

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة – د. مولاي الطاهر
UNIVERSITÉ DE SAÏDA – Dr MOULAY TAHAR



Faculté de technologie

Département de génie civil et de l'hydraulique

PROJET DE FIN DE CYCLE

Présenté pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Impact du taux d'oxygène dans le bassin d'aération d'une station d'épuration à boues activées

Présenté par :

TAHIR Bouchra

BESSAFI Wassila

Soutenu le 14 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

M ^{me} KIES Souad	Université Dr MOULAY Tahar de Saida	Présidente
M ^{me} ZAIRI Souad	Université Dr MOULAY Tahar de Saida	Encadrante
M ^{me} DIAF Meriem	Université Dr MOULAY Tahar de Saida	Examinatrice

Année universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions le bon Dieu qui nous à donner la santé, le courage, la volante et la patience pour mener à bien ce travail.

Nous remercions nos parents qui nous ont soutenues financièrement et moralement.

Nos sincères remerciements à notre vertueuse enseignante, Mme ZAIRI Souad de nous avoir encadrées, guidées et accompagnées dans ce travail, ainsi que sa compréhension et ses précieux conseils qui nous ont aidées dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.

Nous exprimons notre sincère gratitude et notre respect à M. RAMAS.H et M. NABI.W et à tous les ingénieurs de l'ONA en charge de la station d'épuration de Saida.

On tient également à remercier Mr MOUHEND AMER.H, Mademoiselle OTMANI.K et tous les responsables de la Direction des Ressources en Eau de Saida.

Nos remerciements s'adressent aussi aux Mr KHERCHOUCH.A et aux ingénieurs du bureau d'étude URBOR.

Nous tenons à présenter nos vifs remerciements à tous les membres de jury qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail.

Sans oublier tous les enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours d'études.

DEDICACES

Bouchra

*Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance et en témoignage de ma
profonde affection :*

À celle qui m'a donné la vie, ma mère, la chérie de mon âme.

À celui qui m'a soutenu tout au long de ma vie, mon père, l'âme de mon cœur.

À ma seconde moitié, mon amour, mon seul frère, Abd al-Rahman.

À ma copine et mon binôme WASSILA.

À ma vertueuse enseignante ZAIRI.S

À mes chers grands parents MOULAY.A et HALIMA.

*À la mémoire de mes chers grands parents MESSAOUD.A et TAHIR.B qui ne peuvent pas assister à
mon premier pas vers la réussite.*

À tous mes amis et mes proches.

À toute la famille TAHIR et la famille MOULAY.

DEDICACES

Wassila

Merci ALLAH de m'avoir donné la force et la patience afin d'atteindre mon objectif tant recherché.

Je dédie ce mémoire :

À mon père, qui n'a pas pu voir mon travail, aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, mon amour et ma reconnaissance pour les sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et mon bien-être. Merci pour tout le soutien et l'amour que tu m'as apporté depuis mon enfance.

Je demande à Dieu d'avoir pitié de toi avec sa grande miséricorde.

À ma belle maman 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 mon frère ABDELHAKÉ et ma petite sœur IMANE.

À mon oncle BAGHDAD et sa femme WAHIBA et ses petits SABRINA et AYA.

À mon cher binôme BOUCHRA pour son courage qui nous a permis d'achever ce travail malgré tout ce que nous avons enduré, pour les beaux moments que nous avons passés ensemble.

À mon encadreur Mme ZAÏRI Souad pour tous les conseils.

À toute la promotion 2023.

Résumé

Les problèmes liés à l'oxydation biochimique des matières organiques et la transformation de l'azote ammoniacal en nitrate dans le bassin d'aération limitent la fiabilité des stations d'épuration à boues activées. Leur maîtrise est parfois très délicate pour les exploitants de ces installations. L'aération des bassins biologique de la station d'épuration de Saida est effectuée à l'aide de douze (12) aérateurs mécaniques pour répondre aux besoins journaliers en oxygène de la STEP. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de la variation du taux d'oxygène dans le bassin d'aération sur l'élimination de la charge polluante, et le contrôle des paramètres de performance d'aération pour obtenir une bonne élimination des différentes formes de pollution selon le fonctionnement de la STEP.

Les résultats obtenus démontrent que les effluents renferment des polluants organiques biodégradables, le rapport de biodégradabilité est inférieur à deux ($DBO_5/DCO < 2$). Le rendement épuratoire de la STEP dépasse les 95% pour la pollution caractérisée par la DBO_5 , DCO et MES. L'estimation des besoins journaliers en oxygène (AOR) des bassins d'aération pour assurer ce rendement épuratoire est d'une moyenne de 15853,41kg O_2 /j. La corrélation démontre que l'AOR varie en fonction de la variation de la charge polluante.

Mots-clés : Boues activées ; Aération ; Charge polluante ; Besoins en oxygène ; Rendement épuratoire.

Abstract

Problems related to the biochemical oxidation of organic matter and the transformation of ammoniacal nitrogen into nitrate in the aeration basin limit the reliability of activated sludge treatment plants. Their control is sometimes very difficult for the operators of these facilities. The aeration of the biological basins of the Saida wastewater treatment plant is carried out using twelve (12) mechanical aerators to meet the daily oxygen needs of the WWTP. The objective of this work is to evaluate the impact of the variation of the oxygen rate in the aeration basin on the elimination of the polluting load, and the control of the aeration performance parameters for obtain a good elimination of the different forms of pollution according to the operation of the WWTP.

The results obtained show that the effluents contain biodegradable organic pollutants, the biodegradability ratio is less than two ($COD/BOD_5 < 2$). The wastewater treatment efficiency of the WWTP exceeds 95% for pollution characterized by BOD_5 , COD and MES. The estimate of the daily oxygen requirements (AOR) of the aeration basins to ensure this purification performance is an average of 15853.41 kg O_2 /d. The correlation shows that the AOR varies according to the variation of the pollutant load.

Keywords: Activated sludge; Ventilation; Pollution load; Oxygen needs; Purification yield.

ملخص

المشاكل المتعلقة بالأكسدة الكيميائية الحيوية للمواد العضوية وتحويل نشادر النيتروجين إلى نيترات في حوض التهوية تحد من مصداقية محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالحماة المنشطة. أحيانا يكون التحكم فيها صعب جدا بالنسبة لمشغلي هذه المرافق. يتم تهوية الأحواض البيولوجية لمحطة معالجة مياه الصرف الصحي في سعيدة باستخدام اثنتي عشرة (12) جهاز تهوية ميكانيكي لتلبية احتياجات الأكسجين اليومية للمحطة. الهدف من هذا العمل هو تقييم تأثير تباين معدل الأكسجين في حوض التهوية على التخلص من الحمل الملوث، والتحكم في معايير أداء التهوية للحصول على التخلص الجيد من مختلف أشكال التلوث حسب تشغيل محطة معالجة مياه الصرف الصحي.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مياه الصرف الصحي تحتوي على ملوثات عضوية قابلة للتحلل، و نسبة التحلل البيولوجي أقل من اثنين، ($DCO/DBO_5 < 2$) يتجاوز عائد محطة معالجة مياه الصرف الصحي 95% بالنسبة للتلوث الذي يتميز ب: DBO_5 ، DCO و MES . تقدر متطلبات الأكسجين اليومية (AOR) لأحواض التهوية لضمان أداء التنقية هذا بمتوسط 15853,41 كغ أكسجين / يوم. يوضح الارتباط أن AOR يختلف باختلاف حمل الملوث.

الكلمات المفتاحية: الحماة النشطة، تهوية، حمل الملوث، متطلبات الأكسجين، عائد التنقية.

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Théorie de la transformation de la matière organique.....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Évaluation de la pollution	3
I.3 Les différentes formes de pollution	5
I.3.1 Les matières en suspension.....	6
I.3.2 Les composés organiques	6
I.3.3 Les composés azotés	6
I.4 Mécanisme biologique de transformation de la matière organique	8
I.4.1 Dégradation de la pollution carbonée	8
I.4.2 Dégradation de la pollution phosphorée	8
1. Déphosphatation biologique.....	8
2. Déphosphatation physico-chimique	9
I.4.3 Dégradation de la pollution azotée	10
1. L'ammonification	10
2. Assimilation.....	10
3. Nitrification	11
4. Dénitrification	12
4.1 Zone d'anoxie en tête.....	13
4.2 Syncopage de l'aération.....	13
I.5 Conclusion	14
Chapitre II : Collecte et épuration des eaux usées.....	15
II.1 Introduction	15
II.2 Une station d'épuration	15
II.3 Les procédés de traitement des eaux usées.....	15
II.3.1 Les prétraitements :	17
1. Dégrillage	17
2. Dessablage.....	18
3. Déshuilage-dégraissage	18
II.3.2 Les traitements primaires.....	18
1. La décantation physique (naturelle)	18
2. La décantation physico-chimique.....	19

TABLE DES MATIERES

3. La flottation	19
II.3.3 Les traitements secondaires	19
1. Les procédés biologiques extensifs	19
2. Les procédés biologiques intensifs	21
II.3.4 Les traitements tertiaires	22
II.3.5 Traitement des boues	23
II.4 Conclusion	23
Chapitre III : Aération des bassins à boues activées	24
III.1 Introduction	24
III.2 Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées	24
III.3 Caractéristiques de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées	25
III.3.1 La charge polluante en DBO_5	25
III.3.2 La charge volumique CV	26
III.3.3 La charge massique C_m	26
III.3.4 La production des boues	26
III.3.5 L'âge des boues	27
III.3.6 Les besoins en oxygène	27
III.3.7 Le temps de séjour t_s	29
III.3.8 L'indice de boue	29
III.3.9 Le taux de recyclage	30
III.4 Le bassin biologique	31
III.4.1 Rôle et emplacement du bassin aéré dans une station d'épuration	31
III.5 L'aération	32
III.5.1 Les systèmes d'aération dans les stations d'épuration	33
III.5.2 Détermination des performances des aérateurs	35
1) Les besoins réels en oxygène (AOR)	35
2) Le taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé (OTR)	36
III.6 Le brassage	39
III.7 Techniques d'acquisition de données sur les gradients d'oxygène	39
III.7.1 Détermination des gradients d'oxygène par mesure directe	39
III.7.2 Etudes par simulation numérique	39
III.8 Impact de la variation du taux d'oxygène dissous dans le réacteur	39
III.8.1 Les bactéries filamenteuses	40

