 EH reste très délicat pour des questions de maîtrise de l'hydraulique et de coût par rapport aux filières classiques ; • Risque de présence d'insectes ou de rongeurs ;
Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • Faible consommation énergétique ; • Pas de nuisance sonore et bonne intégration paysagère ; • Aucune nécessité d'une qualification poussée pour l'entretien ; • Bonne réaction aux variations de charge. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte emprise au sol, abords compris. Celle-ci est de l'ordre de 10 m²/EH (équivalente à l'emprise d'une lagune naturelle). • Une installation pour des tailles de 2000 à 15 000 EH peut s'envisager sous réserve d'une réflexion poussée des conditions d'adaptation des bases de dimensionnement et de l'assurance de la maîtrise de l'hydraulique
Lagunage naturel	<ul style="list-style-type: none"> • Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ; • L'exploitation reste légère mais, si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ; • Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été). • Faibles rejets et bonne élimination des germes pathogènes en été ; • S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ; • Pas de construction "en dur", génie civil simple ; • Bonne intégration paysagère ; • Bon outil pour l'initiation à la nature ; • Absence de nuisance sonore ; • Les boues de curage sont bien stabilisées sauf celles présentes en tête du premier bassin. 	<ul style="list-style-type: none"> • Forte emprise au sol (10 à 15 m²/EH) ; • Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ; • Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval ; • Qualité du rejet variable selon les saisons ; • La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée.
Lagunage aéré	<ul style="list-style-type: none"> • Tolérant aux variations de charges hydrauliques et/ou organiques importantes ; • Tolérant aux effluents très concentrés ; • Tolérant aux effluents déséquilibrés en nutriments (cause de foisonnement filamentueux en boues activées) ; • Traitement conjoints d'effluents domestiques et industriels biodégradables. • Bonne intégration paysagère ; • Boues stabilisées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejet d'une qualité moyenne sur tous les paramètres ; • Présence de matériels électromécaniques nécessitant l'entretien par un agent spécialisé ; • Nuisances sonores liées à la présence de système d'aération ; • Forte consommation énergétique.

4.5. Traitement tertiaire

Lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieux particulièrement sensibles, tels que les lacs, étangs et rivières souffrant de phénomène d'eutrophisation, un traitement tertiaire est réalisé afin d'éliminer l'azote et le phosphore. Selon la directive européenne, toutes les stations de plus de 10 000 équivalents habitants doivent être munies d'un traitement tertiaire (N et P).

4.5.1. Azote

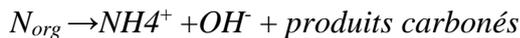
Dans les eaux usées, l'azote est essentiellement présent sous forme organique et ammoniacale. Outre l'assimilation de l'azote par les bactéries qui n'agit que faiblement sur sa réduction, l'abattement de l'azote se réalise en deux phases successives :

4.5.1.1. Nitrification : en milieu oxygéné

La nitrification consiste en la transformation de l'ammoniaque en nitrate, elle est réalisée de façon biologique par les bactéries nitrifiantes. Or, ces bactéries ont une faible croissance, le temps de rétention des eaux dans le bassin d'aération doit donc être assez long. La nitrification ne se produit donc pas dans le traitement secondaire, mais bien par un traitement aérobie tertiaire, plus long.

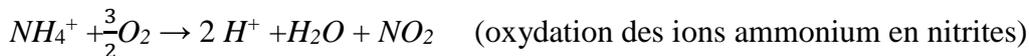
Pendant l'épuration biologique, l'azote organique N_{org} et l'azote ammoniacal NH_4^+ se transforment en nitrites NO_2^- et nitrates NO_3^- puis en azote moléculaire N_2 (gazeux), selon les phases suivantes :

Ammonification:

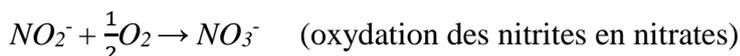


La nitrification s'effectue en deux étapes: la nitritation puis la nitratisation.

○ **Nitritation :**

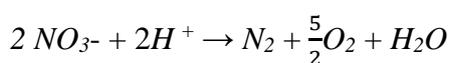


○ **Nitratisation :**



4.5.1.2. Dénitrification : en milieu pauvre en oxygène

Le nitrate ainsi produit est éliminé par la dénitrification biologique. La dénitrification est le processus par lequel les bactéries dénitrifiantes anaérobies convertissent le nitrate en azote gazeux (N_2). Cette relation est réalisée par le fait que, en absence d'oxygène, ces bactéries sont capables d'utiliser immédiatement l'oxygène des nitrates comme un oxydant. Le donneur d'électrons sera de préférence du carbone organique. La source de substrat carboné est donc très importante. En pratique, cette étape sera réalisée grâce à un bassin tertiaire anaérobie. Dans certains cas, les quantités de carbone organique apportées par l'effluent peuvent être insuffisantes pour obtenir une dénitrification poussée (Degrémont, 2001).



Les espèces dénitrifiantes ont la propriété d'utiliser, en cas de carence du milieu en oxygène (anoxie), celui de certains composés chimiques, notamment des nitrates.

Les phases de nitrification et de dénitrification permettent l'élimination de 5% à 70% de l'azote sous la forme gazeuse N₂.

Remarque :

En pratique, les stations d'épuration réalisent le processus complet ou non selon le cas :

- La phase de nitrification uniquement : le but de cette phase est de produire un effluent contenant exclusivement de l'azote sous forme de nitrate, cette forme d'azote ne consommera donc plus d'oxygène lorsqu'il sera rejeté en milieu naturel, contrairement à l'ammoniaque.
- La nitrification suivie d'une dénitrification : l'effluent ne contient presque plus d'azote, le processus complet ayant été réalisé.

4.5.2. Phosphore

Comme cité précédemment, le phosphore est un élément important dans les phénomènes d'eutrophisation des lacs, étangs et rivières. Or, une grande source de phosphore provient de l'eau urbaine. Il est donc primordial dans certains cas d'assurer un traitement tertiaire de déphosphatation.

Il existe différentes façon d'éliminer le phosphore des eaux : biologiquement ou chimiquement.

4.5.2.1. Biologiquement

Le principe de la déphosphatation biologique consiste en une accumulation de phosphore dans la biomasse microbienne, essentiellement par les bactéries accumulatrices de polyphosphate (poly-P), en vue de réaliser des réserves d'énergie ou des réserves en phosphore (Degrémont, 2001).

Cette déphosphatation demande une alternance de séquences anaérobies/aérobies : l'alternance de ces séquences a pour but de modifier l'équilibre enzymatique régulant la synthèse du poly-P en phase anaérobie. (Degrémont, 2001).

- Phase anaérobie : des bactéries acétogènes, anaérobies facultatives, utilisent le carbone organique mis à leur disposition pour produire de l'acétate. Ces micro-organismes vont accumuler progressivement du phosphore jusqu'à des valeurs pouvant atteindre 10 à 11 % de leur poids sec.

- Phase aérobie : l'acétate produit est réutilisé par des bactéries du groupe *Acinetobacter/Moraxella*. Ce sont des bactéries aérobies strictes qui ne peuvent utiliser qu'une gamme de substrats plutôt limitée.

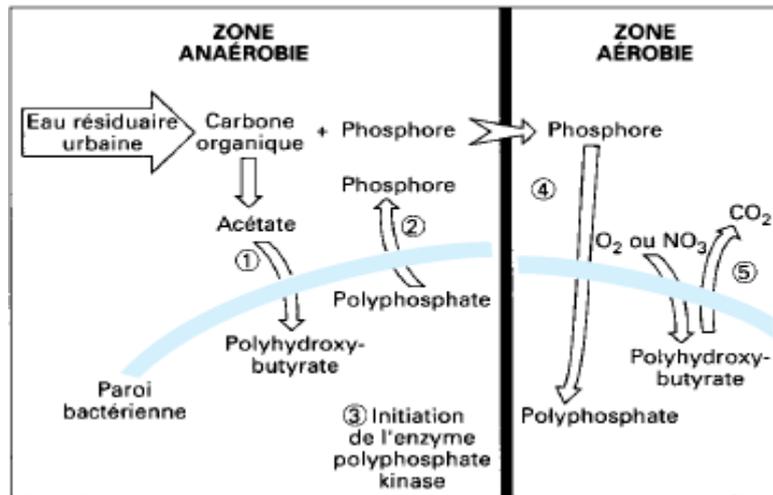


Figure 3.12 Schéma de la déphosphatation biologique

4.5.2.2. Chimiquement

La précipitation du phosphore par voie chimique se réalise de la même manière que celle dans le cas du traitement primaire physico-chimique.

4.6. Traitements quaternaires : Les procédés de désinfection

Pour les zones sensibles, il est primordial de rejeter une eau épurée ne contenant pas de concentration élevée en pathogènes. C'est pourquoi un traitement supplémentaire est parfois réalisé : la désinfection. Cette dernière peut s'effectuer par différentes méthodes, notamment par la chloration, les UV et l'ozonation.[31]

4.6.1. La chloration

Le chlore est un oxydant puissant, il est très actif dans l'élimination des micro-organismes. Cependant, suite aux réactions avec la matière organique et/ou l'ammonium, il y aura formation de composés secondaires organo-chlorés et/ou chloramines très cancérigènes. Étant donné le caractère cancérigène des sous-produits de la chloration, le chlore est de moins en moins utilisé et même interdit dans certains pays. [31]

4.6.2. Les rayons ultraviolets

Le traitement par rayons ultraviolets est très performant. Il est fort répandu dans le monde. Les systèmes UV sont conçus en deux parties : la chambre de traitement, appelée aussi réacteur et le module électrique. L'eau à désinfecter transite dans une chambre d'irradiation où sont placées des lampes à mercure, isolées de l'eau par des gaines en silice ou quartz, émettant un rayonnement ultraviolet. [31]

4.6.3. L'ozonation

L'ozone est un procédé de désinfection utilisé aux États-Unis, en Afrique du Sud et au Moyen-Orient essentiellement. Il est très efficace dans l'élimination des micro-organismes.

Une installation d'ozonation comprend 4 parties :

- Le traitement de l'air utilisé pour la production d'oxygène : l'air utilisé pour la production d'ozone doit être sec et propre ; d'où son traitement préalable,
- Le générateur électrique d'ozone appelé ozoneur : l'ozone est produit en soumettant cet air sec à une décharge électrique ou à une irradiation UV,
- Le transfert de l'ozone dans l'eau par turbinage, hydro-injection ou diffusion,
- Le système de récupération et traitement des événements ozonés : les événements chargés en ozone sont récupérés et éventuellement réutilisés pour une étape de pré-ozonation de l'eau en tête de traitement. L'excès d'ozone est éliminé par destruction thermique ou catalytique. [31]

5. Situation actuelle de l'épuration en Algérie :

Les filières d'épuration des eaux usées urbaines en Algérie sont limitées à deux procédés dont la fonction principale est l'élimination de la charge de pollution organique :

- **Procédé naturel** : Le lagunage ou l'élimination de la charge organique et en partie la charge microbiologique se fait d'une manière naturelle dans les bassins de stabilisation.
- **Procédé classique** : La boue activée où l'élimination de la charge organique se fait dans les bassins d'aérations.

Chapitre IV

Les eaux d'irrigation

1. Introduction

Les démographies galopantes des pays, l'effet de la pollution sur les eaux de surface et souterraines, la distribution inégale des ressources en eau et les graves sécheresses ont conduit à la recherche de nouvelles sources innovatrices d'approvisionnement en eau. Plusieurs solutions dites alternatives ont été élaborées, entre autre la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) qui est le sujet traité dans ce chapitre.

Ainsi, les eaux usées deviennent une manière de répondre à la demande en eau, faisant partie des stratégies de mobilisation et de développement des ressources en eau de plusieurs pays, notamment ceux en situation de stress hydrique.

2. La réutilisation des eaux usées épurées : définition et objectifs

Une fois épurées, les eaux usées peuvent être réutilisées sous plusieurs formes. Cette réutilisation a pour objectifs :

- *protéger l'environnement hydrique.* La réutilisation des eaux usées traitées contribue à la diminution de la pollution résiduelle engendrée par l'activité de l'assainissement et contribue à améliorer la qualité des milieux récepteurs, notamment des plages et des zones humides de décharge ;
- *économiser l'eau de bonne qualité et réduire le coût du traitement de potabilisation.* La pression sur les ressources hydriques s'est particulièrement accentuée pour répondre à la forte croissance démographique, à l'urbanisation, à la diversification des activités économiques et à l'amélioration sensible du niveau de vie ;
- *créer des zones supplémentaires d'irrigation* ainsi que remettre en valeur certaines terres agricoles devenues impropres à la culture ;
- *créer des espaces verts* en particulier dans les agglomérations touristiques sans impact sur les ressources en eau potable ;
- *limiter la salinité des captages d'eau potable.*

3. Les différents types de réutilisation

On distingue deux types de réutilisation :

3.1. Réutilisation directe

La réutilisation directe d'eau existe surtout dans le secteur industriel, où d'importants efforts sont faits pour réduire les prélèvements et les rejets d'eau. Dans la mesure où le second usage est identique au premier, on réserve à cette pratique le terme de recyclage plutôt que de réutilisation.

La réutilisation des effluents urbains pour des usages domestiques est parfois envisagée, mais elle est peu pratiquée car non seulement elle se heurte à la réticence du public, mais elle nécessite aussi des équipements de traitement très coûteux et des circuits de distribution spécifiques.

Voilà pourquoi les exemples d'utilisation pour l'alimentation en eau des chasses de toilettes existent essentiellement dans des pays « riches » tels que la Suisse. La ville-état de Singapour, qui dépend encore de la Malaisie pour l'essentiel de son approvisionnement en eau, envisagerait de produire de l'eau potable à partir des eaux usées épurées. Sinon l'eau peut servir à laver les chaussées et les trottoirs et assurer l'alimentation des bouches d'incendie. [13]

L'unique exemple historique de production directe d'eau potable à partir des eaux usées est celui de Windhoek, en Namibie.

Plusieurs projets de démonstration de production directe d'eau potable à partir des eaux résiduaires urbaines ont été menés à Denver aux États-Unis, à Capetown en Afrique du Sud, à Sao Paulo au Brésil et à Mexico City. Selon différentes études, la qualité de l'eau produite aux États-Unis à partir d'effluents secondaires est meilleure que celle de bien des ressources naturelles de surface. Les études épidémiologiques indiquent l'absence de risques microbiologiques et toxicologiques. [14]

3.2. Réutilisation indirecte

La plupart des systèmes d'assainissement rejettent leurs effluents dans les eaux de surface, qui sont elles-mêmes prélevées en aval pour d'autres usages : industrie, irrigation, eau potable. On estime ainsi qu'à Paris, en période d'étiage, la Seine serait constituée pour moitié d'eau issue des dispositifs d'assainissement. Ce type de réutilisation passe par le milieu naturel : l'eau est prélevée au cours de son cycle hydrologique et a en quelque sorte « perdu son identité » : il s'agit donc de réutilisation indirecte.

En fait le débouché potentiel majeur pour la réutilisation directe d'effluents urbains reste l'irrigation. Trois motifs principaux peuvent conduire à la réutilisation en irrigation :

- **Ressource naturelle peu disponible** : l'eau usée étant d'abord de l'eau, sa réutilisation prend tout son intérêt lorsque la ressource naturelle est rare (climats arides, milieux insulaires)
- **Difficulté de rejet direct** : dans le cas de cours d'eau ayant un débit d'étiage très faible, le rejet d'effluents constitue toujours une source majeure de pollution, même si le traitement est très poussé. D'autres exemples concernent les rejets en milieu karstique (risque de pollution des eaux souterraines) ou en bord de mer (zone touristiques ou conchylicoles). Dans ces cas il est possible d'envisager une réutilisation agricole des eaux usées, le complexe sol-plante servant alors de procédé d'épuration extensif complémentaire. L'un des avantages est que la période sensible (étiage) est aussi celle qui correspond aux besoins en eau maximum des plantes.
- **Valorisation des nutriments** : les eaux usées domestiques contiennent des éléments fertilisants habituellement utilisés en agriculture : azote, phosphore, potassium, calcium... Il peut être séduisant de considérer que la réutilisation est une manière de valoriser ces éléments. Toutefois cet apport n'est pas un élément décisif dans l'adoption de projets de réutilisation, car, par rapport aux besoins des plantes, les nutriments sont soit surabondants (azote et phosphore), soit pas assez (potassium).

Enfin, il convient de ne pas oublier que les eaux usées peuvent aussi contenir des composés biologiques ou chimiques (métaux lourds, sels) qui peuvent être toxiques pour les ouvriers agricoles, les consommateurs de produits irrigués, les personnes habitant au voisinage des périmètres irrigués, voire les plantes elles-mêmes. Elles contiennent aussi des matières en suspension qui nécessitent des matériels d'irrigation adaptés afin d'éviter les phénomènes de colmatage. [13]

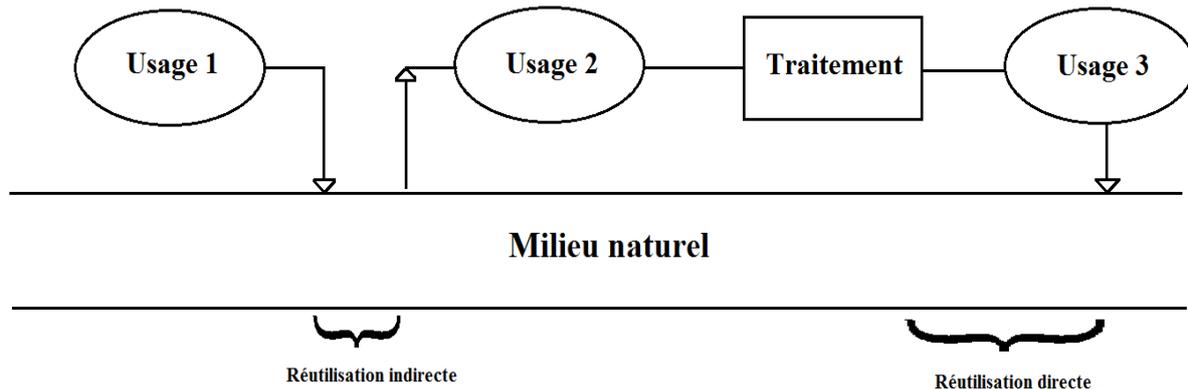


Figure 4.1 Types de réutilisation des eaux usées

4. Domaines de réutilisation des eaux usées

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation des eaux apporte des bénéfices financiers.

Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures.

Il existe trois grands groupes de normes : les recommandations de l'**OMS** (1989), la réglementation californienne « **Titre 22** » (1978) et les recommandations de la **FAO** (1985).

L'objectif principal est d'éliminer les risques sanitaires. Ainsi, pour la restriction, la pollution microbiologique des eaux usées utilisées doit, selon l'**OMS**, rester au dessous de 1 000 coliformes fécaux (CF)/100 ml et moins de 1 œuf d'helminthe/l.

Le « Titre 22 » californien fixe des restrictions plus sévères aux germes-tests : moins de 2,2 coliformes totaux (CT)/100 ml.

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme. [14]

5. Caractéristiques de l'eau d'irrigation

La qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation est un paramètre essentiel pour le rendement des cultures, le maintien de la productivité du sol et la protection de l'environnement. Ainsi, les propriétés physiques et chimiques du sol, telles que sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles au type d'ions potentiellement échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

La qualité de l'eau d'irrigation peut être déterminée par une analyse chimique en laboratoire. Les facteurs les plus importants pour déterminer la qualité requise de l'eau dans l'agriculture sont les suivants:

Cinq principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation :

- Salinité: Contenu total en sels solubles
- Sodium : Proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres.
- Alcalinité et la dureté: Concentration d'anions Carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{++}) et en magnésium (Mg^{2-})
- Concentration en éléments qui peuvent être toxiques
- pH de l'eau d'irrigation

Les deux premiers critères sont d'importance majeure car un excès de sels augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique. Même si le sol semble avoir beaucoup d'humidité, les plantes flétrissent parce que les racines n'absorbent pas suffisamment d'eau pour remplacer celle perdue par évapotranspiration. [15]

5.1. La salinité

Elle est représentée par la concentration des ions calciums Ca^{2+} , magnésiums Mg^{2+} , sodiums Na^+ , chlorures Cl^- , sulfates SO_4^{2-} et bicarbonates HCO_3^- . Une salinité élevée traduit de la présence d'une grande quantité d'ions en solution, ce qui amènerait à causer des dégâts irréversibles vis-à-vis des plantes comme les brûlures racinaires.

La salinité étant mesurée par le taux de matières dissoutes totales (MDT) en mg/L. Elle est mesurée également par la conductivité électrique en mS/cm où $1\text{dS/m} = 640 \text{ ppm de sel}$. [15]

5.2. Le sodium

Le sodium qui provient de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation est un élément indésirable dans l'eau d'irrigation. En grande quantité il a des effets sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau. Le sodium remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol. Il y a donc éclatement des agrégats du sol ce qui provoque un sol dur et compact lorsqu'il est sec et excessivement imperméable à l'eau.

De grande quantité de sodium combiné avec du chlorure donne à l'eau un goût salé.

La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est estimée par la ration d'absorption du sodium (SAR). Le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calciums et magnésiums, qui eux, peuvent être tolérés en quantité relativement grande dans l'eau d'irrigation.

Calcul du SAR :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / \frac{\sqrt{(\text{Ca}^2 + \text{Mg}^2)}}{2}$$

Avec : Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} étant exprimés en meq/l.

- Eau de $\text{SAR} > 9$: pas utilisable. Un usage continu d'eau avec un SAR élevé provoque une déstructuration du sol.
- Eau de $0 < \text{SAR} < 6$: utilisable sur tous les types de sols.
- Eau de $6 < \text{SAR} < 9$: risque d'imperméabilité élevé.

Quand le SAR se situe entre 6 et 9, les risques de problèmes liés à la perméabilité du sol augmentent. Dans ce cas, le sol devrait être analysé tous les 1 ou 2 ans pour déterminer si l'eau augmente la teneur en sodium du sol.

Les problèmes dus au sodium sont aussi reliés à la concentration totale en sel de l'eau d'irrigation. Par conséquent, des eaux d'irrigation avec des salinités entre 1,5 et 3,00 mS/cm et un SAR au-dessus de 4 doivent être utilisées avec prudence. Des échantillons de sols doivent être prélevés annuellement afin d'éviter d'éventuels problèmes de salinité des sols. [15]

5.3. L'Alcalinité et la dureté

L'*alcalinité* est la mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, c'est un peu comme le pouvoir tampon de l'eau. Elle correspond aussi à la mesure de la résistance à tout changement de pH.

Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué à la présence des bicarbonates de calcium et de magnésium ou également mais en moindre mesure aux hydroxydes, bases organiques, borates ou ions ammonium. L'alcalinité est exprimée en ppm (mg/L) de carbonates de calcium CaCO_3 . Pour corriger l'alcalinité, il est nécessaire de rajouter de l'acide, qui va abaisser le pH et ainsi libération des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} et les rendre disponible pour les plantes.

La dureté de l'eau fait référence à la quantité de calcium et magnésium contenu dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère. Une eau dure n'est pas souhaitable pour une utilisation domestique car elle réduit l'efficacité du savon par contre, en agriculture, une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques. La dureté est exprimée sous forme d'équivalent de carbonates de calcium en CaCO_3 (ppm ou mg/L). [15]

5.4. Éléments toxiques

Les éléments toxiques les plus dangereux et notamment à surveiller sont : le Bore, le Sodium et le Chlore.

- *Le Bore* en excès dans une eau peut être associé à la présence de puits en profondeur. Une eau d'irrigation contenant 1 ppm de Bore cause une accumulation toxique pour les cultures sensibles.
- *Les chlorures* causent des dommages lorsque la quantité est élevée surtout pour les eaux d'irrigation par aérosol.
- *Sulfates* ; il y a carence si la teneur est inférieure à 48 ppm. [15]

5.5. Le pH :

Lié à la concentration des ions (H^+) en solution, Plus la concentration en (H^+) augmente plus le pH est bas.

Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5.5 et 6.5 ; le domaine de pH où la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale. Pour abaisser le pH, on injecte de l'acide, généralement on utilise de l'acide sulfurique. [15]

6. Classement des cultures (FAO): risque de transmission de pathogènes

- 1) Légumes consommés crus,
- 2) Légumes consommés cuits,
- 3) Plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres,
- 4) Arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés,
- 5) Pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public,
- 6) Arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés,
- 7) Pelouses et autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité,
- 8) Cultures fourragères,
- 9) Arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires,
- 10) Cultures industrielles ou grandes cultures.

Tableau 4.1 Normes d'irrigation selon la FAO et l'OMS (source MRE)

Paramètres	Unité	Normes	
		FAO* (1985)	OMS ** (1989)
pH		6,5-8,4*	
Turbidité	NTU	/	/
CE	dS/m	<0,7 Aucune restriction 0,7 – 3,0 restriction légère à modérée >3.0 Forte restriction	
MES	mg/l	/	< 70
DCO	mg O2 /l	/	< 40
DBO ₅	mg O2 /l	/	< 10
NO ₃ ⁻	mg/l	/	< 50
NO ₂ ⁻	mg/l	/	< 1
NH ₄ ⁺	mg/l	/	< 2
PO ₄ ³⁻	mg/l	/	0,94
HCO ₃ ⁻	mg/l	500	/
Cl ⁻	mg/l	1065	/
Ca ²⁺	mg/l	400	/
Mg ²⁺	mg/l	60,75	/
K ⁺	mg/l	50	/
Na ⁺	mg/l	920	/
Chlore résiduel	mg/l	/	/
SAR	meq/l	SAR<3 Aucune restriction 3<SAR<9 Restriction légère à modérée SAR>9 Forte restriction	
Coliformes	UFC/100	/	/
Streptocoque fécaux	UFC/100 ml	/	1000
Salmonelles	UFC/ 1L	/	Absence

7. Les types de traitement selon le mode de réutilisation

La technique d'épuration dépend de l'usage final de l'eau usée. Le tableau de la figure suivante résume les traitements (intensifs et extensifs) selon le mode de réutilisation qui sont évidemment conformes aux normes. [16]

Tableau 0.2 Procédés d'épuration pour usages principaux

Mode de réutilisation	Traitement extensif	Traitement intensif
Irrigation de cultures bien définies (arbres fruitiers, légumes cuits):	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation	boues activées ou filtre biologique avec désinfection
Irrigation de cultures sans restrictions, légumes consommés crus	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage.	boues activées ou filtre biologique avec filtration poussée et désinfection
Utilisation urbaine pour l'irrigation de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage.	boues activées ou filtre biologique avec filtration et désinfection en cas d'accès libre du public
Restauration des nappes phréatiques	bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées; marais; infiltration-percolation avec désinfection finale dans réservoirs de stockage et filtration dans le sol vers l'aquifère	boues activées ou filtre biologique avec filtration et désinfection et élimination des nutriments (si nécessaires)
Réseaux doubles pour recyclage des eaux grises en immeubles	Non applicable	boues activées ou filtre biologique avec filtration sur charbon actif (si nécessaire) ou filtration sur membrane et désinfection
Utilisation directe ou indirecte dans le réseau d'eau potable	Non applicable	Traitement secondaire, tertiaire et avec charbon actif, filtration sur membrane et désinfection poussée

8. Les exigences des cultures

8.1. Les exigences en matière de qualité du sol

Les exigences des cultures en matière de qualité du sol sont très variables.

- Les agrumes se développent sur des sols aussi différents que des alluvions peu argileux, des sols argileux que des sols sableux. Le pH idéal serait entre 6,5 et 7.

- La vigne s'adapte à une gamme de sols très variés mais les sols salés et ceux qui contiennent trop de calcaire sont défavorables. La vigne de table préfère des sols profonds argilo-limoneux, ayant une bonne structure et riches en matière organique. Le pH doit être de 6,5 à 7,5.
- La pomme de terre n'est pas tellement exigeante en sol. Elle préfère les sols silico-argileux ou argilo-siliceux, bien drainés et frais, elle se développe également dans les sols silico-calcaires bien fumés. Les sols trop lourds et trop compacts ne lui conviennent pas.
- Les exigences de la tomate en sol sont très grandes, même si elle peut être cultivée sur tous les types de sol, mais elle a des préférences aux terres argilo-siliceuses ou silico-argileuses, profondes, perméables, fraîches et meubles. Pour l'acidité du sol, un pH de 5,6 à 6,8 est considéré comme meilleur.
- Le piment – poivron préfère des sols profonds bien drainés. Les sols lourds, argileux sont à écarter. Il redoute plus les sols acides qu'alcalins, une acidité de sol de pH de 6,5 à 7 est estimée comme optimum.
- Le pois chiche peut être cultivé sur différents types de sols mais il préfère les sols lourds, profonds, bien drainés, de texture limoneuse et argilo siliceuse. Il redoute les sols calcaires. Il se comporte bien sur des sols à pH légèrement acide (6) à alcalin (9). Il est sensible à une mauvaise aération du sol et tolère la salinité.
- L'orge est une graminée annuelle qui s'accommode à tous les types de sol, à l'exception des sols argileux, des sols compacts, des sols humides et des sols trop acides. Il tolère les sols légèrement salins.
- Les sols les plus favorables à la culture du blé tendre sont les sols limoneux argilo siliceux ou argilo calcaire, profonds, suffisamment riche en matières organique et minérale, capables de maintenir une réserve en eau suffisante pour assurer une bonne alimentation, au moment de l'accumulation des réserves dans le grain. [1]

8.2. Les exigences nutritives des cultures

Tableau 0.3 Exigences de fertilisants par type de culture

	Agrumes	Céréales	Arboriculture	Maraichage	Vigne
Azote	250 à 300	45 à 92	130 à 200	20 à 320	140
P₂O₅	100 à 120	45 à 92	120 à 180	70 à 120	80
K₂O	100 à 160	46 à 50	100 à 160	50 à 320	100

- Les agrumes sont très exigeants en éléments fertilisants. L'apport d'azote est recommandé à une dose de 250 à 300 kg de N/ha. Les besoins des céréales en azotes sont modérés. Ils sont de 46 kg N/ha pour l'orge, de 92 kg/ha pour le blé et de 45 kg/ha pour l'avoine.

- L'arboriculture a des besoins azotés variant de 130 à 160 kg/ha pour le néflier, de 200 kg/ha pour le pommier, le Poirier et le cognassier. Les plantes maraichères présentent des besoins très variables en azote allant de 10 à 20 kg/h (lentille, fève, petit pois...) jusqu'à des valeurs de 300

kg (melon- pastèque) et 320 kg/ha pour la tomate. La vigne de table, enfin a besoins de 140 kg/ha d'azote, 80 kg/ha de P_2O_5 et 100 kg/ha de K_2O .

Nous avons trouvé que l'apport des boues en azote dépasse largement les besoins des cultures peu exigeantes et couvre pleinement ceux des plantes moyennement exigeantes. Les besoins en K_2O , P_2O_5 et azote de la pomme de terre tournent respectivement autour de 320 kg/ha, 120kg/ha et 150. Les besoins de fertilisants pour le poivron sont de 330 kg d'azote, 80 à 100kg/ha de P_2O_5 et 330 kg/ha de K_2O . Pour le chou les besoins fertilisation minérale de la plante sont de 130 kg de N/ha, 170 kg de P_2O_5 /ha et 110 kg de K_2O /ha.

En général, les besoins en doses d'engrais azotées du blé tendre en zone sub humide (pluviométrie supérieure à 450 mm/an) est de 92 kg de N/ha. Les besoins de l'avoine en fumure de fond à apporter au mois de septembre en zones favorables le Littoral et le Sublittoral est de 70 kg/ha de P_2O_5 et de 50 u/ha de K_2O . [1]

Pour l'azote, l'avoine est la céréale la moins exigeante. Il est de 46 kg/ha d'azote.

Partie
expérimentale

Chapitre V
Présentation de la
station d'épuration
de Beni Messous

1. Introduction

La station d'épuration de Beni Messous mise en service en 2007 par la SEAAL, est située à l'ouest de la wilaya d'Alger avec une capacité épuratoire de 250 000 E.H. Elle dessert 5 communes : Ain Benian, Beni Messous, Dely Brahim, Cheraga et Staouali. La station a été conçue pour traiter les matières organiques afin de protéger le littoral.

Une extension est en cours de réalisation pour doubler sa capacité de traitement et compléter le traitement tertiaire. [12]

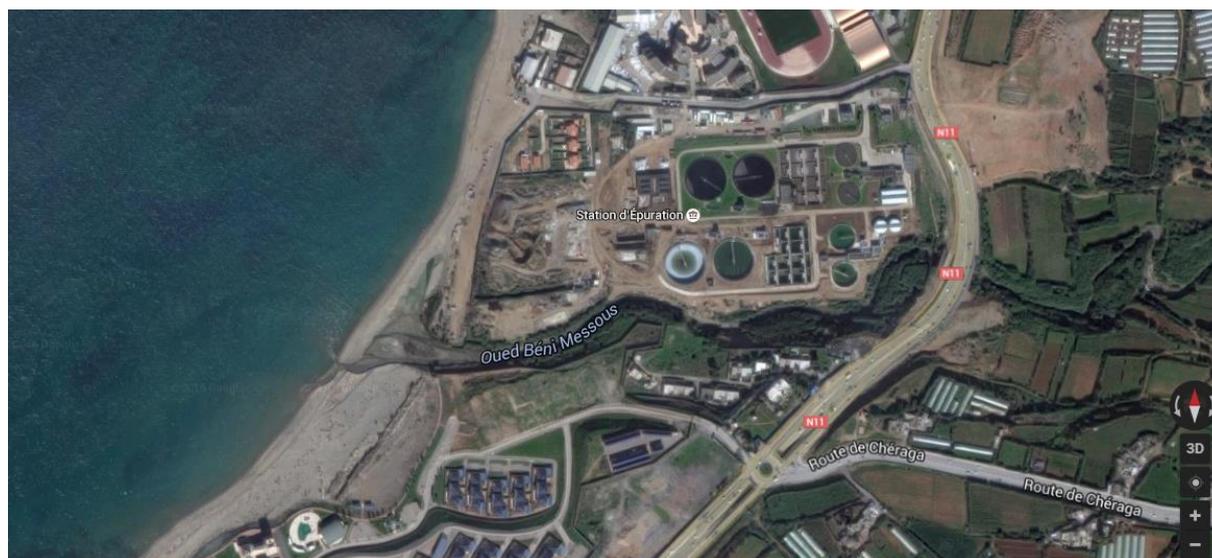


Figure 0.1 Photo satellite de la STEP de Beni Messous

2. Caractéristiques générales

La STEP de Beni Messous est de type boues activées fonctionnant en moyenne charge. Elle est prévue pour traiter une partie des eaux usées de l'agglomération algéroise, plus précisément des eaux résiduaires urbaines et elle se base uniquement sur l'épuration biologique.

Cette station a reçu en moyenne 33,100 m³/j en 2015 et produit 8,800 tonnes de boues par an à 22,9 % de siccité. Les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet de 100% sur 2013 et un rendement d'élimination de la pollution de 95%.

Deux extensions ultérieures sont prévues, portant la capacité totale de la STEP de Beni Messous à 810.000 Eq.hab à l'horizon 2025.

2.1. Capacités nominales de la STEP de Beni Messous

2.1.1. En charge hydrique

Tableau 0.1 Capacités de la STEP

Débit moyen journalier	50 000 m ³ /j
Débit moyen horaire	2 100 m ³ /h
Débit de pointe de temps sec	2 750 m ³ /h
Débit de pointe de temps de pluie	5 500 m ³ /h

2.1.2. En charge polluante

Tableau 0.2 Flux nominal journalier des eaux brutes

	Eau brute Flux nominal journalier	Eau épurée	
		Concentration sur échantillon moyen 24h	Valeur instantanée
MES	15 000 kg/j	30 mg/L	
DBO₅	12 500 kg/j	30 mg/L	40 mg/L
DCO	25 000 kg/j	120 mg/L	

3. Fonctionnement de la station d'épuration

3.1. Alimentation générale de la station

Bassin versant

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

- Sous-bassin versant d'Ain Benian
- Sous-bassin versant d'Oued Beni Messous.
- Sous-bassin versant Staoueli
- Sous-bassin versant Ouled Fayet.

Un émissaire en béton alimente gravitairement la station de Beni Messous.

Un déversoir en entrée de station permet le by-pass des effluents avant le pré-dégrillage.

Une sonde à ultrasons permet de détecter une surverse active.



Figure 0.2 Arrivée principale



Figure 0.3 Sonde ultrasons de surverse

2.1. Dégrillage

Cette étape est assurée par deux dégrilleurs moyens (grille verticale) pour retenir les déchets les plus volumineux et protéger les équipements implantés en aval. La distance entre deux lames de grille consécutives est de 40mm

Le deuxième étage de dégrillage, plus fin, a pour objectif d'affiner le dégrillage des effluents bruts pour protéger les équipements situés en aval. La distance entre deux lames d'une grille est de 15mm.

Les deux dégrilleurs, qui fonctionnent en parallèle, sont implantés en extérieur, en tête de l'ouvrage combiné de dessablage/dégraissage.

Figure 0.4 dégrilleur



3.2. Dessablage / déshuilage

Les effluents dégrillés sont admis dans 2 canaux parallèles pour subir une élimination combinée des graisses et des sables, éléments perturbateurs du traitement aval.

Une insufflation d'air implantée sur la longueur favorise la concentration des graisses en surface des canaux. Les sables, plus denses, décantent au fond des canaux.

Un pont mobile fonctionnant en continu d'une extrémité à l'autre des canaux, équipé d'un racleur de surface et de surpresseurs d'air, assure l'élimination des graisses dans une fosse dédiée et le pompage des sables acheminés vers un classificateur. [13]



Figure 0.5 Déssableur / déshuileur



Figure 0.6 Vis d'Archimède

1. *Classificateur à sable*

Le mélange sables/eau remonté par le système de pompage par air lift, est admis sur un classificateur. Les sables, sont extraits au moyen d'une vis sans fin pour être stockés dans une benne.

Les eaux de lavage rejoignent un poste toutes eaux pour être réintroduites en amont des bassins d'aération.

2. *Stockage des graisses*

Les graisses sont stockées dans une fosse de capacité de 30 m³ et de profondeur 3,6m. Elles sont ensuite pompées au moyen d'une pompe de 10m³/h pour être évacuées au moyen d'une citerne d'une contenance de 3 m³.



Figure 0.7 *Citerne d'évacuation des graisses*

Les graisses récupérées sont en grande partie constitués de déchet flottant et la pompe mise en place n'étant pas adapté pour récupérer ce sous-produit, un camion Hydro cureur est utilisé pour vider la fosse une fois remplie.

2.1. **Canal de comptage des eaux brutes**

La mesure du débit des eaux prétraitées s'effectue en continu dans un canal venturi ou canal jaugeur à col rectangulaire (construction normée NF ISO 4359).

La contraction latérale se traduit par l'élévation du plan d'eau en amont.



Figure 0.8 *Aval du canal de comptage*



Figure 0.9 *Préleveur automatique*

La mesure de débit s'effectue en continu. Le préleveur quant à lui est programmé pour respecter la fréquence analytique défini dans le programme d'auto-surveillance.

2.2. Décantation primaire

Il s'agit d'une séparation physique, par simple gravité, des matières décantables contenues dans les eaux usées.

Les effluents prétraités sont orientés via un répartiteur, vers deux décanteurs primaires. Cette étape du traitement consiste à provoquer la sédimentation de la majorité des matières décantables contenues dans les eaux usées, en jouant sur la vitesse de passage et le temps de séjour des effluents dans ces décanteurs. Les eaux décantées, récupérées par surverse, sont ensuite orientées vers le traitement biologique. Les matières décantées, appelées boues primaires, sont extraites régulièrement pour être envoyées vers l'étape d'épaississement des boues.

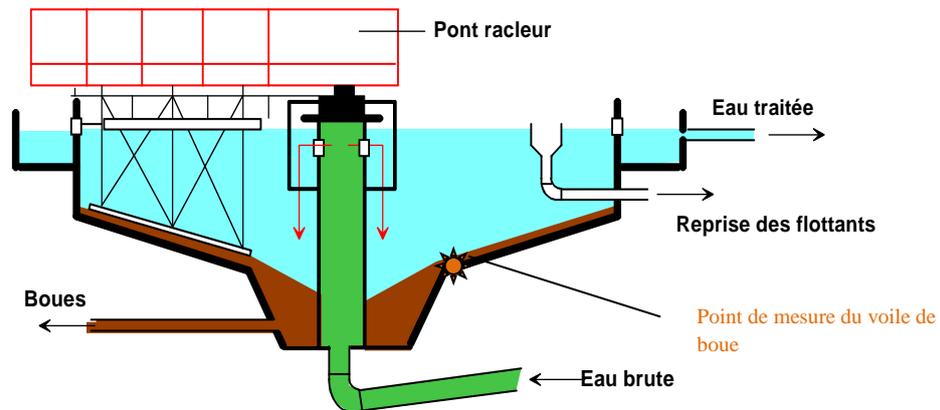


Figure 0.10 Schéma simplifié d'un bassin de décantation

Deux ponts radiaux permettent le raclage des boues pour les ramener dans le puits central d'extraction.



Figure 0.11 Pont raclleur



Figure 0.12 Bassin de décantation

2.3. Bassin d'aération

Les eaux décantées sont mises en contact avec une culture biologique, appelée « boues activées », riche en micro-organismes qui vont assurer l'élimination de la pollution biodégradable présente (DBO) ainsi qu'une partie des autres composés contenus dans l'eau décantées (azote, phosphore, etc...).

Ces micro-organismes, aérobies, nécessitent un apport d'oxygène dans le milieu. Cette aération est assurée par 6 aérateurs de surface dont la fonction est double : aération et brassage des boues activées, afin d'éviter toute décantation de la biomasse.

Pour obtenir le résultat escompté en termes d'efficacité de l'épuration, il convient de maintenir dans ces réacteurs biologiques un rapport entre pollution à traiter et quantité de micro-organismes le plus constant possible. Ce ratio est appelé charge massique (C_m), et s'exprime en $\text{kg DBO}_5/\text{kg MVS}/\text{jour}$, selon la formule suivante :

$$C_m = \frac{\text{kg DBO}_5 \text{ jour}}{\text{MS} \times \text{taux MVS} \times V_{ba}}$$

Avec :

- kg DBO_5 = flux de DBO_5 journalier à traiter
- MS = concentration en matières sèches de la boue dans le bassin d'aération en g/L
- Taux de MVS = % de matières volatiles dans les boues activées (les matières volatiles sont assimilables à la matière active)
- V_{ba} = volume des bassins d'aération en m^3

La station de Beni Messous a été dimensionnée pour fonctionner à moyenne charge, soit $C_m=0,25$ à $0,3 \text{ kg DBO}_5/\text{kg MVS}/\text{jour}$, à capacité nominale.

La connaissance réelle de la charge à traiter (inférieure à la charge nominale), permet de déterminer le taux de boue à maintenir dans le bassin d'aération.

Dans le cas d'une réelle sous charge de la station (phase de démarrage par exemple), un fonctionnement à plus faible charge peut s'envisager.



Figure 0.13 *Vue de l'ensemble du bassin d'aération*



Figure 0.12 *Turbine en fonctionnement*

2.4. Clarificateurs

Après la phase de contact entre l'eau décantée et la biomasse active dans le bassin d'aération, la clarification consiste à séparer par simple décantation l'eau épurée des boues activées. Cette étape est tout aussi importante que la précédente et indissociable. Le traitement biologique conventionnel est donc composé du couple bassin d'aération/clarificateur.

La liqueur mixte est admise au centre du clarificateur. Une jupe de répartition appelée clifford permet une répartition équilibrée du flux.

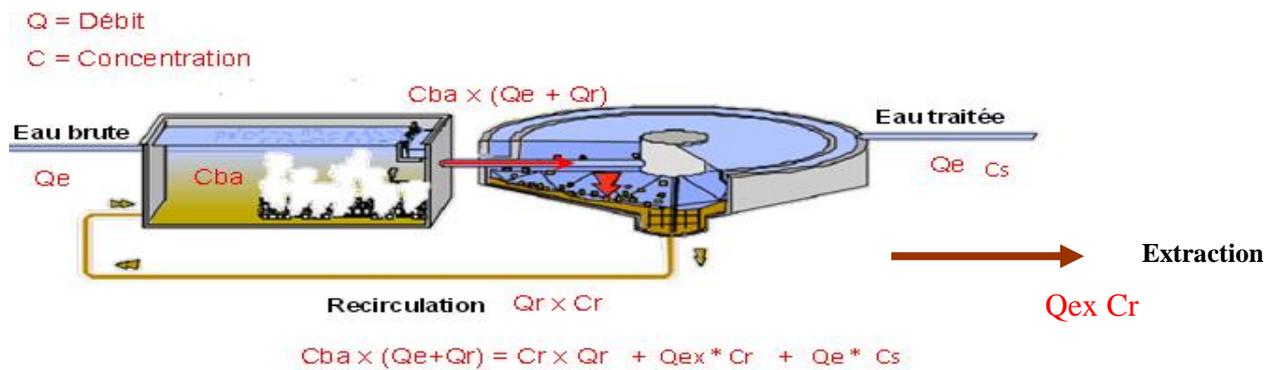


Figure 0.4 Schéma du clarificateur

Par surverse les eaux épurées rejoignent le canal de comptage avant de rejoindre le milieu naturel.

Les boues biologiques décantées au fond de l'ouvrage sont pompées et recirculées vers le bassin d'aération rapidement pour les mettre de nouveau en contact avec la pollution.

Afin de réguler la croissance bactérienne, des extractions de boues biologiques en excès sont faites à partir du puits de recirculation des boues. Ces boues en excès sont orientées vers l'épaississeur en mélange avec les boues primaires.





Figure 0.17 *Vis de recirculation*



Figure 0.18 *Rejet d'eau épurée*

Les boues en excès doivent être extraites le plus régulièrement possible vers l'épaississeur. Un contrôle du voile de boue présent dans les clarificateurs permet de vérifier l'évacuation constante des boues et d'éviter le passage en anaérobiose. L'alimentation croisée des bassins d'aérations et des clarificateurs est possible.

2.5. Canal de comptage des eaux traitées

La mesure du débit des eaux prétraitées s'effectue en continu dans un canal venturi ou canal jaugeur à col rectangulaire (construction normée NF ISO 4359).

La contraction latérale se traduit par l'élévation du plan d'eau en amont.

Chaque canal venturi dispose d'une courbe caractéristique donnant la relation directe entre hauteur d'eau amont et débit transité. Un capteur ultrasons permet de suivre en continu les variations de hauteur d'eau qui sont intégrées par le débitmètre et converties en débit.



Figure 0.10 *Zone aval du canal de mesure*



Figure 0.9 *Centrale de mesure avec préleveur*

La mesure de débit s'effectue en continu. Le préleveur quant à lui est programmé pour respecter la fréquence analytique défini dans le programme d'auto-surveillance, tel que mentionné dans le manuel d'auto-surveillance.

2.6. Épaississement des boues

L'objectif de l'épaississement des boues est la réduction du volume des boues par augmentation gravitaire de la concentration.

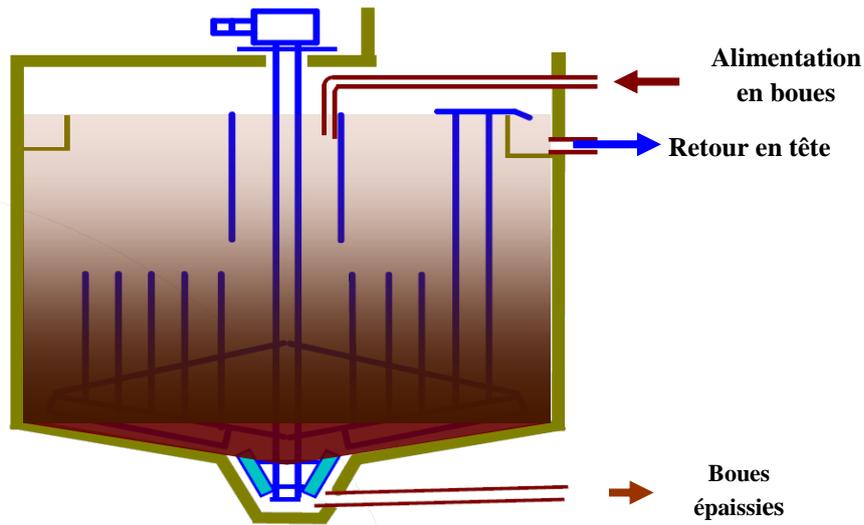


Figure 0.11 Schéma de l'épaisseur de boues

Les boues primaires en provenance des décanteurs primaires et les boues biologiques en excès, après mélange, alimentent en partie centrale les deux épaisseurs, raclés et hersés. Les boues épaissies sont soutirées en fond d'ouvrage alors que l'eau est récupérée par surverse et rejoint le poste eaux troubles pour un retour en tête du bassin biologique. Stabilisation aérobie des boues

2.7. Stabilisation aérobie des boues

La stabilisation aérobie est un procédé de réduction de la matière organique par aération prolongée. À l'issue de cette étape, après l'élimination de la fraction fermentescible, les risques de nuisances olfactives durant les stockages de la boue même prolongés est limité. La stabilisation aérobie des boues est basée sur le même principe que le fonctionnement d'un bassin d'aération. La seule différence est l'absence de nutriment apporté aux bactéries. De ce fait, celles-ci vont trouver leur source de nutriments dans les autres bactéries présentes dans le milieu et ainsi les éliminer.

Pour une bonne efficacité, le temps de séjour des boues mixtes (primaires et biologiques en excès) doit être compris entre 15 et 20 jours.



Figure 0.12 Aérateur de surface

Les bassins de stabilisation doivent être alimentés le plus régulièrement possible avec les boues épaissies à 40g/L.

Les temps d'aération des turbines doivent être calés en fonction des besoins. A minima, le temps de marche d'un aérateur ne doit pas être inférieur à 14 heures.

Une gestion automatique de l'aération par les sondes à oxygène est possible néanmoins un pilotage optimiser en cadence durée est mis en place.

La fluctuation du niveau dans les bassins doit être faible, 3cm maximum, pour ne pas altérer le fonctionnement des aérateurs, ce qui signifie, que l'évacuation des boues stabilisées vers la bache de stockage doit se faire très régulièrement.

2.8. Bassin de stockage des boues stabilisées

Cet ouvrage permet de disposer d'un volume tampon en amont de la déshydratation pour assurer une alimentation homogène et continue des filtres à bandes.

Ce silo doit être parfaitement homogénéisé.

Le temps de séjour des boues dans cet ouvrage doit être inférieur à 24 heures.



Figure 0.14 Alimentation de la bache des boues stabilisée par un déversoir mobile



Figure 5.13 Bache des boues stabilisées

Le remplissage de la bache de stockage en amont de la déshydratation peut se faire soit par bache soit en continu au moyen des déversoirs mobiles de chacun des bassins de stabilisation, pour garantir une continuité de l'alimentation des filtres à bandes.

Un brassage suffisant grâce à 2 agitateurs est effectué pour éviter toute décantation de la boue dans la bache de stockage en amont de la déshydratation.

Cet ouvrage doit **impérativement** être vide en fin de semaine, pour le temps du week-end, afin d'assurer la continuité d'extractions de la boue produite et ne pas avoir à stocker dans les ouvrageamonts.

Chapitre VI

Résultats & discussions

1. Étude des paramètres de pollution :

Dans ce chapitre nous allons présenter les moyennes mensuelles et les valeurs extrêmes des paramètres de pollution mesurés au sein de la station d'épuration de Beni Messous, pour la période de janvier 2014 jusqu'à décembre 2015.