TABLE DES MATIERES

III.8.2 Les problèmes liés aux bactéries filamenteuses	40
III.9 L'énergie électrique dans le bassin d'aération	41
III.10 SCADA (supervisory control and data acquisition).....	41
III.11 Conclusion.....	43
Chapitre IV : Matériels et méthodes	45
IV.1 Matériels et méthodes	45
IV.2 Description du site	45
IV.3 Protocole expérimental	47
IV.4 Données techniques fondamentales	47
IV.5 Les étapes d'épuration	48
IV.5.1 Prétraitement	48
IV.5.2 Le traitement biologique	50
IV.5.3 Les paramètres de dimensionnement du traitement biologique.....	52
IV.6 Bassin d'aération.....	52
IV.7 Dispositifs d'aération	53
IV.7.1 Les modes de fonctionnement des aérateurs.....	54
IV.7.2 Séquence de démarrage.....	54
IV.8 Poste de pompage des boues secondaires	56
IV.8.1 Boues de recirculation.....	56
IV.8.2 Les modes de fonctionnement des pompes de recirculation.....	56
IV.8.3 Boues en excès	57
IV.8.4 Age des boues	57
IV.9 Dysfonctionnement d'exploitation.....	57
IV.10 Consommation d'énergie	59
IV.11 Salle de commande	59
IV.12 Conclusion	61
Chapitre V : Résultats et discussions.....	62
V.1 Introduction	62
V.2 Analyse des données	62
V.2.1 Les paramètres physico-chimiques des eaux.....	62
V.2.2 Les paramètres de pollution des eaux.....	65
V.3 Détermination des paramètres fondamentaux du bassin d'aération.....	71
1) La charge polluante	71

TABLE DES MATIERES

2) La charge massique	72
3) La production journalière de boues (Δ MES).....	72
4) L'Age des boues.....	73
5) La recirculation	74
V.4 Estimation du besoin d'oxygène	74
V.4.1 Estimation du besoin réel d'oxygène (AOR)	74
V.4.2 Estimation du taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé OTR.....	76
V.5 Estimation de consommation mensuelle d'énergie électrique	79
V.6 Conclusion.....	80
Conclusion générale.....	81
Références bibliographiques.....	82
Annexes	85

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 Elimination biologique du phosphore.....	9
Figure I.2 Mécanisme de dégradation des matières organiques dans les procédés biologiques.....	12
Figure II.1 Les étapes d'une filière de traitement des eaux usées.....	16
Figure II.2 Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP.....	17
Figure II.3 Schéma d'un procédé à boues activées.....	22
Figure III.1 Principe de fonctionnement d'une station à boues activées.....	25
Figure III.2 Les besoins en oxygène.....	28
Figure III.3 Schéma de l'emplacement du bassin aéré dans le processus d'épuration.....	32
Figure III.4 L'aération dans les STEP à boues activées.....	33
Figure III.5 Aérateurs de surface.....	34
Figure III.6 Hydro-éjecteur.....	34
Figure III.7 Diffuseurs à fines bulles situés au fond d'un bassin à boues activées.....	35
Figure III.8 Bactéries filamenteuses (image de floccs et filaments lors d'un foisonnement).....	40
Figure IV.1 Localisation du site d'étude.....	46
Figure IV.2 Les principaux collecteurs dirigés vers la STEP de Saida.....	47
Figure IV.3 Les ouvrages de prétraitements de la STEP de Saida.....	49
Figure IV.4 Traitement biologique dans la STEP de Saida.....	51
Figure IV.5 Mode de fonctionnement du réacteur.....	53
Figure IV.6 Sonde à oxygène de la STEP de Saida.....	53
Figure IV.7 Schéma explicatif des séquences de démarrage des aérateurs de la STEP de Saida.....	54
Figure IV.8 Calendrier de mode temps.....	55
Figure IV.9 Schéma explicatif de la méthode d'arrêt des aérateurs de la STEP de Saida.....	56
Figure IV.10 Les éléments de contrôle de la STEP de Saida.....	60
Figure V.1 Variation journalière du débit entré à la station.....	63
Figure V.2 Variation journalière de la température.....	64
Figure V.3 Evaluation journalière du Ph.....	64
Figure V.4 Variation journalière de la DBO ₅	65
Figure V.5 Variation de la demande chimique en oxygène DCO.....	66
Figure V.6 Variation des matières en suspension MES.....	67
Figure V.7 Pourcentage d'abattement de la DBO ₅ de la STEP de Saida pendant la période d'étude.....	68
Figure V.8 Pourcentage d'abattement de la DCO de la STEP de Saida pendant la période d'étude.....	68
Figure V.9 Pourcentage d'abattement des MES pour la STEP de Saida pendant la période d'étude.....	69
Figure V.10 Rapport de biodégradabilité.....	70
Figure V.11 Rapport de MES/DBO ₅	71
Figure V.12 Relation entre besoins réel en oxygène et charge polluante.....	76
Figure V.13 Relation entre le taux de transfert d'oxygène et le débit d'influent.....	77
Figure V.14 Relation entre le taux de transfert d'oxygène et les besoins réels en oxygène.....	78
Figure V.15 Relation entre le taux de transfert d'oxygène et la charge polluante.....	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 La relation entre la caractérisation d'une eau résiduaire et son origine	4
Tableau I.2 La classification des composés de l'effluent suivant leur taille	5
Tableau I.3 La classification des composés de l'effluent suivant leur nature	6
Tableau I.4 Analyse des eaux usées domestiques	7
Tableau III.1 Dénomination du procédé en fonction de la charge massique appliquée et valeurs indicatives des principaux paramètres du processus.....	30
Tableau III.2 Les facteurs de correction.....	37
Tableau III.3 Les performances des différents systèmes d'aération.....	38
Tableau IV.1 Dysfonctionnement avec solutions au niveau du traitement biologique.....	58
Tableau IV.2 La consommation d'énergie dans la station d'épuration de Saida.....	59
Tableau V.1 La charge polluante de la STEP de Saida.....	72
Tableau V.2 Estimation de la production et l'âge de boues.....	73
Tableau V.3 Estimation des besoins réels en oxygène (AOR).....	75
Tableau V.4 Estimation du taux de transfert d'oxygène (OTR) pour aérateur de surface.....	76
Tableau V.5 Estimation de la consommation mensuelle d'énergie électrique de la STEP de Saida.....	80

LISTE DES ABREVIATIONS

A: Age de boues.

AEP : Alimentation en eau potable.

ai, bi : Coefficients de respiration.

AOR : Besoin réels en oxygène.

C_B: Concentration en boues.

Ce: La concentration à l'entrée de la STEP.

C_L: Concentration d'oxygène dissous dans le liquide.

Cm: La charge massique.

Cs: La concentration à la sortie de la STEP.

C_{S20} : Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure à une température de 20°C et à une pression de 1 atm.

C_{ST}: Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure à une température donnée et à une pression de 1 atm.

CV: La charge volumique.

DBO : Demande biologique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

EH : L'équivalent habitant.

ERU : Eau résiduaire urbaine.

IB: Indice de boues.

IM : Indice de molhmen.

IHM: Interface homme-machine.

IRSTEA: Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture.

MES : Matières en suspension.

MVS : Matière volatile sèches.

NGL : Azote total.

NH₃: Ammoniac.

NH₄⁺: Ammonium.

NO₂⁻: Nitrites.

NO₃⁻ : Nitrates.

Norg : Azote organique.

NTK : Azote Kjeldahl.

LISTE DES ABREVIATIONS

OD : Oxygène dissous.

ONA : Office national de l'assainissement.

OTR: Taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé.

P_b : Pression barométrique.

P_s : Pression atmosphérique standard.

PH: Potentiel Hydrogène.

PLC: Contrôleurs logiques programmables.

PO₄³⁻: Orthophosphates.

Q₀: Débit d'entrée de l'effluent en station.

Q_j: Débit journalier.

Q_R: Débit de recyclage.

r : Le coefficient de corrélation.

R: Rendement épuratoire.

R: Taux de recyclage.

RTU: Unités terminales à distance.

Sa: Quantité de boues présentes dans le bassin d'aération en kg.

So : Sonde d'oxygène.

SCADA: Contrôle de supervision et acquisition de données.

SOTR: Taux de transfert d'oxygène aux conditions standards.

STEP : Station d'Épuration des eaux usées.

Teau: Température d'eau.

Ts: Temps de séjour.

V₃₀: Volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation.

V_{BA}: Volume du bassin d'aération.

ΔMES : La production journalière de boues.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les rigueurs d'un climat semi-aride, la pénurie des ressources en eau, leur fragilité et leur inégale répartition font naître un risque majeur de pénurie d'eau qui, en dépit de toutes les tentatives pour accroître l'offre, semble inéluctable. L'Algérie fait partie des pays qui souffrent des difficultés posées par le problème du "système de l'eau". La consommation ménagère en expansion, les besoins agricoles appelés forcément à augmenter, vu la nécessité, à moyen terme, d'une intensification agricole et la consommation industrielle importante ont poussé le ministère des ressources en eau, les chercheurs et les spécialistes en eau à unir leurs efforts pour développer les procédés de traitement des eaux usées.

Les stations de traitement des eaux résiduaires sont de grands systèmes non linéaires soumis à des perturbations importantes du débit et de la charge, ainsi qu'à des variations de la composition des eaux usées entrantes. Néanmoins, ces usines doivent fonctionner en continu, en respectant des réglementations de plus en plus strictes. [1]

En Algérie, depuis l'année 2018, un volume total de 10,6 milliards de m³ est consommé annuellement dans le pays à raison de 7 milliards de m³ pour l'agriculture, de 3,2 milliards de m³ pour l'alimentation en eau potable (AEP) et de 0,4 milliard de m³ pour le secteur industriel. D'après les chiffres de l'ONA en 2020, l'Algérie compte un nombre de 154 STEP en exploitation avec un volume mensuel des eaux épurées de 21 millions m³. [2] La station d'épuration de la ville de Saida prendra en charge toutes les eaux usées du groupement urbain de Saida et la commune de Sidi Maamar et Rebahia. Elle est destinée pour traiter une charge nominale de 30 000 m³/j d'eaux résiduaires déversées par une population de l'ordre de 150 000 EH. Afin de protéger la nappe de Saida, Oued Saida et les barrages en aval contre la pollution, et réutiliser l'eau traitée pour l'irrigation et les boues issues à des fins agricoles, et améliorer le cadre de vie des populations. [3]

Le procédé d'épuration de la STEP est un procédé biologique à faible charge où les matières organiques contenues dans les eaux usées sont dégradées par des bactéries mises dans des conditions favorables. [3]

Le maintien de niveaux d'oxygène dissous optimaux dans la station est nécessaire pour le traitement biologique des matières organiques et de l'ammonium. Alors que les eaux résiduaires brutes contiennent souvent certaines quantités d'oxygène, les systèmes d'aération peuvent augmenter l'oxygène dissous (OD), le mélange et la suspension des microbes par aération diffuse. Les micro-organismes aérobies utilisent cet oxygène pour décomposer les déchets organiques en sous-produits inorganiques. [4]

INTRODUCTION GENERALE

La fourniture de l'oxygène, indispensable à la vie de la biomasse épuratrice, constitue la part prépondérante de la consommation énergétique d'une station d'épuration à boues activées (50 à 80 %). Généralement, cet oxygène dissous est fourni à partir du transfert de l'air atmosphérique dans le mélange eaux - boues activées, soit par injection d'air dans l'eau, soit par projection d'eau dans l'air. Dans beaucoup de cas, les dispositifs utilisés ont une double fonction : l'aération et le brassage des boues, afin de maintenir en suspension les micro-organismes et permettre les échanges d'oxygène et de matières nutritives entre le liquide et les bactéries. [5]

Ce travail a pour objectif d'évaluer l'impact de la variation de la concentration d'oxygène dans le bassin d'aération sur les performances épuratoires (DBO₅, DCO, MES) et la consommation électrique en boues activées. Pour cela, nous avons effectué un stage à la station d'épuration de Saïda. Au cours de ce stage, l'étude de la qualité des eaux résiduaires a été réalisée dans laboratoire de l'ONA et le contrôle de l'aération a été effectué via SCADA.