Tableau 6.1 Les paramètres de pollution dans les eaux brutes et les eaux épurées au niveau de STEP de Beni Messous

Paramètres	Valeurs minimales		Valeurs moyennes		Valeurs maximales	
	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée	Eau brute	Eau épurée
Débit (m ³ /j)	10470	900	32980	30820	72890	62250
Température (°C)	11,46	10,24	17,71	16,20	26,15	23,99
pH	7,43	7,49	7,72	7,78	7,95	8,04
Conductivité (μS/cm)	1363,96	1236,64	1603,39	1487,87	2506,67	2393,33
MES (mg/l)	133,09	5,02	169,09	8,99	225,54	19,69
MES (kg/j)	2277,2	85,8	5683,8	302,2	13875,1	1211,4
DCO (mg/l)	163,14	14,47	221,93	19,5	276,75	51,06
DCO (kg/j)	2791,4	247,5	7460,1	665,5	17025,9	3141,5
DBO ₅ (mg/l)	77	2,42	151,19	5,54	223,75	22,46
DBO ₅ (kg/j)	1317,5	41,4	5082,5	186,1	13765,1	1381,9
NTK (mg/l)	30	/	33	/	36	/
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,01	0,2	21,68	1,06	27,43	4,72
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2,58	0,25	27,87	1,36	35,26	6,06
N-NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,14	1,08	1,09	13,97	2,92	23
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,61	4,78	4,81	61,87	12,93	101,86
N-NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,02	0,03	0,44	0,84	1,81	23,4
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,07	0,11	1,45	2,76	5,95	76,89
P _T (mg/l)	2,26	1,13	4,66	2,35	10,77	5,33
P _T (kg/j)	38,67	19,33	156,64	78,99	662,57	327,90

2. Évolution de la charge hydraulique

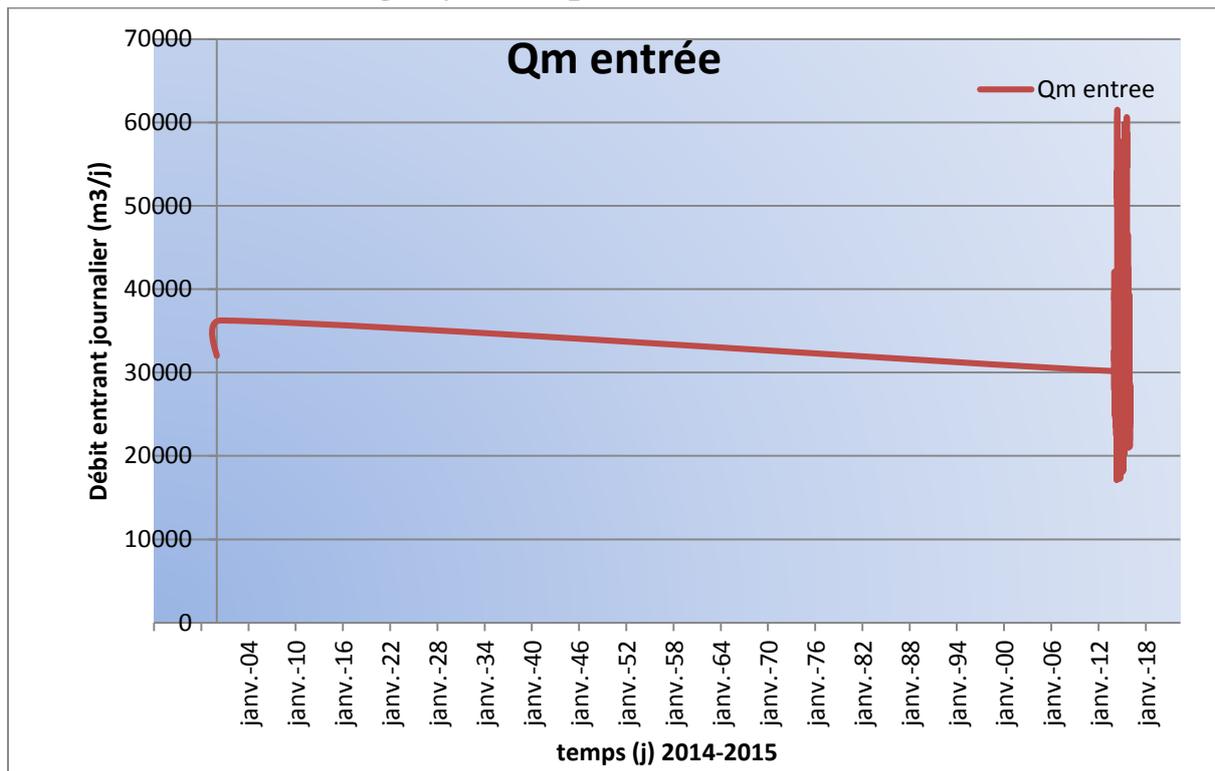


Figure 6.1 Évolution du débit d'entrée et de sortie de janvier 2014 à décembre 2015 pour la STEP de Beni Messous

A l'entrée de la station les débits sont extrêmement variables, allant de 17110 m³/j mesuré le 22 avril 2014 à 61520 m³/j mesuré le 25 mai 2014. Ce débit maximum est 3,5 fois plus élevé que le débit minimal et représente 123% de la capacité nominale de la station (Tableau 6.1). Ce fort débit est dû à des précipitations intenses supérieures à 83 mm/jour

La valeur moyenne oscille autour de 33605 m³/j, représentant 67,2 % du débit nominal.

2.1. Taux de dilution STEP DE Beni Messous

Dans le détail, la part des eaux claires totales (permanentes et pluviales) dans les eaux usées peut être évaluée par le débit d'eaux usées moyen tout temps confondu. Cette part est calculée en évaluant l'effet de la dilution des eaux usées par rapport aux eaux claires théoriques non diluées (par exemple la concentration théorique en DBO5 est de 300 mg/l avec 50 gr de DBO5/EH.J). Le tableau et le graphique suivants indiquent l'estimation du taux de dilution en entrée de STEP pour chaque bilan.

Le taux de dilution représente la quantité des eaux indésirables s'infiltrant au réseau d'assainissement et arrivant à la STEP. Ces eaux dénommées « eaux claires parasites » vont diluer les concentrations des différents paramètres de la pollution. Le taux de dilution représente le pourcentage de volume de ces eaux parasites par rapport au volume des eaux usées domestiques évalué à partir de la charge entrante de DBO5 (kg/j) en considérant une dotation de 150 l/j/habitant, avec 50 g DBO5 /j et par équivalent habitant.

Le tableau suivant représente les résultats de calcul des volumes d’eaux claires parasites ainsi que les taux de dilution correspondants aux pointes de charges hydrauliques.

Tableau 6.2 Taux de dilution

Date	Eau Brute (m ³ /j)	Charge entrante (kgDBO ₅ /j)	Charge entrante(EH) (1EH=54g DBO ₅ /j)	Volume d’eaux domestiques 150l/EH/j	Volume d’eaux claires parasites m ³ /j	Taux de Dilution %
25/05/2014	61520	7998	148103,7	22215,56	39304,44	177
01/06/2014	59980	8817	163278,89	24491,83	35488,17	145
02/06/2014	25010	3676	68082,78	10212,42	14797,58	145
04/09/2014	53050	8541	158167,59	23725,14	29324,86	124
05/09/2014	26360	4428	82008,89	12301,33	14058,67	114
30/10/2014	48690	4139	76641,67	11496,25	37193,75	324
01/11/2014	22530	2906	53821,67	8073,25	14456,75	179
02/02/2015	18550	2003	37100	5565	12985	233
22/10/2015	21480	2234	41368,89	6205,33	15274,67	246
Moyenne	21480	4971	92063,79	13809,57	23653,77	187

Le graphe suivant représente le taux de dilution pendant la période d’étude :

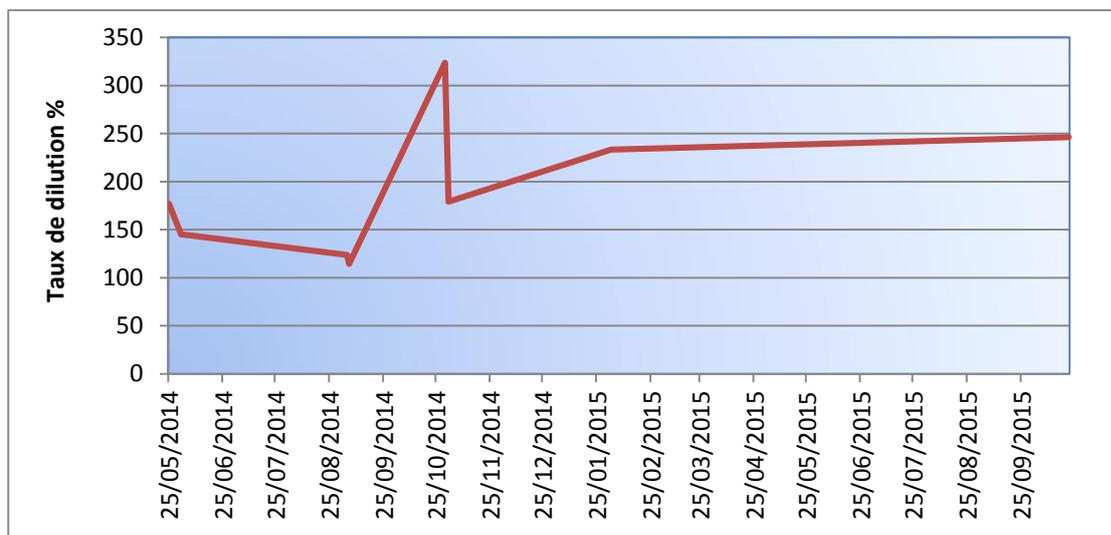


Figure 6.2 Évolution du taux de dilution dans la STEP de Beni Messous (Avril 2014 à Octobre 2015).

Les pointes brutales de charges hydrauliques sont mesurés ponctuellement, ces dépassements en volumes sont imprévisibles et peuvent détériorer de façon durable les performances de traitement de la station.

Ainsi, la station a reçu des dépassements en volumes d'eaux usées à dix reprises entre le 25/05/2014 et le 22/10/2015 avec un taux moyen de dilution de 187% et un taux maximal de 324% enregistré le 30/10/2014. Les eaux claires parasites représentent environ 23653,77 m³.

On voit donc que l'effluent admis sur la station est en majorité fortement dilué, ceci est à relier à des évènements pluvieux importants et à la nature du réseau (unitaire) et son vieillissement qui le rend très vulnérable aux eaux claires parasites qui peuvent, dans le cas général, avoir des conséquences techniques assez désagréables :

- Épuisement des postes de relevage ;
- Augmentation de la consommation d'énergie par pompage ;
- Surcharge des postes de relèvement avec augmentation des durées de pompage et donc des consommations d'énergie, usure mécanique des équipements... et qui peut mener au rejet direct d'une partie du flux polluant dans le milieu naturel;
- Nuisance à l'efficacité épuratoire à cause de la difficulté de l'élimination de la pollution de l'effluent dilué.

2.2. Paramètres de pollution physico-chimique

2.2.1. Température :

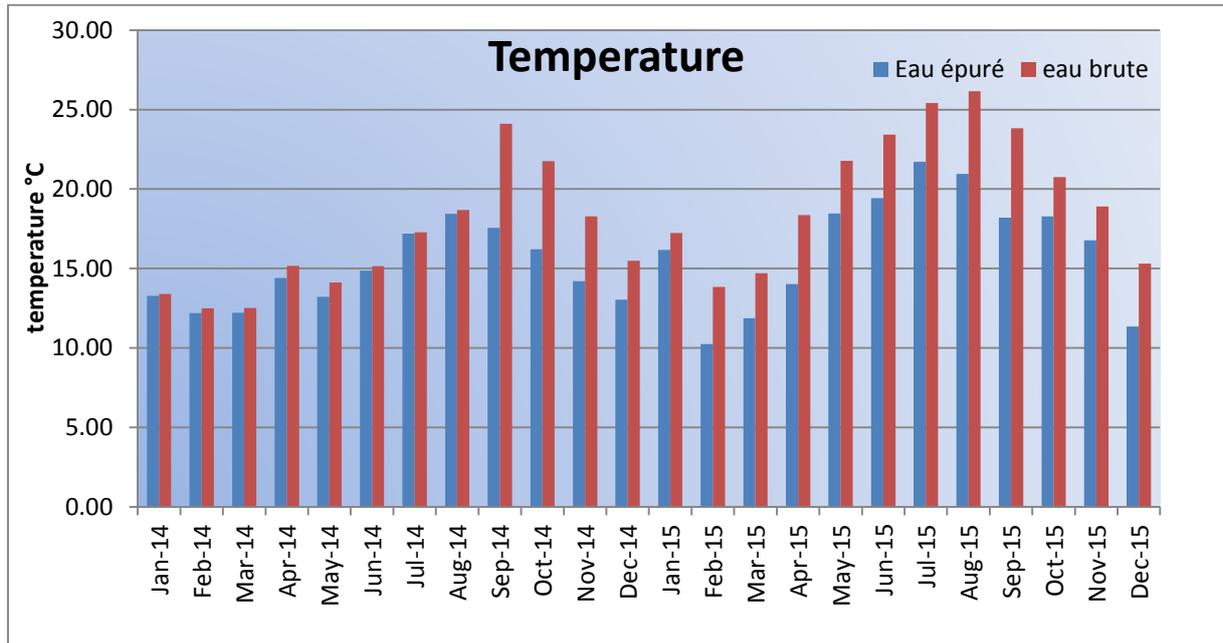


Figure 6.3 Évolution de la température d'entrée et de sortie de janvier 2014 à décembre 2015 au niveau de la STEP de Beni Messous

La température est un des paramètres physico-chimiques les plus importants pour le contrôle du processus chimique et biologique.

A l'entrée de la STEP de Beni Messous, les températures de l'eau brute varient de 12,49° à 26,15° enregistrées respectivement en février 2014 et août 2015 avec une moyenne de 18,26°, ce qui est favorable pour l'activité des microorganismes épuratoires

Une différence de moins de 1° est observée pour l'eau épurée par rapport à l'eau brute durant la période de janvier 2014 à août 2014 et de plus de 2° entre septembre 2014 et décembre 2015. Ces variations de températures sont principalement dues aux variations saisonnières principalement

Les températures sont toutes inférieures à la valeur limite de la température de rejet dans le milieu récepteur qui est de 30°C. De même, ces valeurs de température sont inférieures à 35°C, considérée comme valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation (Normes marocaines, bulletin officiel 2002).

2.2.2. Potentiel hydrogène pH :

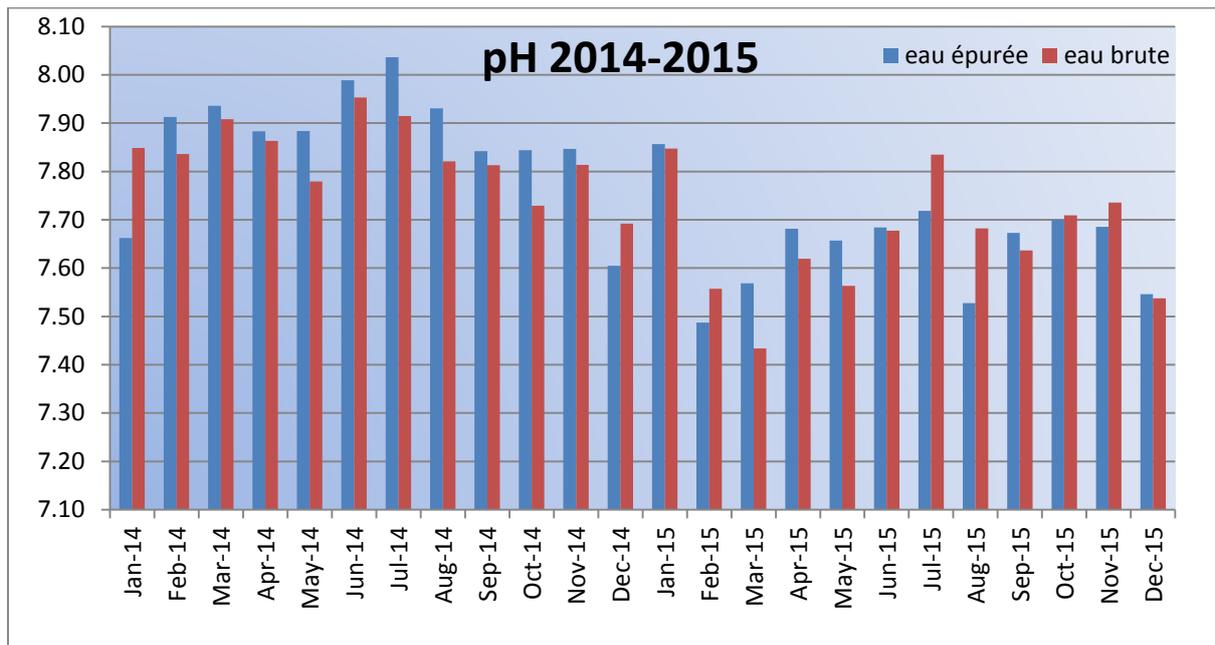


Figure 6.4 Évolution du pH à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous entre janvier 2014 et décembre 2015

Il s'agit d'un paramètre primordial qui joue un rôle important dans les processus biologiques dont certains exigent des limites très étroites de ce dernier.

A l'entrée de la STEP, le pH varie entre 7,43 et 7,95 avec une valeur moyenne de 7,74. Le pH oscille donc entre les valeurs proches du neutre et présente une tendance légèrement basique.

A la sortie on remarque que le pH est généralement plus élevé qu'à l'entrée de station, avec des valeurs comprises entre 7,49 et 8,04 et une moyenne de 7,76.

Ces valeurs concernant le pH sont en accord non seulement avec les normes d'irrigation [6.5-8.5] fixées par l'OMS, mais aussi avec les normes algériennes [6.5 -7.5], en général, le pH est proche de la neutralité voire légèrement basique.

NB : Lorsque le pH >8, l'ammoniac se présente sous forme de NH₃ (ion ionisé), très toxique pour la vie aquatique (association des produits forestiers du Canada 2008).

2.2.3. Conductivité électrique CE

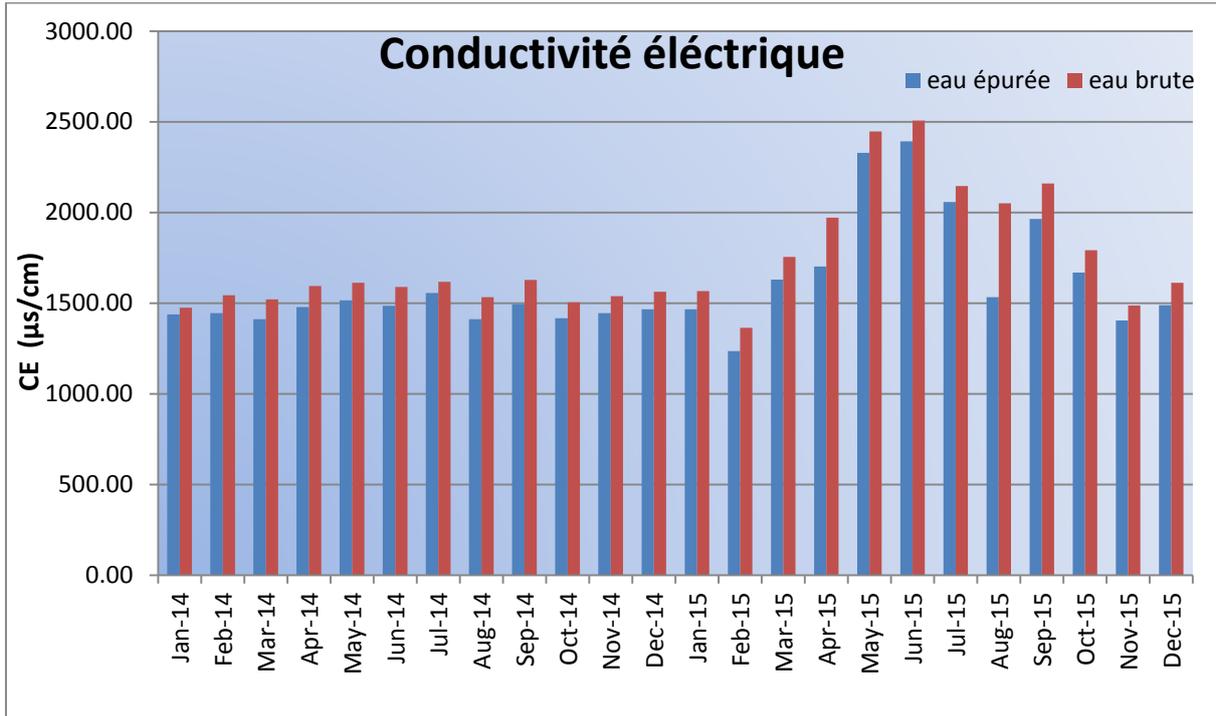


Figure 6.5 Évolution de la conductivité à l’entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous de janvier 2014 à décembre 2015

La Conductivité électrique à l’entrée de la STEP varie entre 1363µS/cm enregistrée en février 2015 et 2507µs/cm enregistré en juin 2015, avec une valeur moyenne de 1732,86µs/cm.

Ces valeurs moyennes sont inférieures à 3000µs/cm, considérée comme valeur limite de restriction à l’irrigation et de rejet direct dans le milieu récepteur. [16]

Ces résultats mettent en évidence une forte minéralisation des eaux usées due probablement aux rejets industriels non déclarés.

2.2.4. Coefficient d’adsorption su sodium : SAR :

Tableau 6.3 valeurs du sodium, calcium et magnésium

	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
mg/l	28	168	52

• Le sodium :

La valeur moyenne du sodium est de 28 g/l. Elle est inférieure à la norme OMS (920 mg/l), donc le sodium ne représente donc aucun obstacle pour l’utilisation des eaux traitées de la STEP de Beni Messous dans l’irrigation.

- **Le calcium :**

En comparant la valeur de la teneur en calcium des eaux épurées qui est de 168 mg/l avec la norme limite attribuée par la FAO (1985) pour les eaux épurées destinées à l'irrigation (400mg/l), on retient que la concentration du calcium des eaux épurées de la station de Béni-Messous est conforme à la norme.

- **Le magnésium :**

En comparant la valeur de la concentration du magnésium dans les eaux épurées de la station qui est de 52 mg/l avec la norme donnée par l'OMS (1989) qui est de 60,75mg/l pour les eaux destinées à l'irrigation, on conclut que la teneur en magnésium dans l'eau épurée de cette station ne présente aucun danger pour la réutilisation des eaux épurées en irrigation.

- **Le SAR :**

C'est le critère d'efficacité des eaux pour l'irrigation, il exprime le rapport de la teneur en sodium à la teneur du calcium et magnésium.

$$\text{SAR} = 2.67$$

Cette valeur du SAR autorise l'utilisation de ces eaux sur tout type de sol.

2.2.5. Calcul de la minéralisation

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous de l'eau et sa conductivité électrique :

La table de calcul de la minéralisation nous permet de calculer la minéralisation à partir de la conductivité électrique.

Tableau 2.4 La table de calcul de la minéralisation [26]

conductivité $\mu\text{S/cm}$	minéralisation mg/l
conductivité < 50 $\mu\text{S/cm}$	1,365079 x conductivité
conductivité [50 à 166] $\mu\text{S/cm}$	0,947658 x conductivité
conductivité [166 – 333] $\mu\text{S/cm}$	0,769574 x conductivité
conductivité [333 – 833] $\mu\text{S/cm}$	0,715920 x conductivité
conductivité [833 – 10000] $\mu\text{S/cm}$	0,758544 x conductivité
conductivité > 10000 $\mu\text{S/cm}$	0,850432 x conductivité

Sachant que la CE moyenne des eaux épurées est de 1601,91 $\mu\text{S/cm}$, la minéralisation des eaux de la STEP de Beni Messous est égale à :

$$\text{EE: } 0,758544 \times 1601,91 = 1215,11 \text{ mg/l}$$

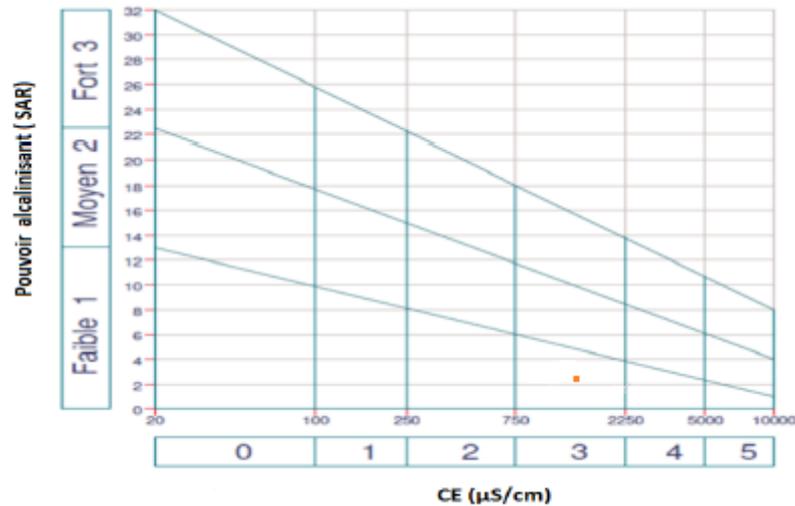


Figure 6.6 Diagramme de Richards (Riverside)

L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus, selon Richards, (1954) nous permettent de prévoir et évaluer les risques probables sur la nature des sols et de la végétation quant à l'utilisation de ces eaux épurées. En tenant compte de cette classification et après avoir reporté la conductivité électrique (CE à 25 °C) et la valeur de SAR, nous avons pu dégager la présence C3S1 qui désigne des eaux utilisables sans contrôle particulier pour l'irrigation de cultures moyennement tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité. Toute fois la qualité d'une eau d'irrigation ne peut être établie qu'en fonction du sol qui la reçoit et la culture à pratiquer (Rodier, 2005) [16]

2.2.6. Oxygène dissous

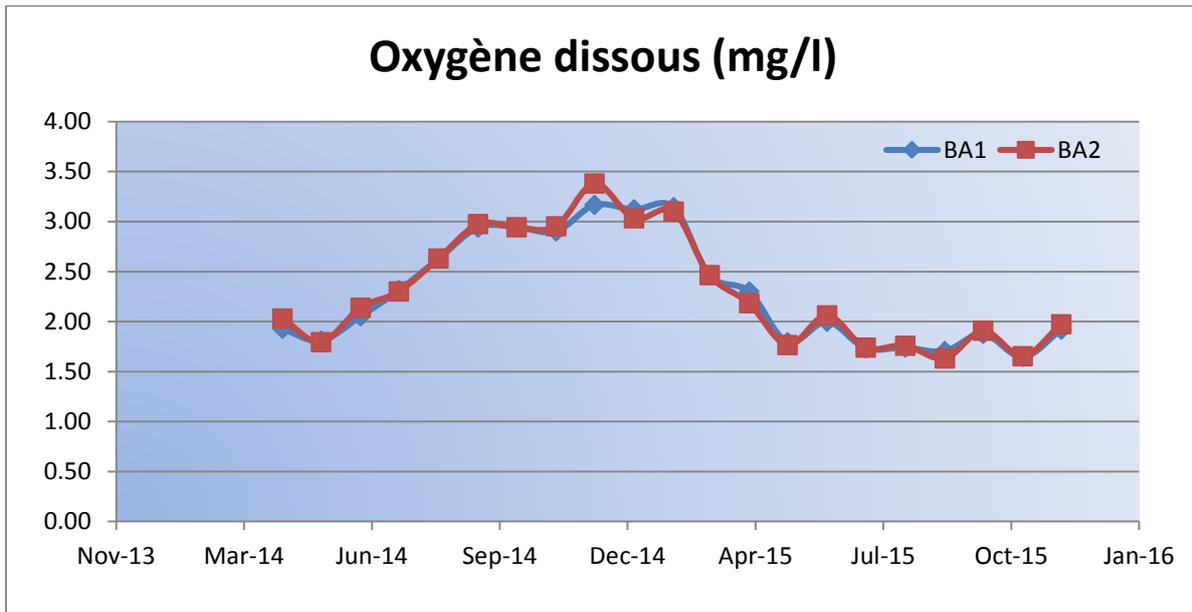


Figure 6.7 Représentation graphique de l'évolution de la concentration d'oxygène dissous des deux bassins d'aération au niveau de la STEP de Beni Messous de janvier 2014 à décembre 2015

D'après le graphe, les valeurs de l'oxygène dissous varient entre 1,64mg/l et 3,17mg/l dans le premier bassin et entre 1,63mg/l et 3,38mg/l dans le second bassin avec des moyennes respectives de 2,25mg/l et 2,26mg/l.

L'évolution de l'oxygène dissous dans les deux bassins est presque identique.

On remarque que pendant la période hivernale la concentration en oxygène dissous augmente considérablement. Cela est dû aux basses températures et à la diminution de l'activité des microorganismes.

Les concentrations en OD sont parfois supérieures à la limite d'aération (2,5mg/l). Dans ce cas, la sur-aération peut provoquer la remontée de gaz au clarificateur et la formation d'une couche flottante, ce qui influence la qualité du traitement et peut entraîner un dégazage dans le clarificateur favorisant la formation du flottants et pouvant également conduire à de fortes concentrations en nitrates.

2.3. Les paramètres de la pollution particulaire MES :

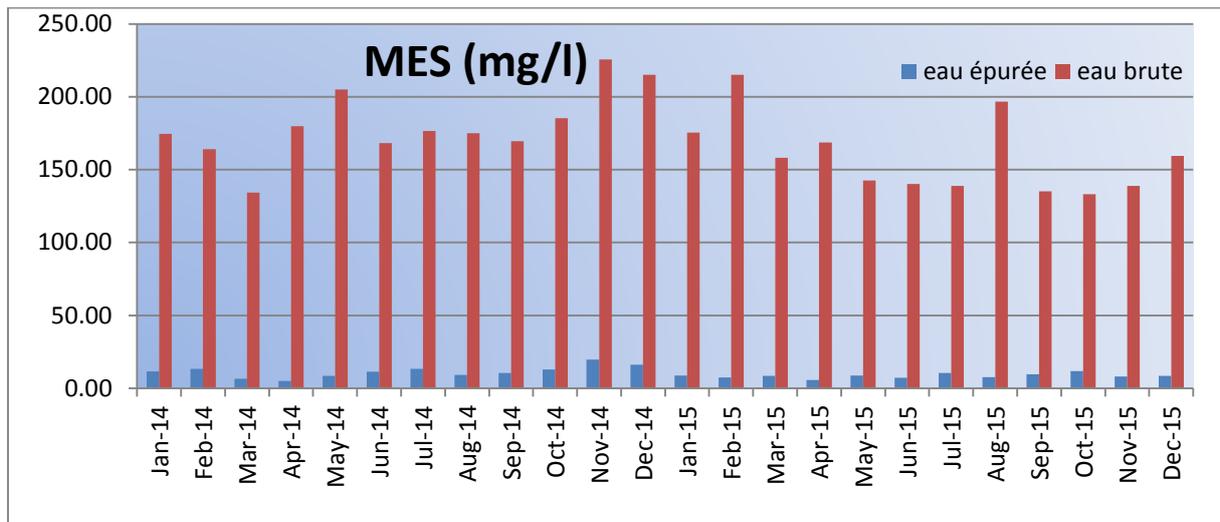


Figure 6.8 Évolution de la concentration en MES de Janvier 2014 à décembre 2015 au niveau de la STEP de Beni Messous

La concentration moyenne mesurée à l’amont de la STEP est de 169,78 mg/l avec une valeur maximale de 225,54 mg/l et une valeur minimale de 133,09 mg/l, observées respectivement en novembre 2014 et en octobre 2015.

L’augmentation du flux de MES est à relier au temps de pluie qui remet en suspension des dépôts accumulés (dépôts et biofilms) dans le collecteur.

Cependant, à l’aval de la STEP on voit que le rendement d’élimination est excellent car il atteint en moyenne les 94% avec une concentration moyenne en MES égale à 10 mg/l.

Les concentrations maximales des MES s’approchent de 19,69 mg/l et ne dépassent pas la valeur nominale de la STEP. Ces eaux sont donc aptes à être utilisés dans l’irrigation et répondent aux normes de la FAO.

2.4. Évolution des paramètres de la pollution organique globale :

2.4.1. Demande chimique en oxygène DCO :

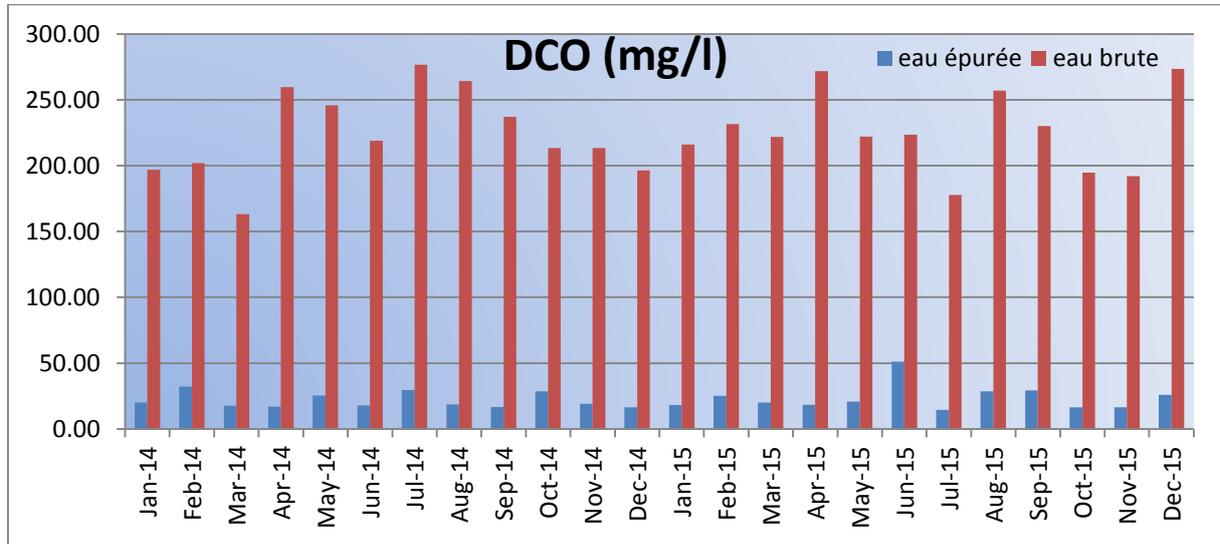


Figure 6.9 Évolution de la DCO à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous de Janvier 2014 à Décembre 2015

Les valeurs de DCO enregistrées à l'entrée de la STEP varient entre 163,4 mg/l et 276,75 mg/l avec une moyenne de 225 mg/l.

En sortie de STEP, ces concentrations varient entre 14,5 mg/l et 51 mg/l avec une moyenne d'environ 23 mg/l.

Ces valeurs sont inférieures à 90 mg/l, considérée comme valeur limite de rejet direct fixée par l'OMS, De même, elle est inférieure à 120 mg/l (norme de DCO prescrite dans le journal officiel de la république algérienne).