Le travail présenté dans ce mémoire s'organise autour de cinq chapitres : Les trois premiers chapitres comprennent une étude bibliographique sur le sujet étudié, le quatrième et le cinquième chapitre présente l'étude de cas.

□ **Le premier chapitre** traite la théorie de la transformation de la matière organique dans les stations d'épuration à boues activées. Il présente les différentes formes de pollution des rejets d'eau résiduaire et les différents mécanismes biologiques de la transformation de ces pollutions.

□ **Le deuxième chapitre** présente les étapes principales d'épuration des eaux usées. Ensuite dans le **chapitre trois** tous les aspects liés aux grands principes d'épuration des eaux résiduaires urbaines par boues activées, les fondements théoriques de ce procédé et les mécanismes des systèmes d'aération sont présentés.

□ **Le quatrième chapitre** présente de matériels et méthodes utilisés.

□ **Le cinquième chapitre** traite les résultats obtenus.

Enfin, nous terminons notre étude par une conclusion générale où sont récapitulés les principaux résultats obtenus.



CHAPITRE I

THÉORIE DE LA TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

I.1 Introduction

Les eaux résiduaires contiennent de nombreux éléments polluants. Ces polluants s'ils se trouvent directement dans les milieux naturels perturbent les écosystèmes. Ce chapitre présente des généralités sur la pollution des eaux résiduaires et les mécanismes biologiques de transformation de la matière organique.

I.2 Évaluation de la pollution

L'effluent est un terme générique désignant une eau résiduaire urbaine (ERU) ou industrielle et, de façon générale, tout rejet liquide véhiculant une certaine charge polluante (dissoute, colloïdale ou particulaire) et recelant des composants organiques ou chimiques nuisibles à l'environnement.

Ces substances ou polluants sont nombreux et d'origine très variée. On peut les différencier en fonction : (**Tableau I.1**)

- De leur aspect physique :
 - matières en suspension
 - matières dissoutes
- De leur composition chimique :
 - matières organiques
 - matières minérales
- De leur évolution dans la nature :
 - matières rapidement biodégradables
 - matières difficilement biodégradables
 - matières non biodégradables
- De leur impact sur les espèces vivantes :
 - matières toxiques
 - matières non toxiques

Tableau I.1 La relation entre la caractérisation d'une eau résiduaire et son origine [6]

Odeurs	Couleurs	Aspects	Causes
Pas d'odeur	Jaune très clair	Translucide	Eau pluviale, Eau d'infiltration
D'œuf pourri Aigre Eau de vaisselle	Gris-noir	MES fines (à très fine) ; Génie civil corrodé	Eau septique
Aigre	Blanc crème	Mélange graisseux	Graisse/ huiles
Excréments	Gris-noir	Eau très chargée	Matière de vidange
Odeur caractéristique	Rose à arc en ciel	Film en surface	Hydrocarbures
Variations brusques	Variations brusques	Variations brusques	Eaux industrielles

L'évaluation de la pollution est donc basée sur des classifications selon les propriétés globales de l'effluent. La pollution se définit comme l'introduction dans un milieu naturel de substances provoquant sa dégradation. Les effets néfastes peuvent avoir lieu à tous les niveaux (sanitaire, écologique et économique). La classification la plus immédiate de ces composés est de les répertorier en fonction de leur taille. [7]

Tableau I.2 La classification des composés de l'effluent suivant leur taille [7]

Classification	Diamètre des particules (μm)	Caractéristique	Exemple de composé
Soluble	<0.08		Carbohydrates simples, acides aminés, acides gras volatiles, protéines, polysaccharides
Colloïdale	0.08 - 1	Limite entre phase solide et soluble	Graisses, bactéries libres, débris cellulaires,....
Supra-colloïdale	1 - 100	Matières fines en suspension, visible à l'œil nu ; Contribue à la turbidité de l'eau	Fibres cellulosesques, agrégats lipidiques, floccs bactériens, macro-protéines,...

I.3 Les différentes formes de pollution

En effet, le potentiel de pollution d'un effluent urbain est habituellement apprécié par une série d'analyses physico-chimiques complétées par des analyses spécifiques pour comprendre les modifications qu'il peut apporter au milieu récepteur. Nous citons quelques paramètres importants contrôlés dans une station d'épuration (STEP) pour minimiser les nuisances majeures apportées au milieu ambiant. [8]

Les polluants nécessitant un traitement biologique sont d'une part les matières carbonées ou organiques biodégradables qui constituent de loin la première cause de pollution des ressources en eau et, d'autre part, les matières azotées qui sont principalement présentes dans les eaux usées urbaines ou industrielles de type agro-alimentaire. Leurs conséquences sur le milieu naturel sont :

- Pour les matières carbonées ou organiques (qui ont la particularité commune de posséder au moins un atome de carbone), d'être polluantes lorsque leur quantité dépasse la capacité d'auto épuration naturelle du milieu récepteur. En effet, la dégradation de ces substances (oxydation par des micro-organismes) provoque une consommation d'oxygène au détriment des organismes aquatiques.
- Pour les matières azotées qui sont des éléments nutritifs, d'entraîner la prolifération d'algues et de végétaux aquatiques, ce qui génère un phénomène d'eutrophisation. La présence de phosphates accélère ce phénomène d'eutrophisation.

La structure chimique des polluants permet de distinguer les matières organiques des matières inorganiques selon le tableau I.3

Tableau I.3 La classification des composés de l'effluent suivant leur nature [9]

classification	Caractéristique	Exemple de composé
Matière organique	Possède au moins un atome de carbone lié à un atome d'hydrogène	Hydrates de carbone, protéines, matières grasses, huiles, pesticides, .phénols, azote organique...
Matière inorganique ou minérale	Ne contient pas de carbone	Métaux lourds, azote ammoniacal, nitrates et nitrites, phosphates, sulfates, chlorures,...

I.3.1 Les matières en suspension

- **Matières En Suspension (MES)** : les MES représentent l'ensemble des matières solides et colloïdales floculées, organiques ou minérales, contenues dans une eau usée et pouvant être retenues par filtration ou centrifugation.
- **Matières Volatiles Sèches (MVS)** : les MVS représentent la partie organique des MES, la partie restante représentant les matières minérales. Cette partie organique comprend les particules de biomasse, vivante ou morte, ainsi que certaines particules organiques n'intervenant pas dans le processus de dépollution biologique.

I.3.2 Les composés organiques

- **Demande Chimique en Oxygène (DCO)** : cette mesure permet la quantification de l'ensemble des composés organiques, présents sous forme solide, colloïdale ou dissoute ainsi que celle des minéraux oxydables.
- **Demande Biochimique en Oxygène (DBO)** : la DBO permet de quantifier la matière organique, dissoute ou particulaire, pouvant être consommée par la biomasse. Le résultat sera obtenu au bout d'une durée de 5 (DBO₅) ou 21 jours (DBO₂₁).

I.3.3 Les composés azotés

L'azote est présent dans les effluents sous différentes formes : azote organique (Norg), azote ammoniacal (ammoniac NH₃, ion ammonium NH₄⁺), nitrates (NO₃⁻), nitrites (NO₂⁻).

Plusieurs analyses sont possibles :

- azote total : représente la somme de tous ces composés,

- azote Kjeldahl : généralement utilisée sur les sites urbains et industriels, cette mesure représente l'azote organique et l'azote ammoniacal,
- azote ammoniacal,
- nitrates,
- nitrites. [10]

Tableau I.4 Analyse des eaux usées domestiques [11]

MATIERES (mg/l)	POLLUTION		
	Forte	Moyenne	Faible
Matières solides totales	1000	500	200
-biodégradables	700	350	120
-non biodégradables	300	150	80
Matières en suspension totales	600	350	120
-biodégradables	400	250	70
-non biodégradables	200	100	50
Matières dissoutes totales	500	200	100
-biodégradables	300	100	50
-non biodégradables	200	100	50
DBO₅	300	200	100
Oxygène consommé	150	75	30
Oxygène dissous	0	0	0
Azote totale	85	50	25
-organique	35	20	10
-ammoniacal libre	50	30	15
-nitrite	0.1	0.05	0
-nitrate	0.4	0.2	0.1
Chlorures	175	100	15
Alcalinité (en CaCO₃)	200	100	50
Graisses	40	20	0

I.4 Mécanisme biologique de transformation de la matière organique

I.4.1 Dégradation de la pollution carbonée

La dégradation des composés organiques biodégradables (pollution carbonée) fait partie des objectifs premiers du traitement biologique des eaux usées, avec la réduction des matières en suspension et des microorganismes pathogènes. Étant donnée la grande variété de constituants présents, la quantité de matière organique est exprimée en termes de Demande Biologique en Oxygène (DBO) ou de Demande Chimique en Oxygène (DCO). [12]

La dégradation de la DBO nécessite la mise en contact de l'eau usée, des microorganismes, de l'oxygène et de nutriments (azote, phosphore), durant un temps suffisamment long. La biomasse produite en excès chaque jour doit être extraite du système, afin d'assurer le maintien des conditions optimales des performances du procédé. La biomasse est séparée de l'effluent par séparation gravitaire (clarificateur) ou, plus récemment, par des procédés membranaires.

La réaction d'oxydation aérobie de la matière organique par les bactéries peut être représentée comme suit :



Dans cette équation, COHNS (pour carbone-oxygène-hydrogène-azote-soufre) représente la matière organique tandis que $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ représente les cellules bactériennes produites.

Ces réactions sont réalisées pour des pH compris entre 6 et 9 avec des performances optimales à pH neutre. Une concentration en oxygène de l'ordre de 2 mg/L est convenable.

Les bactéries impliquées sont des bactéries hétérotrophes aérobies. [12]

I.4.2 Dégradation de la pollution phosphorée

La réduction du phosphore des eaux résiduaires est réalisée en raison des problèmes d'eutrophisation des masses d'eau. Elle peut être réalisée le plus couramment par voie physico-chimique (injection de sels métalliques pour précipiter le phosphore). La déphosphatation biologique consiste elle à accroître l'assimilation du phosphore par les cellules bactériennes.

1. Déphosphatation biologique

La déphosphatation biologique est ainsi basée sur les observations suivantes :

- Les bactéries sont capables de stocker le phosphore sous forme de polyphosphates au sein de leurs cellules ;
- En conditions anaérobies, les bactéries assimilent des produits de fermentation (acides gras volatils) en utilisant l'énergie des polyphosphates stockés, relarguant ainsi du phosphore inorganique ;

- En conditions aérobies, les produits de fermentation stockés sont utilisés pour la production d'énergie et la croissance. L'énergie produite est également utilisée pour reconstituer le stock de polyphosphates à partir du phosphore inorganique puisé dans le milieu. Ce stock augmente avec la croissance des cellules. [12]

Pour aboutir à une déphosphatation biologique, on va donc promouvoir au sein du procédé une alternance entre conditions anaérobies et aérobies.

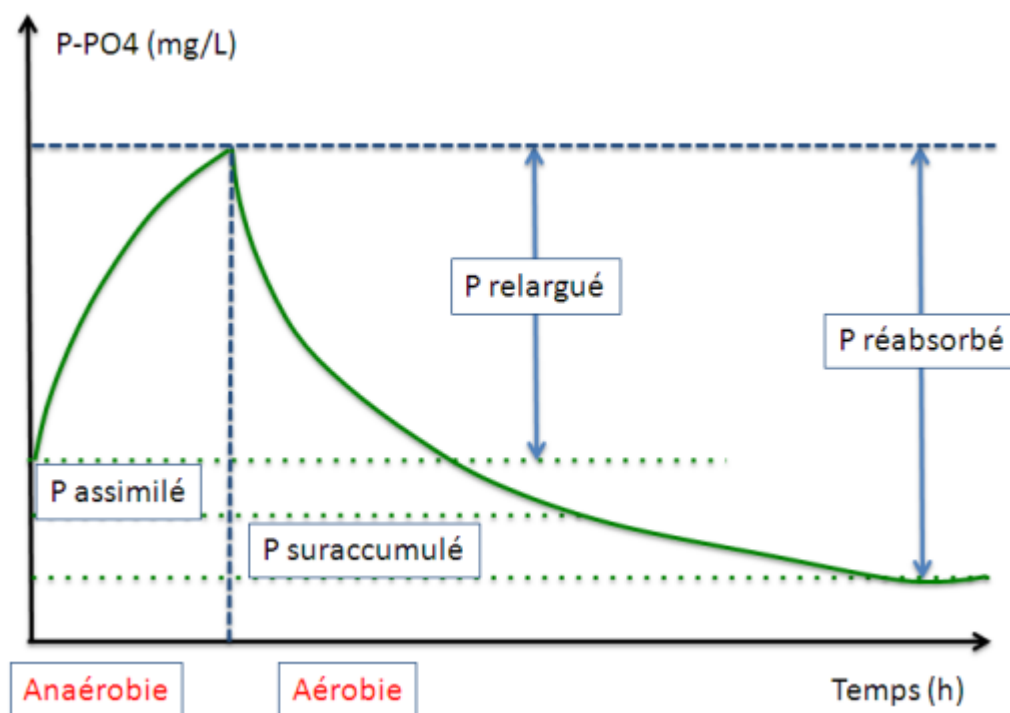


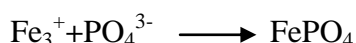
Figure I.1 Elimination biologique du phosphore. [12]

Il est important de noter que si le phosphore est ici retiré de la phase aqueuse, il n'est pas dégradé mais seulement stocké au sein des cellules. C'est donc l'extraction de la biomasse en excès du système qui permettra d'éliminer le phosphore.

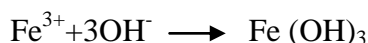
2. Déphosphatation physico-chimique

Le traitement du phosphore par voie physico-chimique consiste en une précipitation du sel formé par les ions orthophosphates lors de l'ajout d'un sel métallique (chlorure ferrique par exemple) au sein de la suspension. Les réactions sont les suivantes : [12]

- Formation du sel phosphate de fer



- Formation des hydroxydes de fer



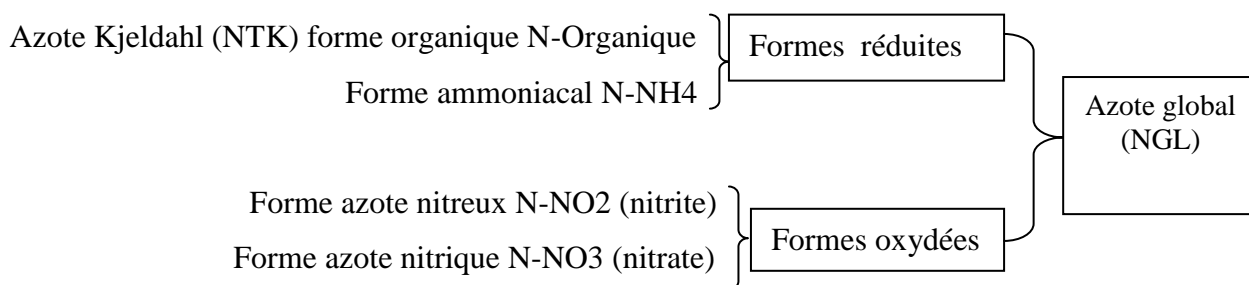
I.4.3 Dégradation de la pollution azotée

L'azote présent dans les eaux résiduaires provient principalement des déjections humaines. Les urines contribuent largement à cet apport essentiellement sous forme d'urée, d'acide urique et d'ammoniaque (NH_3). Par ailleurs, les eaux de cuisine véhiculent des protéines comportant des acides aminés, et certains agents de surface qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés.

❖ Les formes de l'azote

L'azote des eaux usées est essentiellement constitué d'azote organique ammonifiable ou réfractaire (sous forme soluble et particulaire) et d'azote ammoniacal.

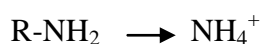
L'azote KJELDAHL (NK), du nom du chimiste qui a mis au point le dosage, représente la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal. Le traitement biologique de l'azote met en œuvre différents mécanismes :



L'azote pouvant subir différentes transformations au cours d'un traitement biologique (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse NO_2^- puis nitrique NO_3^- et retour à la forme gazeuse (N_2))

1. L'ammonification

L'ammonification est le processus durant lequel la fraction organique de l'azote présent dans l'eau usée est minéralisée pour former de l'azote ammoniacal. En effet, cet azote organique est essentiellement présent sous forme d'urée et d'acides aminés facilement dégradés par les bactéries ou hydrolysés selon la réaction suivante :

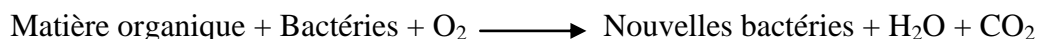


Il est à noter que la vitesse de réaction est rapide et qu'un temps de séjour de quelques heures dans le réseau d'assainissement suffit à réduire la concentration en azote ammoniacal de moitié. Le degré d'ammonification à l'entrée de la station d'épuration constitue d'ailleurs un indicateur du temps de séjour dans le réseau. [12]

2. Assimilation

La dégradation de la pollution carbonée par les bactéries hétérotrophes aboutit à l'assimilation d'une part d'azote liée aux besoins métaboliques.

La réaction d'assimilation de la matière organique par les bactéries hétérotrophes en présence d'oxygène dissous peut être représentée par la réaction suivante :



3. Nitrification

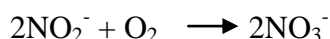
La nitrification correspond au processus durant lequel les ions ammonium sont oxydés en nitrites puis les nitrites oxydés en nitrates.

L'oxydation de l'ammonium est le fait de bactéries autotrophes aérobies qui utilisent l'ammonium ou les nitrites comme source d'énergie. Les réactions d'oxydation sont les suivantes :

- Pour la nitritation :



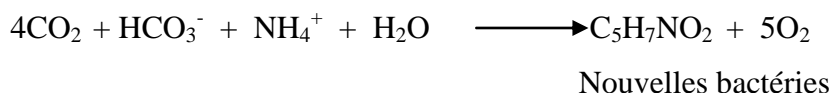
- Pour la nitratisation :



- Pour un bilan :



Dans le même temps, la synthèse de la biomasse autotrophe (anabolisme), consomme également de l'ammonium pour incorporation dans la cellule



La croissance des bactéries autotrophes impliquées nécessite donc la consommation d'alcalinité, d'une part comme source de carbone et d'autre part pour tamponner l'acidité produite lors de l'oxydation. [12]

Les bactéries impliquées dans le processus de nitritation et de nitratisation sont usuellement considérées comme étant du genre *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* respectivement. Cependant, beaucoup d'autres souches capables de ces réactions ont été découvertes. [12]