Le degré d'abattement de la DCO varie entre 77% et 93% avec une moyenne de 90%

2.4.2. Demande biologique en oxygène DBO₅ :

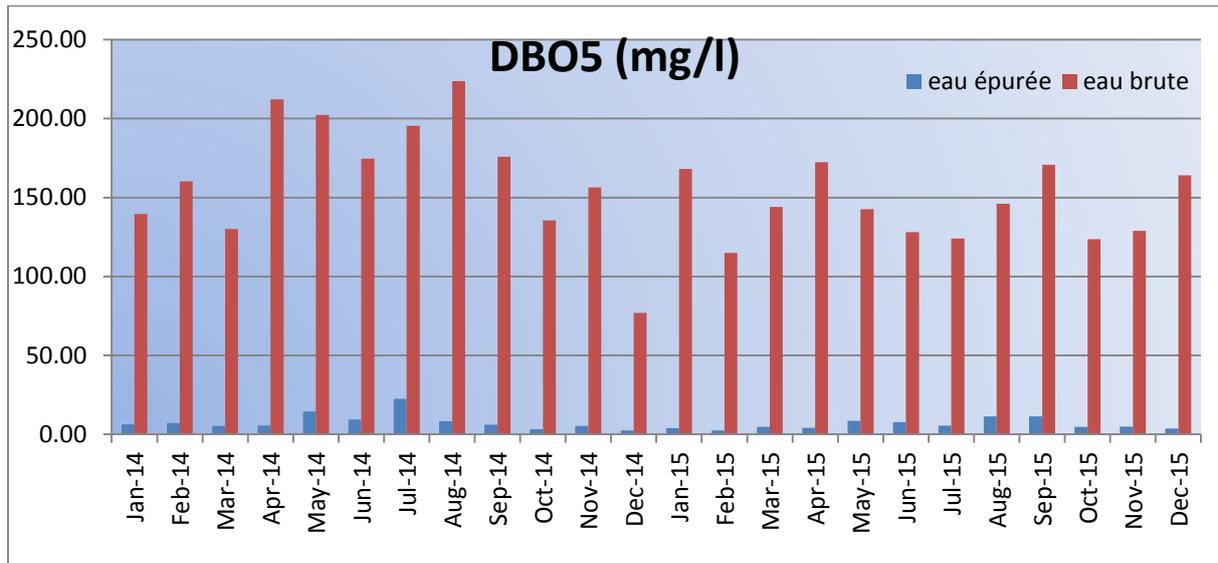


Figure 0.10 Évolution de la DBO₅ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous de Janvier 2014 à Décembre 2015

A l'entrée de la STEP, les valeurs de la DBO₅ varient entre 77mg/l et 223,75 mg/l avec une valeur moyenne approximative de 154,61 mg/l.

En sortie de STEP, les valeurs oscillent entre 2,42 mg/l et 22,46 mg/l avec une moyenne de 7,06mg/l.

Ces valeurs sont inférieures à 30 mg/l, valeur limite de rejet direct fixée par l'OMS et respectent aussi la loi algérienne qui fixe la norme à 35 mg/l.

Le degré d'abattement de la STEP varie entre 89% et 98% avec une valeur moyenne de 96%. Ces eaux sont donc très biodégradables.

2.5. Évolution des paramètres de pollution dissoute :

2.5.1. Phosphore total :

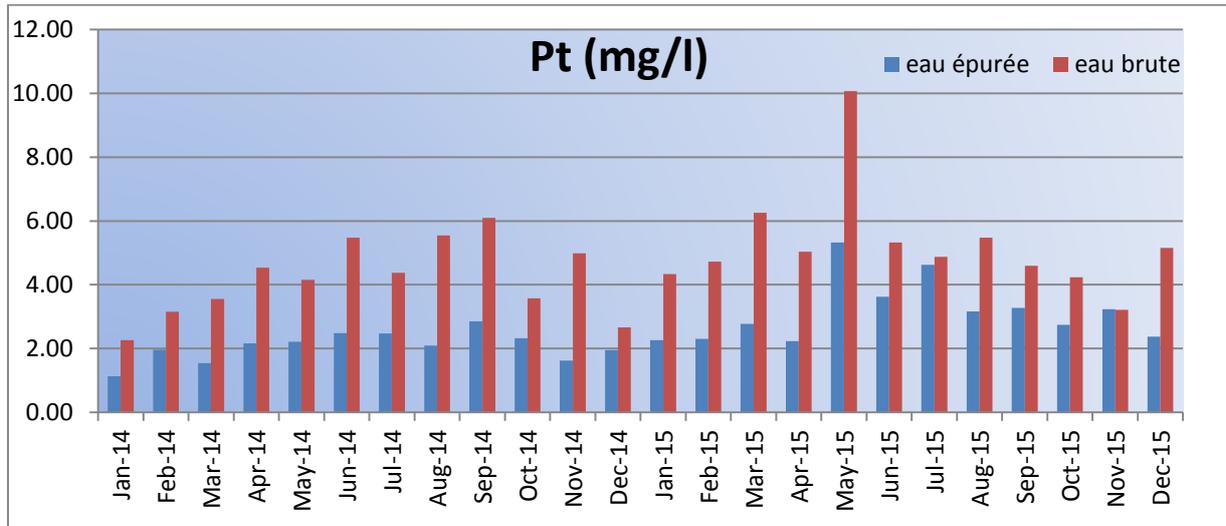


Figure 6.11 Évolution de la concentration du phosphore total à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous durant la période de janvier 2014 à décembre 2015

Le phosphore provient le plus souvent des eaux usées sanitaires. Une trop grande teneur en phosphore favorise la croissance des algues et des plantes aquatiques dans les eaux de surface (rivières, lacs, etc.)

À l'amont de la station de Beni Messous, la concentration de phosphore oscille entre 2,26 mg/l et 10,07 mg/l, avec une moyenne de 4,74 mg/l.

À l'aval de la station, la concentration du phosphore diminue et les valeurs oscillent entre 1,13 mg/l et 5,33 mg/l avec une moyenne de 2,61 mg/l.

Le rendement moyen d'abattement du phosphore est de 45% en novembre 2015, par contre il est de 67% en novembre 2014.

La STEP ne rencontre que rarement les problèmes liés au dépassement de phosphore sauf en juillet et novembre 2015. Néanmoins ces concentrations restent largement inférieures à la norme algérienne de rejet qui est de 10 mg/l.

2.5.2. Les composés azotés :

2.5.2.1. Ammonium (NH_4^+) :

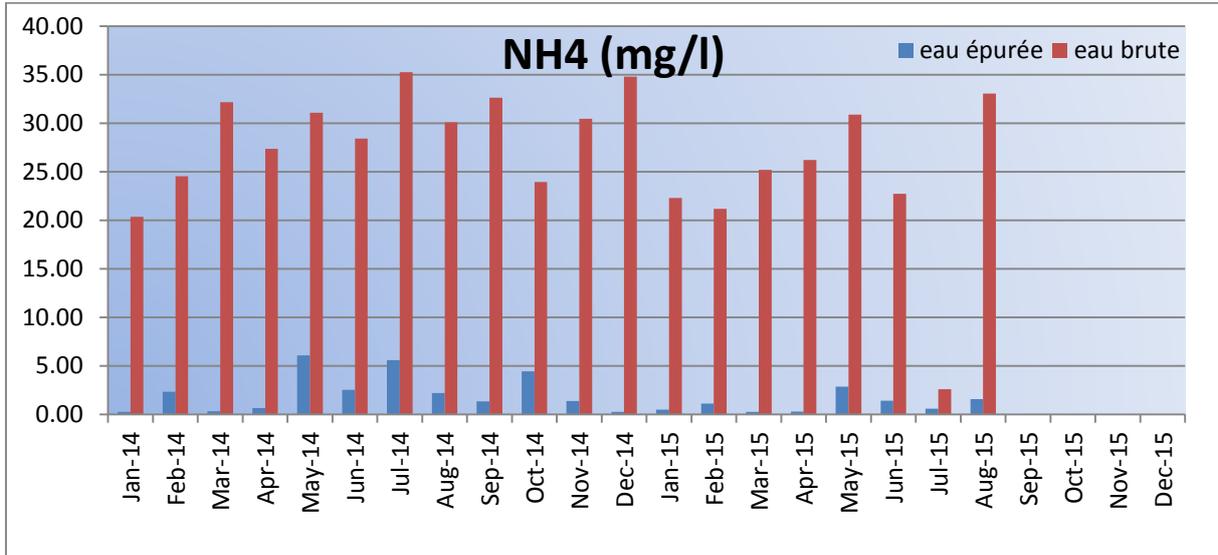


Figure 6.12 Évolution de la concentration de l'ammonium NH_4^+ à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous (de janvier 2014 à aout 2015)

L'ammonium constitue le produit de la réduction finale des substances organiques azotées et de la matière inorganique dans les eaux et les sols. Il provient également de l'excrétion des organismes vivants et de la réduction et la biodégradation des déchets, sans négliger les apports d'origine domestique, industrielle et agricole. Cet élément existe en faible proportion inférieure à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles [17].

À l'entrée de la STEP, les concentrations de l'ammonium varient entre 2,58 mg/l et 35,26 mg/l avec une moyenne de 26,76 mg/l

Quant à la sortie de la STEP, les valeurs ont significativement diminué, avec des valeurs qui varient entre 0,26 mg/l et 6,07 mg/l avec une moyenne de 1,8 mg/l.

Mis à part ces quatre valeurs (enregistrés en mai, juillet et octobre 2014 et en mai 2015), l'eau épurée contient un taux d'ammonium NH_4^+ qui répond aux normes fixées par l'OMS et peut donc être utilisée pour l'irrigation. Il faut impérativement et constamment surveiller ce taux en cas de dépassement excessif.

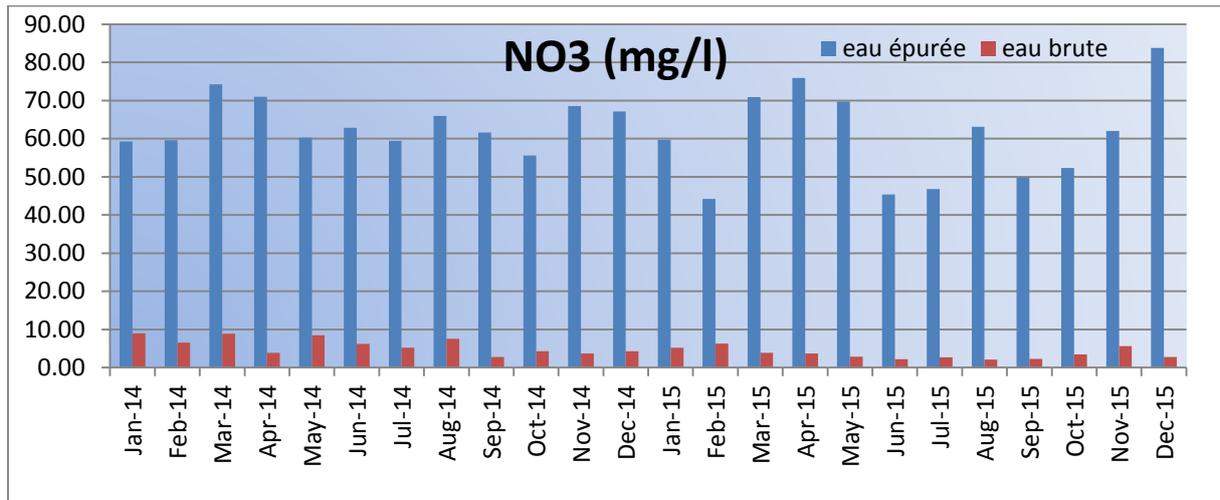
2.5.2.2. Nitrate (NO_3^-) :

Figure 6.13 Évolution des nitrates à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous (de janvier 2014 à décembre 2015)

À l'entrée de la STEP, les concentrations des nitrates varient entre 2,08 mg/l et 8,95 mg/l avec une moyenne de 4,75 mg/l.

À la sortie de la STEP on remarque une hausse très importante des concentrations des nitrates, elles varient entre 44,18 mg/l et 83,79 mg/l, avec une moyenne de 62,04 mg/l ce qui est normal vu l'absence du processus de nitrification-dénitrification, néanmoins ces valeurs restent supérieures à la norme d'irrigation fixée par l'OMS qui ne doit pas dépasser 50 mg/l.

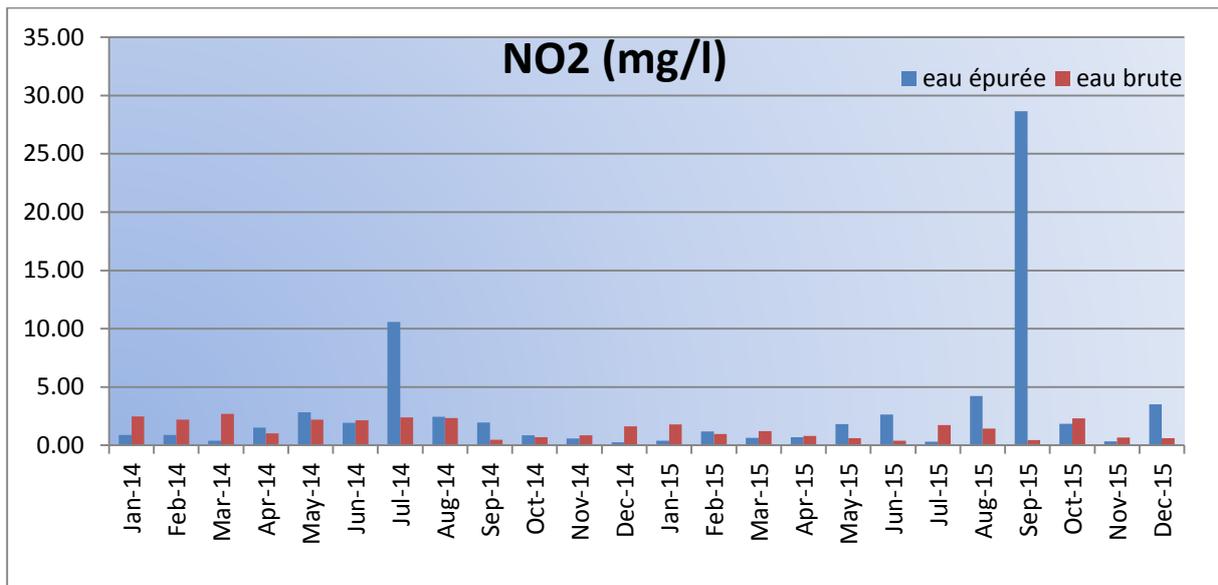
2.5.2.3. Nitrite (NO_2^-) :

Figure 6.14 Évolution des nitrites à l'entrée et à la sortie de la STEP de Beni Messous (de janvier 2014 à décembre 2015)

À l'entrée de la STEP, les valeurs des nitrites varient entre 0,38 mg/l et 2,69 mg/l avec une moyenne de 1,42mg/l. Ces valeurs sont inférieures à la norme française fixée à 10 mg/l alors qu'à la sortie les valeurs de NO_2^- ont nettement augmenté et varient entre 0,25 mg/l et 28,65mg/l avec une moyenne de 2,97 mg/l.

La concentration en NO_2^- à la sortie de la station a baissé par rapport à l'entrée dans les périodes de janvier 2014 à mars 2014 et de novembre 2014 à avril 2015, ce qui démontre une anomalie; étant donné que suite au processus de nitrification on doit avoir une augmentation dans la concentration de cet effluent.

3. Interprétation des indicateurs de performance :

3.1. Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO₅

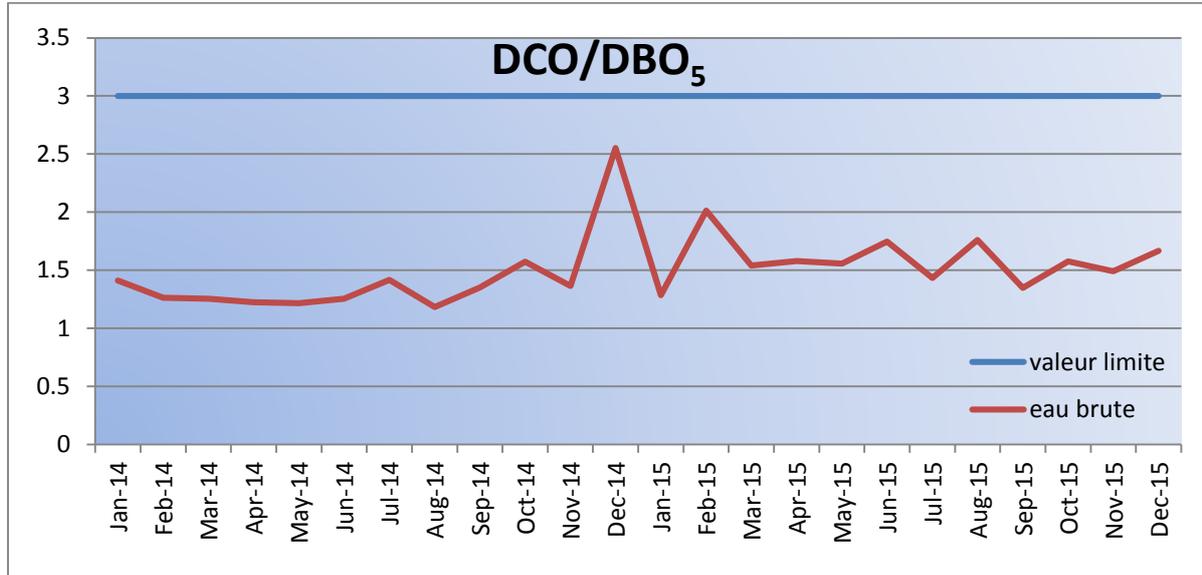


Figure 6.15 Variation du ratio DCO/DBO₅ durant la période de janvier 2014 à décembre 2015 pour la STEP de Beni Messous

Le rapport DCO/DBO₅ caractérisant la biodégradabilité des eaux usées varie entre 1,2 et 2,6 avec une moyenne de 1,5, un résultat conforme à la norme des eaux usées urbaines à dominance domestique qui présente un rapport DCO/DBO₅ inférieurs à 3.