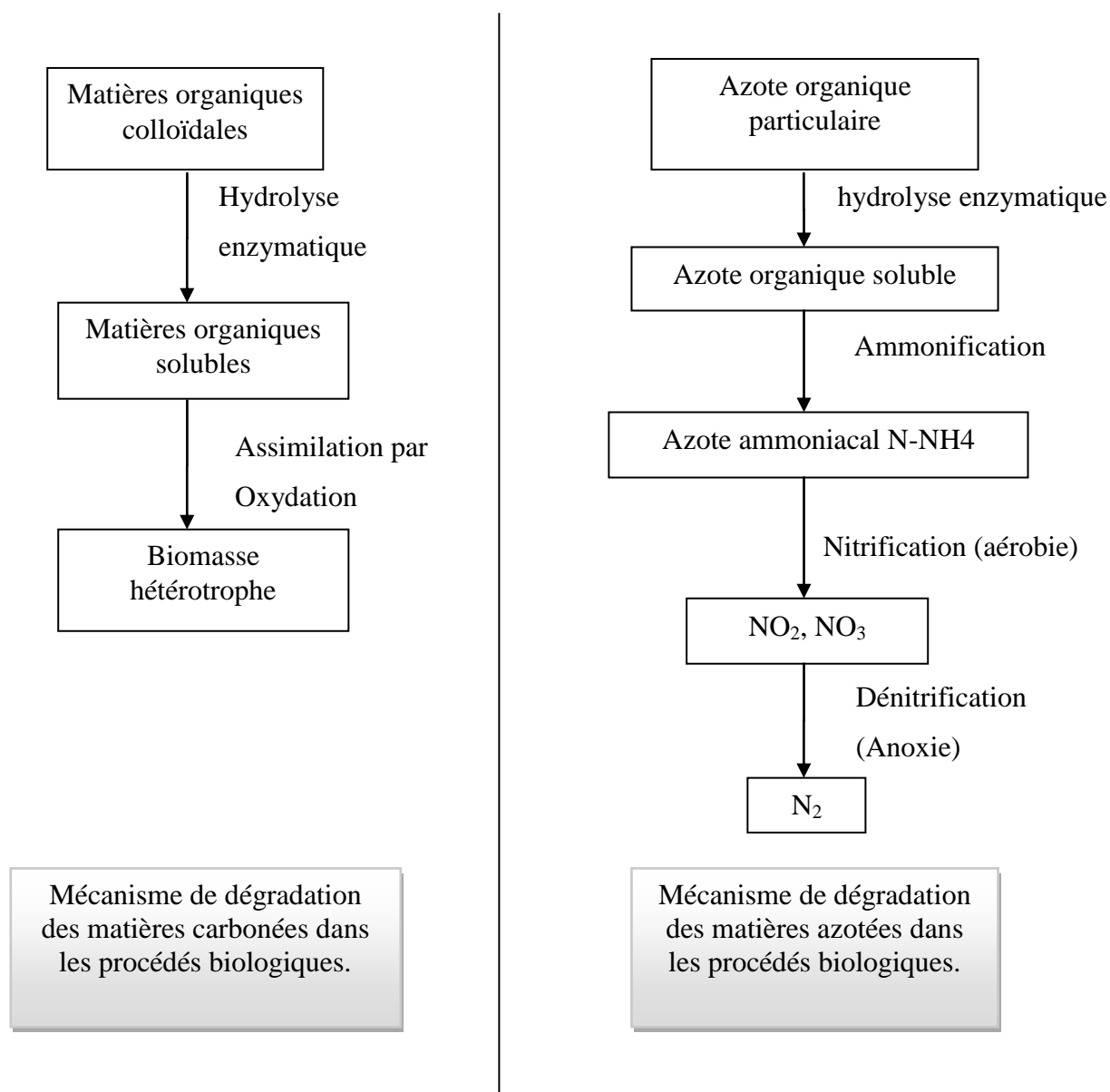


Figure I.2 Mécanisme de dégradation des matières organiques dans les procédés biologiques.

4. Dénitrification

Pour assurer une élimination complète de la charge azotée, il est nécessaire de phaser les deux étapes respectives de nitrification et dénitrification.

En effet, la nitrification nécessite de l'oxygène dissous dans le milieu (processus aérobie) alors que la dénitrification est réalisée en absence d'oxygène moléculaire dans le milieu (anoxie).

Le phasage peut être réalisé dans le temps dans un bassin unique par syncopage de l'aération ou dans deux bassins distincts (zone d'anoxie en tête).

4.1 Zone d'anoxie en tête

a. Principe

Dans cette configuration, la dénitrification est réalisée dans un bassin distinct, non aéré, placé en amont du bassin d'aération. L'apport de nitrates est assuré par la boucle de recirculation des boues depuis le clarificateur ainsi que par une boucle de recirculation dite « de la liqueur mixte » allant du bassin d'aération vers la zone d'anoxie.

L'apport de carbone organique nécessaire à la dénitrification est assuré par les eaux usées prétraitées entrant dans la zone d'anoxie.

b. Dimensionnement

Le dimensionnement du volume total (aération + anoxie) est le même que dans le cas du syncopage en bassin unique.

Le volume de la zone d'anoxie est calculé pour assurer un temps de séjour de 1 à 2 heures de manière à assurer les conditions anoxie sans prolonger de manière trop importante l'absence d'oxygène. On considère usuellement un volume égal à deux fois le volume horaire de pointe.

4.2 Syncopage de l'aération

a. Principe

Dans cette configuration, l'alternance des conditions aérobie et anoxique est assurée par un fonctionnement discontinu du dispositif d'aération (une dizaine de cycles par jour environ). La nitrification se déroule pendant les phases aérobies et la dénitrification pendant les phases anoxiques.

Le réglage de la durée des cycles peut être réalisé selon différentes stratégies :

- Programmation fixe sur horloge ;
- Asservissement par rapport à des seuils d'oxygène dissous ;
- Asservissement par rapport à des seuils de potentiel redox ;
- Asservissement par rapport à des seuils de concentration en ammonium et nitrates.

b. Dimensionnement

La nitrification est usuellement réalisée dans le bassin d'aération utilisé pour la dégradation de la pollution carbonée. Le dimensionnement doit alors prendre en compte une charge massique suffisamment faible et donc un âge de boues suffisant pour assurer un développement suffisant de la biomasse autotrophe (bactéries à taux de croissance faible). Usuellement, une charge massique inférieure à 0,1 kg DBO₅/kg MVS/j (très faible charge) associée à un âge de boues supérieur à 16 jours sont suffisants (valeurs dépendantes du type de réseau unitaire/séparatif et de la température). [12]

I.5 Conclusion

L'analyse des processus de dégradation de la matière organique a permis de mettre en évidence les trois principaux mécanismes mis en jeu : l'hydrolyse, la croissance des bactéries et le décès, le devenir de la matière organique en réacteur de traitement biologique dépend donc largement de la forme initiale de la matière organique. Il est donc nécessaire de la caractériser, en particulier de quantifier les différentes fractions carbonées biodégradables, il apparaît également que la nitrification est influencée par de nombreux paramètres, notamment les concentrations en oxygène dissous et en ammoniac, la température et le pH.



CHAPITRE II

COLLECTE & EPURATION DES EAUX USÉES

II.1 Introduction

La composition d'une eau résiduaire est très diversifiée suivant son origine et chaque installation est par conséquent conçue pour répondre à un besoin spécifique. Les technologies utilisées se développent et se perfectionnent constamment par la recherche de technologies ou de procédés nouveaux et par la mise en place de nombreux automatismes. Les étapes principales du traitement sont détaillées sur la figure (II.1).

II.2 Une station d'épuration

C'est une installation destinée à épurer les eaux usées domestiques ou industrielles et une partie des eaux pluviales avant le rejet dans le milieu naturel. Une station d'épuration est généralement installée à l'extrémité d'un réseau de collecte. Elle peut utiliser plusieurs principes, physiques et biologiques, le plus souvent est le processus biologique, car il fait intervenir des bactéries capables de dégrader les matières organiques. Cette installation est constituée d'une succession de dispositifs, conçus pour extraire en différentes étapes les différents polluants contenus dans les eaux. La taille et le type des dispositifs dépendent du degré de pollution des eaux à traiter. [2]

II.3 Les procédés de traitement des eaux usées

Les processus utilisés dans les installations de traitement sont également classés comme préliminaires, primaires, secondaires et tertiaires (**Figure II.1**). Les étapes préliminaires et primaires éliminent les chiffons et les solides en suspension. Les procédés secondaires éliminent principalement les matières organiques en suspension et dissoutes. Les méthodes tertiaires permettent d'éliminer les nutriments. La désinfection, est la dernière étape, détruit les agents pathogènes restants. Les boues résiduelles générées pendant le traitement sont stabilisées, déshydratées et envoyées dans des décharges ou les réutilisées. [8]

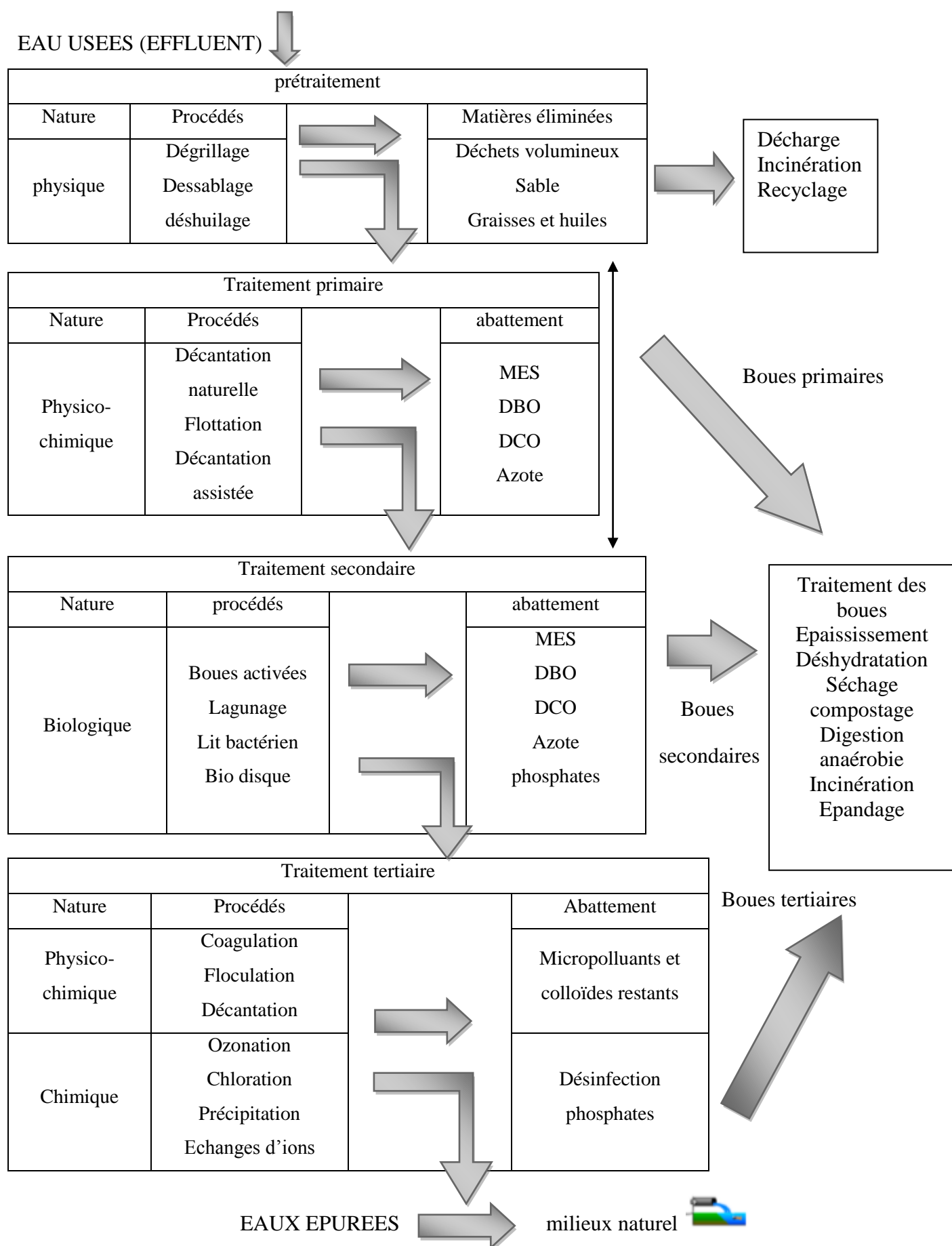


Figure II.1 Les étapes d'une filière de traitement des eaux usées. [9]

II.3.1 Les prétraitements :

Les prétraitements sont une phase d'épuration grossière. On élimine tous les éléments solides volumineux et grossiers (sables, corps gras) qui pourraient d'ailleurs endommager les installations par la suite. Notons qu'on retire alors environ 35% des éléments polluants. Tout d'abord on réalise le dégrillage : on fait passer l'eau à travers des grilles plus ou moins grossières pour récupérer tous les éléments solides plus gros que les espacements des grilles. L'eau qui est issue de ce premier traitement subit ensuite le dessablage et le déshuilage-dégraissage. La vitesse d'écoulement de l'eau est ralentie, des particules de taille alors plus petite vont sédimenter (boues primaires) et les graisses, moins denses vont remonter à la surface (**Figure II.2**). Les sables vont être retirés par pompage et l'écume par raclage. [13]

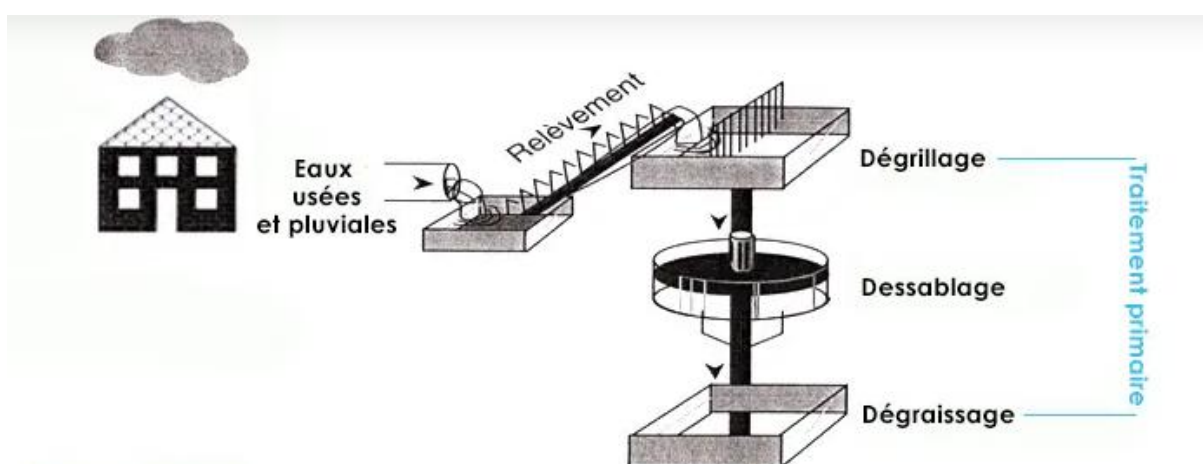


Figure II.2 Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP.

1. Dégrillage

Le dégrillage, première poste de traitement de l'effluent brut, sert à retenir les déchets volumineux, à travers des grilles de mailles différentes. En fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille, on peut distinguer les opérations telles que le pré-dégrillage (de 30 à 100 mm), suivie d'un dégrillage moyen avec des barreaux distants de 10 à 30 mm, enfin d'un dégrillage fin dont les barreaux sont séparés de moins de 10 mm. [8] Différents types de grilles sont distinguées, les grilles de nettoyage manuelles (barreaux en général inclinés) pour des petits débits, et les grilles de nettoyage automatiques (barreaux courbes pour des petits débits ou droits pour des débits plus conséquents). Le dégrillage n'a aucune action sur la pollution associée à des particules de taille inférieure à la maille utilisée, mais uniquement sur les flottants et les suspensions de taille importante. Ce prétraitement n'agit par conséquent jamais sur la pollution dissoute, son efficacité sur les eaux usées domestiques est d'environ 5 à 10 % pour les MES, et d'environ 5 % pour la DBO. [14]

2. Dessablage

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3m/s, vont pouvoir se déposer, il s'agit principalement des sables et des matériaux lourds. Il est en effet souhaitable de les récupérer par sédimentation en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération,...) pour éviter l'abrasion des équipements mécaniques et les dépôts dans les tuyauteries et le fond des bassins (colmatage, réduction des volumes utiles). [15]

3. Déshuilage-dégraissage

L'objectif du déshuilage-dégraissage est de retenir les graisses et les huiles (particules de densité plus faible que l'eau) difficilement biodégradables qui flottent à la surface des ouvrages, perturbent la décantation des boues et limitent les performances de transfert de l'oxygène dans les bassins d'aération, [16] et nuire à la phase biologique du traitement. Le dégraisseur a pour objet la rétention des graisses (de 10 à 20 % des graisses) par raclage par effet de flottation naturelle ou accélérée par injection de fines bulles d'air. [15]

II.3.2 Les traitements primaires

Le traitement primaire au sens strict est un traitement physico-chimique. Il est possible d'ajouter dans l'eau des agents coagulants et floculants. On peut alors récupérer un grand nombre de particules en suspension par décantation ou flottation (boues physico-chimiques). Cette étape permet d'éliminer 90% des particules et objets en suspension. Elle est commune à une très grande majorité des stations d'épuration. Mais il reste alors dans l'eau tout ce qui y est dissous : éléments azotés, phosphatés, composés actifs et des particules fines. [13]

1. La décantation physique (naturelle)

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières en suspensions qui ont souvent une teneur en matières organique importante (de 70 à 90%) et une densité légèrement supérieure à celle de l'eau vont se décanner naturellement dans un décanteur primaire en 1 à 2 heures. L'eau ainsi clarifiée s'écoulera par débordement et les MES qu'ont décanté au fond du bassin (boues primaires) seront extraites et envoyées vers les ouvrages de traitement des boues. [17]

2. La décantation physico-chimique

Si les particules sont très fines (colloïdales), ils peuvent rester en suspension dans l'eau très longtemps, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour améliorer les performances de la décantation, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation qui ont pour but de déstabiliser les particules en suspension et faciliter leur agglomération par l'injection des réactifs. [18]

3. La flottation

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente est inférieure à celle du liquide qui les contient. Pour l'extraction des particules en suspension, on fait appel à des techniques de clarification et d'épaississement par insufflation d'air. Les bulles d'air s'accrochent aux particules fines à éliminer en les ramenant à la surface de l'eau. Durant ce traitement, une quantité importante de la pollution totale est éliminée (abattement des matières en suspension pouvant atteindre 55%, et de la demande biochimique en oxygène de l'ordre de 35%. La DCO et la concentration en l'azote peuvent également être réduits). Les matières solides extraites représentent ce que l'on appelle les boues primaires. [19]

II.3.3 Les traitements secondaires

Le traitement secondaire élimine la matière organique soluble qui échappe au traitement primaire. Il élimine également une plus grande partie des solides en suspension. L'élimination est généralement accomplie par des processus biologiques dans lesquels les bactéries consomment les impuretés organiques comme nourriture, les convertissant en dioxyde de carbone, en eau et en énergie pour leur propre croissance et reproduction. La station d'épuration offre un environnement approprié, bien qu'en acier et en béton, pour ce processus biologique naturel. L'élimination des matières organiques solubles à l'usine de traitement aide à protéger l'équilibre de l'oxygène dissous d'un ruisseau, d'une rivière ou d'un lac récepteur. Le traitement secondaire étant biologique, il utilise des procédés biologiques à techniques intensives ou extensives diverses, et qui peuvent être à culture libre ou fixée. [8]

1. Les procédés biologiques extensifs

Les techniques dites extensives sont des procédés qui 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 ont été développées dans différents pays pour des collectivités de taille, en général, inférieure à 500 EH, mais la diffusion de ces techniques vers des agglomérations de taille supérieure à 500 EH est envisageable avec certaines précautions. [20]

➤ Cultures fixées :

- Infiltration-percolation ;
- Filtre planté à écoulement vertical ;
- Filtre planté à écoulement horizontal.

➤ Cultures libres :

- Lagunage naturel ;
- Lagunage aéré ;
- Lagunage à macrophyte.

- **Les filtres planté**

Ils sont constitués des bassins artificiels munis d'une masse filtrante (sable, gravier ou cailloux), dans lesquels transitent les effluents bruts (prétraités ou non). La pollution organique est dégradée naturellement par les bactéries fixées sur les massifs et les macrophytes qui leur servent de support. L'aération est faite par diffusion sur la surface du filtre, soit en alternant les phases d'alimentation et de repos (filtre vertical), soit naturellement de façon continue (filtre horizontal). La diffusion de l'oxygène vers la profondeur du filtre est facilitée par la présence des végétaux et par la cheminé d'aération des drains inférieurs. [8]

- **Lagunage naturel**

Il s'agit d'une simulation des propriétés d'autoépuration des lacs. Les eaux à épurer sont accumulées dans un bassin ou une série de bassins, exposés à l'air libre. Le principe est d'obtenir une épuration bactérienne aérobie en utilisant l'oxygène fourni par les algues. Ce qui oblige à exposer l'eau au soleil sous faible profondeur (de 1.2 à 1.5 m au maximum et de 0.8 m au minimum) et de grande surface avec un temps de séjour de l'ordre du 1 mois. L'exposition à la lumière, permet le développement des algues disposant de pigments leur permettant de réaliser une photosynthèse, donc la matière organique est dégradée par oxydation, ce mode d'épuration permet l'élimination de 80 à 90% de la DBO, 20 à 30% de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Ces procédés sont très sensibles à la température et sont peu applicables aux régions froides. [21]

- **Lagunage aéré**

Dans ce procédé, en fournissant l'oxygène par un moyen mécanique (aérateur de surface ou une insufflation d'air), on réduit les volumes nécessaires et on peut accroître la profondeur de la lagune (de 3 à 4 m). La concentration en bactéries est plus importante qu'en lagunage naturel. Le temps de

séjour est de l'ordre de 1 semaine. Le rendement peut être 80 %, et il n'y a pas de recyclage de boues. [22]

2. Les procédés biologiques intensifs

Les techniques intensives consistent à appliquer des méthodes modernes pour maîtriser les mécanismes épuratoires à cultures libres ou fixées afin de protéger l'écosystème naturel. 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. Ces systèmes consomment plus d'énergie, et sont utilisés pour des populations supérieures à 2000 EH. [8]

➤ Cultures fixées :

- Lits bactériens ;
- Disques biologiques ;
- Biofiltres.