On en déduit que l'effluent est facilement biodégradable avec une aptitude au traitement biologique suffisant pour la STEP de Beni Messous. Ça ne nécessite donc pas un traitement physico-chimique supplémentaire en raison de l'absence des rejets industriels.

Un pic de 2,55 de ce ratio est enregistré pendant le mois de décembre 2014, mais cela reste toujours dans les normes de la biodégradabilité.

3.2. Rapport nutritionnel : Rapport C/N/P

Les principaux éléments nutritifs nécessaires aux microorganismes épurateurs au sein des boues activées sont le carbone, l'azote et le phosphore. Le rapport DBO₅ / N-NH₄⁺/P-PO₄³⁻ exprime cet équilibre nutritionnel.

Le métabolisme bactérien s'accompagne : de besoins carbonés, de besoins azotés sous forme d'azote ammoniacal et de besoins phosphorés sous forme d'ortho phosphates dans des proportions bien précises.

Cet équilibre appelé aussi C/N/P doit se rapprocher du ratio 100/5/1.

Pour un système de traitement par boues activées, les bactéries ont besoin de 5 kg d'azote et de 1 kg de phosphore pour éliminer 100 kg de DBO.

Tableau 6.5 Évaluation du rapport C/N/P

	C	N	P
Janvier 2014	100	11,32	0,96
Mars 2014	100	19,22	1,48
Mai 2014	100	11,95	1,09
Juillet 2014	100	14,04	1,24
Septembre 2014	100	14,44	2,05
Novembre 2014	100	15,14	3,76
Janvier 2015	100	10,32	2,01
Mars 2015	100	13,61	3,61
Mai 2015	100	16,84	5,08
Juin 2015	100	13,80	2,19

Le tableau ci-dessus regroupe les valeurs des éléments essentiels pour l'équilibre nutritif des bactéries ($DBO_5 / N-NH_4^+ / P-PO_4^{3-}$). On voit clairement que ces éléments ne sont pas en équilibre, car pour 100 mg de DBO_5 on trouve très souvent que la quantité d'azote est supérieure à la norme (5mg) et de même pour le phosphore qui est généralement supérieur à la norme en rigueur fixée à 1mg, ce qui se traduit par un déséquilibre en nutriments qui constitue un handicap au niveau du traitement biologique.

3.3. Évolution du rapport MES/DBO5

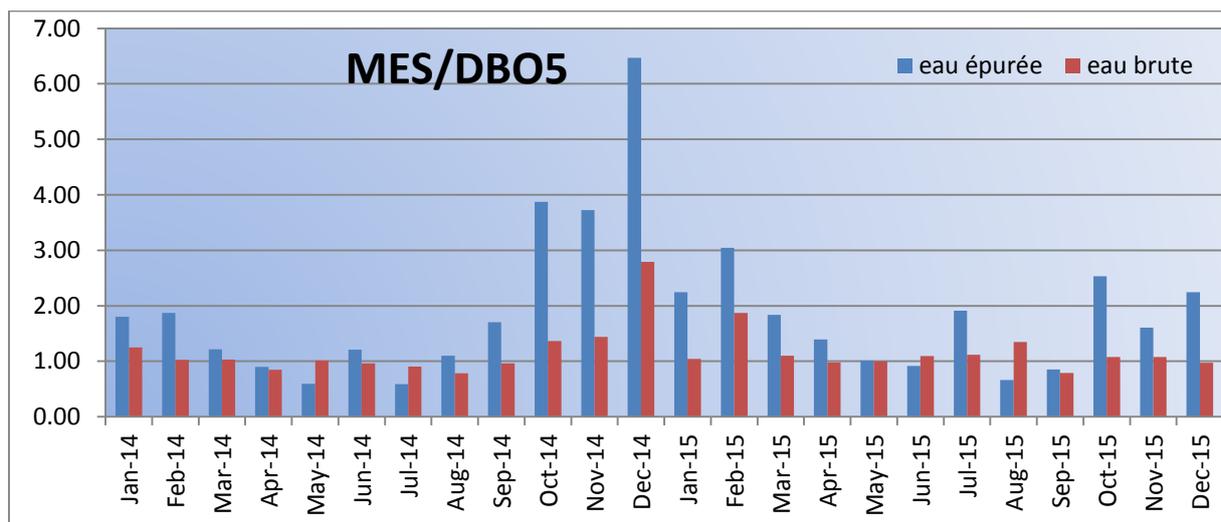


Figure 6.16 variation du ratio MES/DBO5 durant la période de janvier 2014 à décembre 2015 pour la STEP de Beni Messous

Ce rapport indique la répartition de la pollution particulaire représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la DBO_5 .

Au niveau du réseau d'assainissement, en amont de la STEP, ce ratio varie entre 0,78 mg/l et 2,79 mg/l avec une moyenne de 1,16 mg/l, la pollution est plutôt particulaire que dissoute.

3.4. Étude du traitement du phosphore DCO/Pt

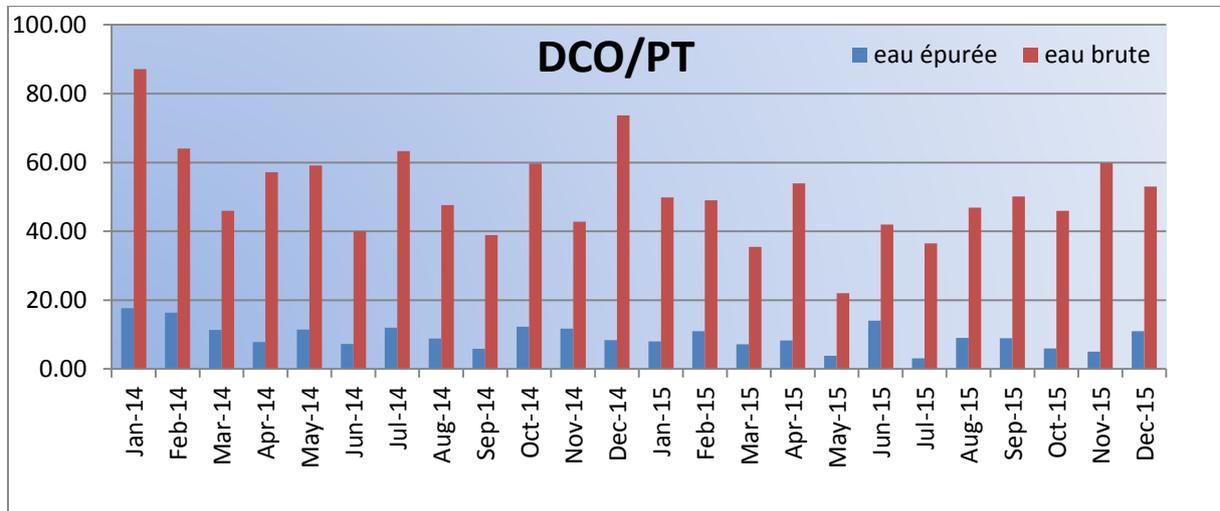


Figure 6.17 Évolution du rapport DCO/Pt durant la période de janvier 2014 à décembre 2015 au niveau de la STEP de Beni Messous

Le rapport DCO/Pt indique la faisabilité d'une déphosphatation biologique, la mixité relative de l'effluent ainsi que les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore.

Ainsi, à l'entrée de la STEP, on voit que les valeurs de ce ratio varient entre 22,06 mg/l et 87,12 mg/l avec une moyenne de 51 mg/l.

À la sortie de la STEP, on voit clairement une diminution de ce taux avec des valeurs extrêmes qui varient entre 3,13 mg/l et 17,63 mg/l et une moyenne de 9,44 mg/l.

Le rapport DCO/Pt très élevé (supérieur à 50) à l'entrée et indique une bonne aptitude au traitement biologique du phosphore, on peut exclure donc une installation d'un poste de traitement physico-chimique dans la station de Beni Messous ; d'ailleurs on voit clairement que le traitement biologique du phosphore s'est fait avec succès à la sortie.

3.5. Degré d'ammonification NH_4^+/NTK

L'azote des effluents à traiter arrive dans le réseau principalement sous forme organique. Son transit dans le réseau modifie les proportions de NH_4^+ et NTK en faveur de la forme ammoniacale selon le temps de séjour, la température et l'oxygénation, ce degré d'ammonification est donné par le ratio NH_4^+/NTK .

Afin de caractériser la pollution azotée apportée par l'effluent, nous déterminons son degré d'ammonification. Pour un effluent urbain classique, le rapport NH_4^+/NTK est compris entre 0,6 et 0,8.

Dans le cas de notre STEP, ce rapport oscille autour de 0,84 caractérisant un réseau long permettant partiellement la minéralisation de NTK sous forme de NH_4^+ .

3.6. Degré de nitrification DCO/NTK

Le ratio DCO/NTK montre l'influence de la charge organique appliquée. Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d'abattement de l'azote global. « Plus ce rapport est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée ».

DCO/NTK de l'entrant joue un rôle essentiel sur la concentration en biomasse autotrophe (et donc sur la vitesse maximale de nitrification).

Plus l'effluent est riche en azote ($\text{DCO}/\text{NTK} < 11,5$), plus la charge massique maximale applicable est faible.

Dans le cas de la STEP de Beni Messous, ce rapport est égal à 6,70.

4. File énergie :

4.1. Énergie électrique totale consommée :

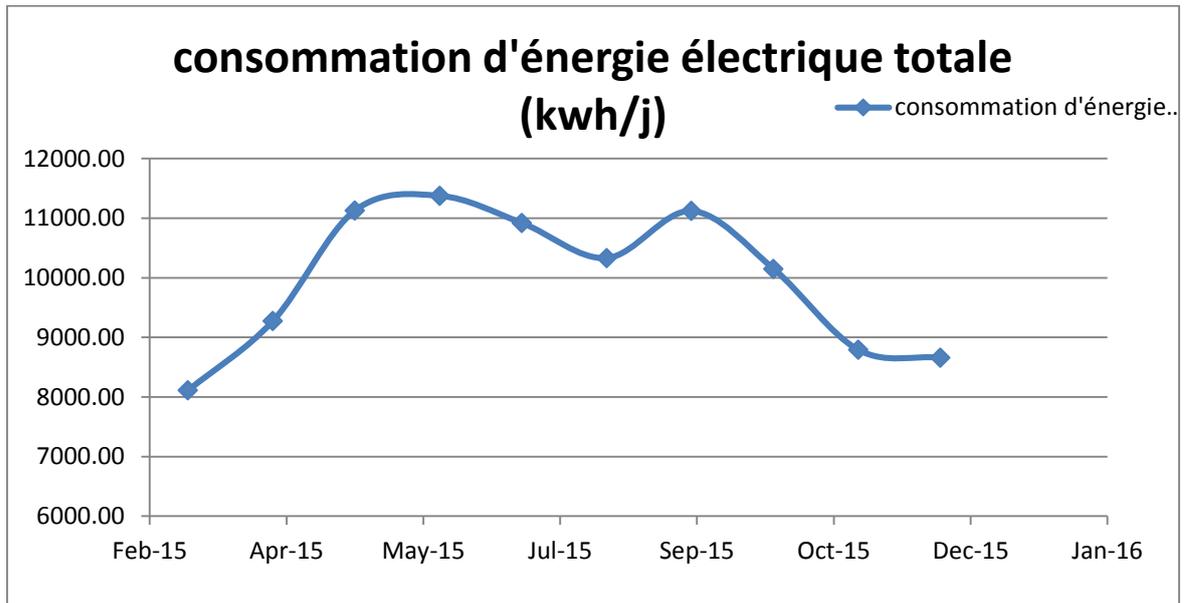


Figure 6.18 Évolution de la consommation énergétique totale de la STEP de Beni Messous de mars à décembre 2015

La consommation de l'énergie électrique au niveau de la STEP de Beni Messous durant la période mars à décembre 2015 oscille entre 8110 kWh/j et 11375 kWh/j avec une moyenne journalière de 9987 kWh/j.

Cette surconsommation énergétique est le résultat de l'augmentation de la période de marche des aérateurs correspondant à un temps supplémentaire de fonctionnement de 2 heures par jour [16]

4.2. Efficacité de l'énergie hydraulique mensuel (Rapport kWh d'énergie consommée / m³ d'eau traitée)

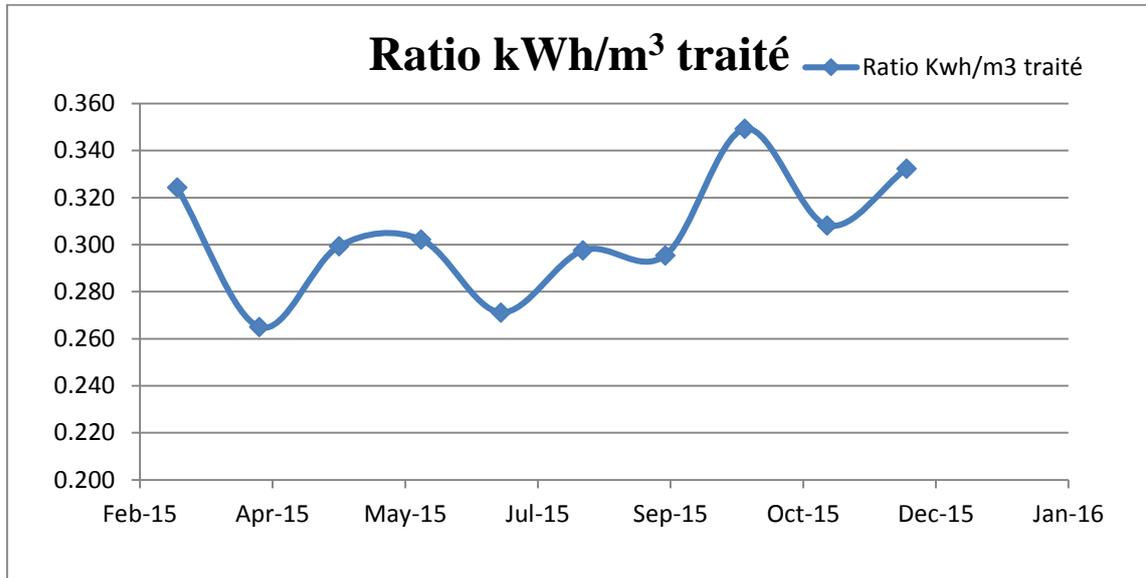


Figure 6.19 Évolution de l'efficacité énergétique hydraulique de la STEP de Beni Messous (mars à décembre 2015)

Les valeurs moyennes du ratio s'étalent de 0,265 kWh/m³ à 0,349 kWh/m³ avec une moyenne de 0,304 kWh/m³.

On remarque une augmentation de l'efficacité énergétique hydraulique durant la période septembre 2015 par rapport aux mois précédents, cela s'explique par le by-pass effectué et la consommation énergétique élevé durant ce mois.

5. Conclusion :

Les eaux usées traitées par la station d'épuration de Beni Messous sont des effluents urbains à dominance domestique.

Les analyses physico-chimiques des eaux épurées révèlent une conformité de la majorité des paramètres aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation.

Les eaux de la station de Beni Messous contiennent des quantités importantes de phosphores et nitrates qui dépassent largement les normes OMS.

Néanmoins, ces eaux, pourront être utilisées en agriculture sous certaines réserves.

Conclusion générale :

Dans le cadre de notre étude, nous nous sommes intéressés au fonctionnement de la station d'épuration de Beni Messous afin de déceler les dysfonctionnements liés à cette station et essayer d'aboutir à une amélioration des performances épuratoires de cette station.

Nous avons commencé par l'interprétation des paramètres de pollution puis le suivi des rendements épuratoires. Les résultats obtenus sont les suivants :

❖ *Paramètres physico-chimique :*

Les valeurs des paramètres physico-chimiques ne constituent globalement aucun gêne au traitement biologique et répondent aux objectifs de la STEP en termes de réutilisation des eaux à l'irrigation. Mais certaines anomalies ont été détectées :

- ✓ l'oxygène dissous est élevé en période estivale.
- ✓ la minéralisation reste assez élevée, ce qui rend l'eau utilisable qu'avec une certaine restriction.

❖ *Rendement épuratoires :*

Les rendements épuratoires restent très satisfaisants avec des degrés d'abattement qui se situent entre 67% et 98% et répondent aux normes de la STEP en termes de réutilisation pour l'irrigation et le rejet en mer. Cependant, la pollution azotée pose quelques problèmes pour son élimination, elle est due à l'eutrophisation. Il faudra donc régler le problème d'oxygénation dans les bassins d'aération afin d'éliminer ce dysfonctionnement.

❖ *Indicateurs de performance :*

- ✓ DCO/DBO₅ : l'effluent est dans tout les cas facilement biodégradable vu l'absence des rejets industriels, et peut être traité biologiquement.
- ✓ C/N/P : le phosphore et l'azote sont le plus souvent supérieurs à la norme ce qui tend un déséquilibre en nutriments, et donc un handicap pour le traitement biologique
- ✓ MES/DBO₅ : la pollution est d'origine particulière.
- ✓ DCO/P_T : Ce ratio indique une possibilité au traitement biologique du phosphore.
- ✓ NH₄⁺/NTK : Le ratio indique un bon degré d'ammonification de l'azote et une bonne minéralisation du NTK sous forme de NH₄⁺, caractérisant un réseau long.

- ✓ DCO/NTK : les valeurs basses de ce ratio indique que la charge massique applicable est faible.