➤ Cultures libres :

- Boues activées.
- **Lits bactériens**

Le principe de la méthode consiste à créer un sol, artificiel beaucoup mieux adapté à ce rôle d'épuration, dans le quelles échanges entre l'effluent, l'air et les bactéries soit facilités. Pour cela on constitue un support neutre poreux et perméable, sur une hauteur variant de 1.5 à 5 m, aux moyens de matériaux filtrant peu onéreux. L'arrosage de ce sol artificiel par l'eau à traiter fait apparaître quelques semaines de nombreuses colonies microbiennes aérobies, la bonne aération du lit bactérien ainsi constitué contribue à l'activité intense de ces colonies et donc à une oxydation suffisamment rapide de l'effluent. Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Son rendement épuratoire est supérieur à 80% pour la DCO, peut dépasser 90% pour des faibles charges, et 20 à 30% d'azote. [23]

- **Disque biologique**

Le disque biologique est un procédé biologique aérobie de culture fixée. Ce disque est constitué de plusieurs disques minces en plastique ou métalliques, de 10mm d'épaisseur et de 2 à 3 m de diamètre, espacés de 1 à 2 cm. Ils sont montés sur un arbre horizontal, couplé à un moteur électrique. La pollution est dégradée par les micro-organismes qui se fixent sur les disques, dont 40% de la surface immerge dans l'effluent. La rotation des disques assure à la fois l'oxygénation et le contact avec l'eau usée. La biomasse en excès se détache de la même façon que dans les lits bactériens (force de frottement) et elle est séparée sans un décanteur secondaire. Son rendement épuratoire théorique

doit être supérieur ou égale 95% en DBO, 90% en MES, 75% en DCO, et 60% en NTK. L'efficacité du procédé dépend essentiellement de la vitesse de rotation des disques, du temps de séjour, du nombre d'étages et la température. [8]

- **Boues activées**

Le traitement par boues activées (culture libre) a pour but d'éliminer les matières organiques biodégradables (solides, colloïdes, ou dissoutes), contenues dans une eau usée par l'action de micro-organismes essentiellement des bactéries, en présence de l'oxygène dissout. De plus, il peut transformer l'azote organique et ammoniacal en nitrates. Le procédé consiste à alimenter, à brasser et à aérer (bassin d'aération) l'eau à épurer. Une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons se développe et forme avec l'eau usée une liqueur mixte, après un temps de contact suffisant, permettant la fixation et l'assimilation des matières organiques. Cette liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur (ou décanteur secondaire) dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et des boues (**Figure II.3**). Les boues décantées sont réintroduites en partie dans le bassin d'aération (recirculation des boues) pour maintenir un équilibre constant entre la quantité de pollution à traiter et la masse de bactérie épuratrice, les boues excédentaires sont évacuées du système vers le traitement des boues. [23]

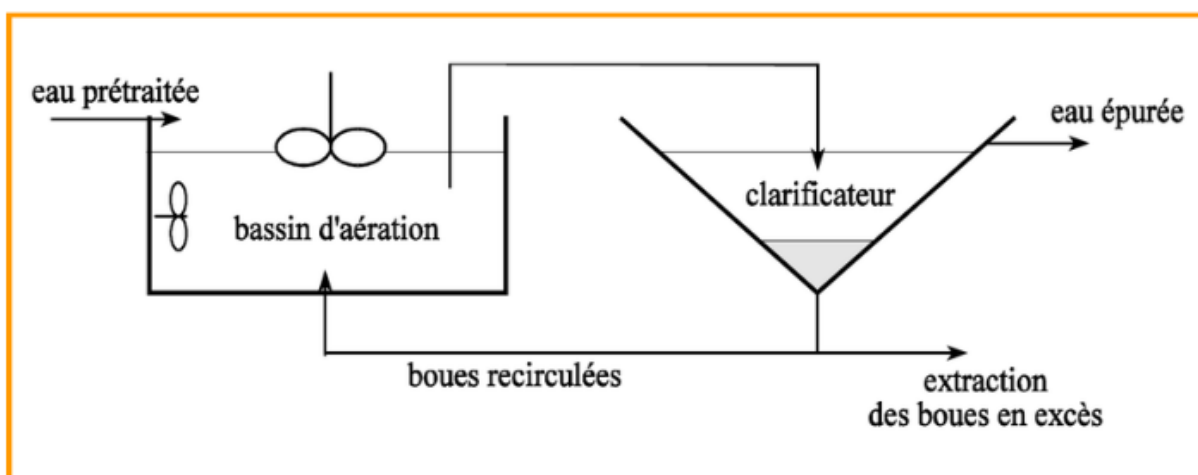


Figure II.3 Schéma d'un procédé à boues activées. [24]

II.3.4 Les traitements tertiaires

Selon l'objectif final prévu pour les eaux usées traitées, les critères de qualité ne sont pas les mêmes que lors d'un rejet direct en sortie de STEP. Ainsi, il y a une obligation de mettre en place un traitement tertiaire et de choisir le ou les procédés qui sont les plus adaptés vis-à-vis de la réutilisation désirée et de la qualité de l'effluent en sortie de station. Les traitements tertiaires permettent donc d'éliminer les substances non voulues pour répondre à un objectif de qualité prédéfini. Par exemple,

lors d'une réutilisation en irrigation maraichère (production de fruits et légumes) il faut éliminer en priorité les pathogènes et garder des éléments nutritifs, alors que lors d'une réutilisation en milieu urbain ou pour une recharge de nappe, l'azote et le phosphore doivent être éliminés afin d'éviter tout risque d'eutrophisation. [25]

❖ La désinfection

La désinfection vise à réduire la concentration des germes pathogènes dans les effluents avant rejet dans l'environnement. Contrairement aux normes de désinfection pour la production d'eau potable qui spécifie l'absence totale de coliformes, les normes de rejets pour les eaux résiduaires urbaines ERU varient suivant la nature du milieu récepteur. Ce traitement est réalisé par des différents procédés comme le lagunage tertiaire, la désinfection par chloration, par l'ozone, et par les rayons ultraviolets. [17]

II.3.5 Traitement des boues

Les techniques actuelles d'épuration des eaux usées domestiques ou industrielles, ainsi que les seuils de rejet de plus en plus exigeants et les quantités à traiter de plus en plus grandes, entraînent, au cours des différentes phases de traitement, une importante production de boues. Les boues contiennent en général 95% à 98% d'eau. Les traitements imposés aux boues s'effectuent classiquement en différentes étapes : épaissement, digestion anaérobie, déshydratation, séchage et valorisation. La valorisation est soit agricole (épandage direct ou compostage), soit énergétique (incinération, digestion anaérobie). [10]

II.4 Conclusion

De ce qui a été présenté dans ce chapitre, on peut dire que la pollution présente dans les eaux usées ne peut être éliminée que par une chaîne de traitement complexe composée de plusieurs étapes différentes. Le bon fonctionnement du traitement biologique, qui est l'étape la plus difficile à contrôler, dépend du développement des micro-organismes et nécessite des conditions opératoires contraignantes. La maîtrise de tous ces paramètres permet d'obtenir toute une gamme d'eaux aux qualités différentes, chacune de ces qualités pouvant correspondre à un usage particulier.



CHAPITRE III

AÉRATION DES BASSINS À BOUES ACTIVÉES

III.1 Introduction

Le but de ce chapitre est de présenter tous les aspects liés aux grands principes d'épuration des eaux résiduaires urbaines par boues activées. Il présente les fondements théoriques de ce procédé, en précisant : l'importance du procédé, son principe de fonctionnement et les principaux paramètres opératoires. Il décrit également les mécanismes, systèmes d'aération et les éléments majeurs à maîtriser au niveau du bassin d'aération.

III.2 Principe de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées

Le procédé à boues activées est l'une des nombreuses alternatives de traitement biologique des eaux résiduaires dans le traitement secondaire. Il est dit « à boues activées » car l'ensemble des conditions favorables à une activité maximale des bactéries est mis en œuvre : un apport en oxygène suffisant, un apport en nutriment si l'effluent ne contient pas tous les composés nécessaires au développement des bactéries, une agitation permanente afin de favoriser le contact entre bactéries et pollution, une concentration élevée en bactérie pour augmenter l'efficacité du traitement.

Les éléments essentiels pour assurer le traitement des eaux usées par le procédé boues activées sont :

- L'arrivée d'eaux usées.
- Le bassin d'aération. Il peut être rectangulaire, circulaire ou annulaire.
- L'arrivée d'air.
- Le brassage de la boue.
- Le clarificateur. Il peut être circulaire ou rectangulaire. A ce niveau s'effectue la séparation entre les boues et l'eau épurée.
- Le dispositif de recirculation des boues.
- Le dispositif d'extraction des boues.

Lorsque des boues activées sont ajoutées aux eaux à traitées, les organismes de ces liqueurs mélangées décomposent rapidement les déchets dans ces eaux, après une période d'aération et d'agitation dans le réservoir à boues activées. [26]

La chaîne de traitement est composée d'un bioréacteur, d'un clarificateur et d'une boucle de recyclage des boues (**Figure III.1**).