Avant que l'eau épurée de la STEP puisse être réutilisée en irrigation on doit s'assurer que :

- ♣ Les analyses des sels minéraux sont toutes disponibles et sont toutes conformes aux normes (B, Cl,...).
- ♣ Des analyses sur les métaux lourds sont effectuées et comparées avec les normes (cette étude a été faite en master)
- ♣ Des analyses sur les carbonates et les bicarbonates sont mesurées et comparées aux normes car leur mesure nous informe sur l'alcalinité de l'eau.
- ♣ Une quantification exacte de tous les paramètres microbiologiques notamment les nématodes intestinaux et les coliformes fécaux est effectuée et une comparaison complète avec les normes est faite
- ♣ Il existe une convenance réglementaire entre le choix de la culture à irriguer et l'eau épurée

Références bibliographiques

- [1] H. DHAOUDI : Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration, Université Virtuelle de Tunis, 2008.
- [2] M.NAKIB, A. BERREKSI, A. KETTAB, S.KHALED, W.BOUMALEK : Étude des Ratios Indicateurs de Pollution des Effluents Bruts de la ville de Jijel (Algérie).
- [3] R. PRONOST : Conception et dimensionnement des stations d'épuration à boues activées
- [3]' N. TARIQ : « Pollution de l'eau », Conférence internationale Paris. Vol 10, PP17-20, 1974.
- [4] Ministère de L'Environnement du Maroc : « Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc » N° 5062 du 30 ramadan 1423. Rabat, 2002.
- [5] N. GHADBANE : Les eaux usées urbaines, Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de magister : Université Mohamed Boudiaf Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur : Département de Gestion et Techniques Urbaines.
- [6] J. LESAVRE : Épuration des eaux résiduaires urbaines : nature et paramètres de pollution.
- [7] Analyse et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température : thèse école doctorale sciences pour l'ingénieur ULP – ENSAIS – ENGEES – URS, 2002.
- [8] GAËLLE, DERONZIER, CHOUBERT : Traitement du phosphore dans les petites stations d'épuration à boues activées, 1998.
- [9] W.W.ECKENFELDER : Gestion des eaux usées urbaines et industrielles, Techniques et documentation (Lavoisier), Paris 1982.
- [10] C. BASSOMPIERRE : thèse de doctorat: Procédé à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : De la conception d'un pilote a la validation de modèles : Institut National Polytechnique De Grenoble, 2007.
- [11] A. GAID : Traitement des eaux usées urbaines, Technique de l'ingénieur. Mise à jour du texte de J. SIBONY et B. BIGOT, 1993.
- [12] Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement, 2005.
- [13] P. DUCHÈNE : Dysfonctionnement biologiques dans les stations d'épuration a boues activées : Actes du colloque Lyon-21 octobre 1994.
- [14] A.HANNACHI et al, Gestion et valorisation des eaux usées en algérie, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°19, Septembre 2014, p. 51-62
- [15] M.GHARZOULI, Chef de Station d'Épuration de la ville de Sétif, Office National d'Assainissement, 2014.

- [16] M. NAKIB : Étude des possibilités de valorisation des eaux épurées et des boues d'épuration dans l'agriculture. Thèse de Doctorat, ENP Alger, 2015.
- [17] Science Lib Editions Mersenne : Volume 3, N° 110703 ISSN 2111-4706.
- [18] Michael Winkler : Rapport d'application : Analyse de l'laboratoire et analyse en continu, traitement des eaux usées : éléments nutritifs.
- [19] DAUBER L. NOVAKB, Quellen und Mengen der Schmutzstoffe in egenabflusseneiner Stadtischen Mischkanalisation, ETH Zurichion eth, Separatum N° 927, 1983.
- [20] G. DAUVERGNE : Mise en place d'indicateurs de suivi et d'optimisation de stations d'épuration : Application à trois installations de type boues activées de plus de 8500 équivalents habitant, 2007.
- [21] C. DUC : Suivi et optimisation du fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de la Communauté de Communes des Trois Frontières, 2009
- [22] : H.GUERREE & C.GOMELLA, Les eaux usées dans les agglomérations urbaines et rurales, tome 1 ; la collecte, EYROLLES 2° édition, 1982.
- [23] <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/book/export/html/1218>
- [24] K.Imhoff, (1964). « Manuel de l'assainissement urbain ». Dunod édition Paris.328 pages
- [25] S.Vandermeersch, mémoire de projet de fin d'études : Étude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogène, Université Libre de Bruxelles, 2006.
- [26] A.GAÏD, Ingénieur Process, Direction technique Omnium de Traitement et de Valorisation (OTV)
- [27] M.DESHAYES : mémoire de projet de fin d'études : Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés, INSA Strasbourg, 2008.
- [28] Commission Européenne, Procédés intensifs d'épuration des eaux usées adaptées aux petites et moyennes collectivités, office nationale des publications officielles des communautés européennes, Office international de l'eau, 2001.
- [29] P. GILLES : Lutte contre la pollution des eaux : Finitions à haute performance.
- [30] J-P.CANLER – J-M.PERRET – J-M.CHOUBERT: Le traitement du carbone et de l'azote pour des stations d'épuration de type boue activée confrontées à des fortes variations de charge à des basses températures, ministère de l'agriculture et de la pêche, Document technique FNDAE n° 34 république française.
- [31] S. VANDERMEERSCH, Diplôme d'études spécialisées en gestion de l'environnement : Étude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes, IGEAT, Université Libre de Bruxelles, 2006.

Annexes

Tableau 1 les valeurs moyennes mensuelles du pH, de la température et du la conductivité de l'eau brute (EB) et de l'eau épurée (EE) durant la période janvier 2014 à décembre 2015

Date	pH		T (°c)		COND (µs/cm)	
	EE	EB	EE	EB	EE	EB
janv-14	7,66	7,85	13,28	13,39	1439,23	1476,08
févr-14	7,91	7,84	12,19	12,49	1444,71	1544,29
mars-14	7,94	7,91	12,21	12,51	1411,36	1521,93
avr-14	7,88	7,86	14,4	15,17	1479,60	1594,40
mai-14	7,88	7,78	13,22	14,12	1515,08	1612,54
juin-14	7,99	7,95	14,86	15,14	1486,29	1590,36
juil-14	8,04	7,91	17,20	17,29	1556,86	1617,62
août-14	7,93	7,82	18,45	18,69	1412,43	1533,86
sept-14	7,84	7,81	17,55	24,11	1494	1628,15
oct-14	7,84	7,73	16,22	21,77	1416,75	1506
nov-14	7,85	7,81	14,21	18,28	1445,97	1539,65
déc-14	7,61	7,69	13,03	15,49	1466,86	1562,67
janv-15	7,86	7,85	16,18	17,24	1466,18	1566,44
févr-15	7,49	7,56	10,24	13,84	1236,64	1363,96
mars-15	7,57	7,43	11,87	14,71	1630,36	1755,29
avr-15	7,68	7,62	14,03	18,36	1703	1972,45
mai-15	7,66	7,56	18,46	21,78	2330,14	2447,07
juin-15	7,68	7,68	19,42	23,43	2393,33	2506,67
juil-15	7,72	7,83	21,72	25,42	2057,69	2145,69
août-15	7,53	7,68	20,95	26,15	1532,88	2050,71
sept-15	7,67	7,64	18,21	23,82	1964,15	2161,15
oct-15	7,7	7,71	18,29	20,75	1669,36	1792
nov-15	7,69	7,74	16,77	18,90	1404,82	1487,27
déc-15	7,55	7,54	11,35	15,30	1489,46	1612,38
Min	7,49	7,43	10,24	12,49	1236,64	1363,96
Moyenne	7,76	7,74	15,60	18,26	1601,95	1732,86
Max	8,04	7,95	21,72	26,15	2393,33	2506,67

Tableau 2 : Les concentrations moyennes mensuelles des MES et de DBO5 en mg/l et le rapport MES/DBO5 des eaux brutes (EB) et eaux épurées (EE) durant la période janvier 2014 à décembre 2015.

Mois	MES (mg/l)		DBO5 (mg/l)		MES/DBO5	
	EE	EB	EE	EB	EE	EB
janv-14	11,50	174,46	6,39	139,67	1,80	1,25
févr-14	13,34	164,07	7,14	160,27	1,87	1,02
mars-14	6,44	134,21	5,29	130,20	1,22	1,03
avr-14	5,02	179,70	5,57	212,29	0,90	0,85
mai-14	8,59	205	14,43	202,33	0,60	1,01
juin-14	11,35	168,14	9,37	174,5	1,21	0,96
juil-14	13,27	176,57	22,46	195,38	0,59	0,90
août-14	9,23	175,00	8,375	223,75	1,10	0,78
sept-14	10,55	169,54	6,19	175,78	1,70	0,96
oct-14	12,97	185,25	3,35	135,63	3,87	1,37
nov-14	19,69	225,54	5,29	156,38	3,72	1,44
déc-14	16,17	215,10	2,5	77	6,47	2,79
janv-15	8,75	175,33	3,90	168,13	2,24	1,04
févr-15	7,38	215,14	2,42	115	3,04	1,87
mars-15	8,50	158,21	4,63	144	1,83	1,10
avr-15	5,66	168,64	4,07	172,29	1,39	0,98
mai-15	8,62	142,50	8,52	142,67	1,01	1,00
juin-15	7,11	140,25	7,78	128,00	0,91	1,10
juil-15	10,50	138,77	5,5	124,125	1,91	1,12
août-15	7,56	196,77	11,36	146	0,67	1,35
sept-15	9,69	135,15	11,39	170,75	0,85	0,79
oct-15	11,85	133,09	4,68	123,63	2,54	1,08
nov-15	8,02	138,73	4,99	128,88	1,61	1,08
déc-15	8,4	159,43	3,74	164,1	2,25	0,97
Min	5,02	133,09	2,42	77,00	0,59	0,78
Moyenne	10,01	169,78	7,06	154,61	1,89	1,16
Max	19,69	225,54	22,46	223,75	6,47	2,79

Tableau 3 : les concentrations moyennes mensuelles de la DBO₅, du N-NH₄⁺ et du P-PO₄⁻³ exprimés en mg/l des eaux brutes (EB) et des eaux épurées (EE) pour le calcul du rapport C/N/P durant la période janvier 2014 à décembre 2015

Mois	DBO ₅ (mg/l)		N-NH ₄ ⁺ (mg/l)		P-PO ₄ ⁻³ (mg/l)	
	EE	EB	EE	EB	EE	EB
janv-14	6,39	139,67	0,21	15,82	1,17	1,35
févr-14	7,14	160,27	1,80	19,08	1,45	2,18
mars-14	5,29	130,20	0,25	25,02	1,42	1,92
avr-14	5,57	212,29	0,50	21,27	2,00	2,28
mai-14	14,43	202,33	4,72	24,18	2,63	2,22
juin-14	9,37	174,5	1,96	22,1	2,22	2,72
juil-14	22,46	195,38	4,34	27,43	2,33	2,43
août-14	8,375	223,75	1,71	23,4	1,985	3,095
sept-14	6,19	175,78	1,05	25,38	2,56	3,608
oct-14	3,35	135,63	3,45	18,63	1,96	2,14
nov-14	5,29	156,38	1,08	23,68	2,43	5,87
déc-14	2,5	77	0,20	27,07	2,64	2,65
janv-15	3,90	168,13	0,392	17,35	1,885	3,375
févr-15	2,42	115	0,876	16,48	1,736	3,522
mars-15	4,63	144	0,20	19,60	2,25	5,20
avr-15	4,07	172,29	0,24	20,38	1,745	3,2775
mai-15	8,52	142,67	2,23	24,03	3,47	7,245
juin-15	7,78	128	1,10	17,66	1,904	2,808
juil-15	5,50	124,13	0,46	2,01	2,984	2,892
août-15	11,36	146	1,21	25,7	3,498	7,392
sept-15	11,39	170,75	-	-	2,425	3,4175
oct-15	4,68	123,63	-	-	1,16	2,31
nov-15	4,99	128,88	-	-	2,25	1,76
déc-15	3,74	164,1	-	-	2,20	3,19
Min	2,42	77,00	0,20	2,01	1,16	1,35
Moyenne	7,06	154,61	1,40	20,81	2,18	3,29
Max	22,46	223,75	4,72	27,43	3,50	7,39

Tableau 4 : Les concentrations moyennes mensuelles de la DCO, du phosphore total P_T et du rapport DCO/ P_T en mg/l pour les eaux brutes (EB) et eaux épurées (EE) de janvier 2014 à décembre 2015

Mois	DCO (mg/l)		P_T (mg/l)		DCO/ P_T	
	EE	EB	EE	EB	EE	EB
janv-14	19,96	196,89	1,13	2,26	17,63	87,12
févr-14	32,16	202,07	1,96	3,16	16,39	64,03
mars-14	17,60	163,14	1,54	3,55	11,40	45,96
avr-14	16,88	259,60	2,16	4,54	7,81	57,18
mai-14	25,40	245,76	2,22	4,16	11,46	59,15
juin-14	17,97	219,02	2,48	5,48	7,23	39,98
juil-14	29,62	276,75	2,48	4,37	11,97	63,29
août-14	18,5	264,25	2,09	5,54	8,84	47,68
sept-14	16,70	237,19	2,85	6,09	5,86	38,94
oct-14	28,56	213,36	2,325	3,58	12,28	59,68
nov-14	19,05	213,41	1,625	4,98	11,72	42,83
déc-14	16,32	196,38	1,95	2,66	8,35	73,73
janv-15	18,08	215,98	2,26	4,34	8	49,82
févr-15	25,21	231,43	2,3	4,72	10,96	49,01
mars-15	19,95	221,74	2,78	6,26	7,19	35,44
avr-15	18,48	271,88	2,23	5,04	8,28	53,94
mai-15	20,74	222,12	5,33	10,07	3,89	22,06
juin-15	51,06	223,48	3,63	5,33	14,08	41,96
juil-15	14,47	177,72	4,62	4,87	3,13	36,48
août-15	28,59	257,07	3,17	5,48	9,03	46,93
sept-15	29,39	230,10	3,28	4,59	8,97	50,10
oct-15	16,32	194,71	2,74	4,23	5,95	45,99
nov-15	16,31	191,95	3,23	3,21	5,05	59,80
déc-15	25,99	273,39	2,37	5,15	10,96	53,05
Min	14,47	163,14	1,13	2,26	3,13	22,06
Moyenne	22,64	224,98	2,61	4,74	9,44	51,01
Max	51,06	276,75	5,33	10,07	17,63	87,12

Tableau 5 : Les concentrations moyennes mensuelles des dérivées de l'azote : NH_4 , NO_3 et NO_2 pour les eaux brutes (EB) et les eaux épurées (EE) durant la période allant de janvier 2014 à décembre 2015

Mois	NH_4		NO_3		NO_2	
	EE	EB	EE	EB	EE	EB
janv-14	0,27	20,34	59,27	8,95	0,88	2,48
févr-14	2,32	24,53	59,58	6,56	0,89	2,19
mars-14	0,32	32,17	74,22	8,92	0,38	2,69
avr-14	0,64	27,34	71,00	3,88	1,50	1,04
mai-14	6,07	31,08	60,23	8,48	2,83	2,20
juin-14	2,51	28,41	62,89	6,16	1,94	2,15
juil-14	5,58	35,26	59,45	5,21	10,59	2,40
août-14	2,20	30,09	65,99	7,57	2,45	2,35
sept-14	1,35	32,63	61,65	2,80	1,95	0,47
oct-14	4,43	23,95	55,57	4,27	0,86	0,69
nov-14	1,38	30,44	68,53	3,68	0,60	0,87
déc-14	0,26	34,80	67,17	4,31	0,25	1,63
janv-15	0,50	22,31	59,66	5,21	0,38	1,79
févr-15	1,13	21,19	44,18	6,32	1,18	0,96
mars-15	0,26	25,20	70,86	3,85	0,64	1,22
avr-15	0,30	26,20	75,95	3,69	0,70	0,81
mai-15	2,86	30,89	69,75	2,89	1,82	0,61
juin-15	1,41	22,71	45,38	2,22	2,64	0,38
juil-15	0,60	2,58	46,76	2,72	0,31	1,73
août-15	1,56	33,04	63,09	2,08	4,23	1,45
sept-15	-	-	49,80	2,29	28,65	0,44
oct-15	-	-	52,29	3,43	1,85	2,32
nov-15	-	-	62	5,60	0,33	0,67
déc-15	-	-	83,79	2,80	3,52	0,62
Min	0,26	2,58	44,18	2,08	0,25	0,38
Moyenne	1,80	26,76	62,04	4,75	2,97	1,42
Max	6,07	35,26	83,79	8,95	28,65	2,69

Il y a un manque de données car le matériel à échantillonner n'était plus disponible

Tableau 6 Les concentrations moyennes mensuelle d'oxygène dissous dans les deux bassins d'aération de la STEP de Beni Messous durant la période allant de janvier 2014 à décembre 2015

Mois	BA1	BA2
janv-14	2,34	2,53
févr-14	2,67	2,76
mars-14	2,53	2,62
avr-14	1,93	2,03
mai-14	1,81	1,79
juin-14	2,05	2,14
juil-14	2,31	2,30
août-14	2,63	2,63
sept-14	2,94	2,97
oct-14	2,95	2,94
nov-14	2,90	2,95
déc-14	3,17	3,38
janv-15	3,12	3,03
févr-15	3,14	3,10
mars-15	2,46	2,46
avr-15	2,30	2,18
mai-15	1,79	1,76
juin-15	2,00	2,06
juil-15	1,73	1,74
août-15	1,74	1,76
sept-15	1,70	1,63
oct-15	1,88	1,91
nov-15	1,64	1,65
déc-15	1,92	1,97
Min	1,64	1,63
Moyenne	2,25	2,26
Max	3,17	3,38