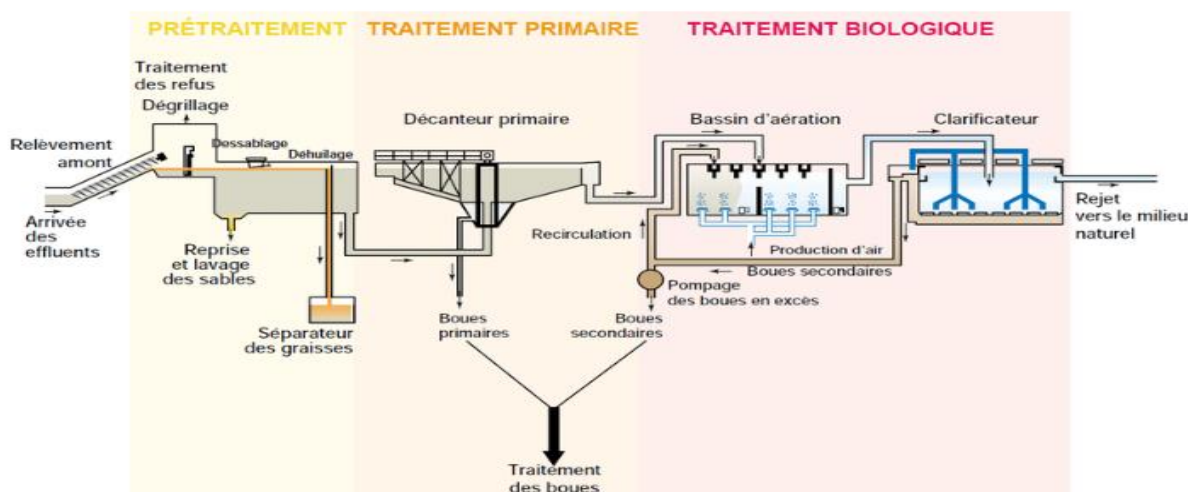
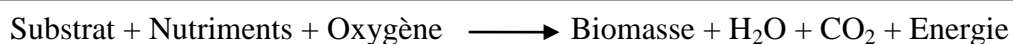


Figure III.1 Principe de fonctionnement d'une station à boues activées. [24]

Les matières polluantes sont éliminées en présence des micro-organismes épurateurs et par différents processus :

- ✓ Par absorption des polluants sur une culture bactérienne,
- ✓ Par conversion en matière cellulaire : croissance de la culture bactérienne (métabolisme de transformation des floccs bactériens),
- ✓ Par oxydation en CO_2 et H_2O qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la production de nouveau matériaux cellulaires.

La métabolisation de la matière organique peut s'écrire sous une forme simplifiée :



III.3 Caractéristiques de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées

III.3.1 La charge polluante en DBO_5

Elle correspond à la quantité de pollution organique contenue dans les eaux usées produites par les populations et activités économiques rassemblées dans l'agglomération d'assainissement, exprimée en $\text{Kg DBO}_5/\text{j}$

$$\text{DBO}_5 = \frac{[\text{DBO}_5] \times Q_j}{1000} \dots \dots \dots (1)$$

Avec

- Q_j : Débit journalier (m^3/j) d'eau brute alimentant l'étage biologique ;
- $[\text{DBO}_5]$: Concentration ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) en DBO_5 dans l'influent du réacteur biologique. [27]

III.3.2 La charge volumique CV

Encore appelée charge organique, c'est la relation entre la quantité DBO₅ journalière et le volume du bassin d'aération. Elle représente donc la masse de pollution arrivant chaque jour sur la station par unité de volume de réacteur. [10] Ce paramètre permet d'estimer la capacité du réacteur biologique à priori lors de la conception des ouvrages. Il est calculé par la relation suivante :

$$C_V = \frac{DBO_5}{V_{BA}} \dots \dots \dots (2)$$

Avec

- V_{BA} : Volume (m³) du bassin d'aération. [27]

III.3.3 La charge massique Cm

C'est la quantité de matière organique (DBO₅) par jour qui peut être traitée avec la quantité de boue activée présent dans le réacteur biologique. Elle caractérise alors l'équilibre biologique du traitement. Schématiquement, elle représente le rapport entre la nourriture et la biomasse dans le bassin d'aération. Son expression est:

$$C_m = \frac{C_V}{C_B} \dots \dots \dots (3)$$

Avec

- C_B : Concentration en boue (g/l) ; C_B = 4g/l. [27]

III.3.4 La production des boues

C'est le résultat de la transformation de la pollution brute dans les micro-organismes. [28] La production de boues dans le traitement biologique repose sur deux phénomènes : l'accumulation des matières en suspension non biodégradables et l'accroissement de la biomasse épuratrice. Elle est exprimée en kg MES/kg DBO₅ par la formule suivante : [6]

$$\Delta MES = \frac{0,84 [DBO_{5 \text{ entrée}} + MES_{\text{entrée}}]}{2} \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

- DBO_{5 entrée} : Masse de DBO apportée par jour (Kg/j)
- MES_{entrée} : Masse de MES apportée par jour (Kg/j)

III.3.5 L'âge des boues

L'âge des boues caractérise la « forme physiologique » des boues dans le bassin d'aération. Il représente le rapport entre la masse de boues présente dans le réacteur et la vitesse d'extraction des boues par le système de purge. [10] C'est le temps de séjour des boues dans les ouvrages de traitement biologique. Celui-ci est bien évidemment beaucoup plus long que le temps de séjour de l'eau à traiter, du fait de la recirculation répétitive des boues décantées vers le bassin d'aération. Il est déterminé par la relation suivante :

$$A = \frac{V \times C_B}{\Delta MES} \dots \dots \dots (5)$$

Avec :

- A : Age de boues (j);
- ΔMES : Production journalière de boues (Kg/j) ;
- V : Volume du bassin d'aération (m^3) ;
- C_B : Concentration en boue (g/l), $C_B = 4g/l$. [6]

III.3.6 Les besoins en oxygène

Les besoins en oxygène nécessaires pour l'élimination de la pollution carbonée et azotée se décomposent en : besoins nécessaires à la synthèse cellulaire des micro-organismes, proportionnelle à la masse de la pollution carbonée assimilée, les besoins consommés par l'énergie d'entretien des micro-organismes présents dans le réacteur biologique, et les besoins nécessaires pour l'oxydation de l'azote ammoniacal, exprimé en $kgO_2/kgDBO_5$. [29]

L'oxygène est à la base de l'oxydation de :

- ✓ La matière organique (DBO_5)
- ✓ L'ammoniaque ($N-NH_4^+$) en nitrates ($N-NO_3^-$),

Ce qui correspond à une dépense très importante d'oxygène (**Figure III.3**).

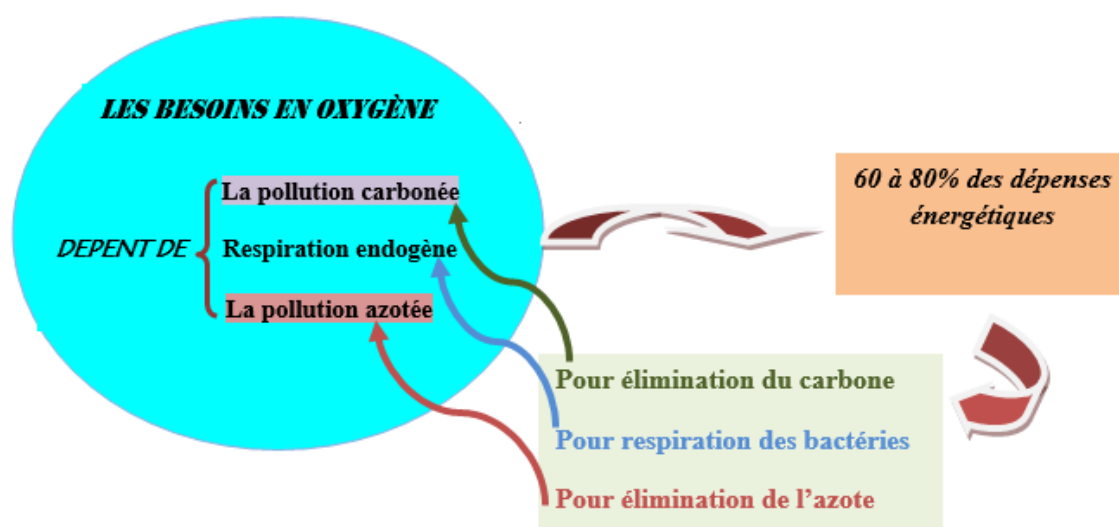


Figure III.2 Les besoins en oxygène. [5]

a. Concentrations en oxygène visées dans les systèmes d'épuration

Le besoin en O_2 est calculable en supposant l'oxydation complète de $C_5H_7NO_2$, ce qui exige 1,42 kg d' O_2 pour détruire 1 kg de matière. Dans un réacteur à mélange complet qui se rapproche du flux piston, on applique l'oxygène de manière homogène, on aura intérêt à doser l'aération en fonction de l'avancement de la biodégradation du substrat. Le rendement de dénitrification est largement contrôlé par le rendement de nitrification. Lorsque l'on ne souhaite pas effectuer une dénitrification, une concentration d'1 mg/l dans les bassins aérés est suffisante, lorsque l'on souhaite effectuer une dénitrification on maintiendra une concentration de 2 mg/l d'oxygène. [30]

b. Concentrations d'oxygène effectivement rencontrées par les bactéries

Les bactéries subissent des concentrations d'oxygène différentes selon qu'elles se situent en périphérie des flocs où proche de leur centre. Les gradients de concentration qui se maintiennent dans les flocs bactériens de boues activées sont dus à l'équilibre entre la diffusion des éléments provenant de la solution et la consommation de ses éléments par les bactéries. [30]

c. Le transfert d'oxygène

Le transfert d'oxygène de la phase gazeuse au micro-organisme s'effectue en plusieurs étapes. Tout d'abord, l'oxygène doit voyager à travers le gaz jusqu'à l'interface gaz-liquide, puis à travers le liquide en vrac et enfin dans les micro-organismes. Certains chercheurs pensent que le transfert d'oxygène se produit de manière significative lors de la formation des bulles lorsque la zone interfaciale exposée au liquide est constamment renouvelée. D'un autre côté, il y a aussi d'autres chercheurs qui pensent que le transfert d'oxygène se produit de manière très significative lors de l'ascension de la bulle. Cependant, il est bien entendu que quel que soit l'endroit où le transfert se

produit réellement, le taux de transfert est proportionnel au temps de contact et à la surface de contact entre le liquide et le gaz. Il a été constaté que le coefficient global de transfert de gaz, augmenté tandis que la taille des bulles diminuait jusqu'à ce que le diamètre des bulles approche 2,2 mm, bien que des bulles plus petites puissent augmenter l'efficacité du transfert d'oxygène. La modélisation du transport de l'oxygène dans le système d'aération est importante, car elle peut être utilisée comme référence pour l'amélioration des performances globales du procédé ainsi que pour la conception et la simulation du procédé. [31]

III.3.7 Le temps de séjour t_s

Parfois noté « temps de passage » représente le temps nécessaire pour qu'une goutte de liquide traverse le bassin d'aération, il intègre l'ensemble des débits transitant dans le réacteur. Alors il représente l'une de ces caractéristiques hydrauliques. C'est le rapport :

$$t_s = \frac{V_{BA}}{Q} \dots \dots \dots (6)$$

Avec

- Q : la somme des débits traversant le réacteur (débit de l'effluent, de recyclage, d'ajout des nutriments,...) (m^3/j). [10]

III.3.8 L'indice de boue

Ce paramètre permet d'apprécier l'aptitude de la boue à la décantation. Cet indice de MOLHMAN représente le volume occupé par un gramme de boue, après 30 minutes de décantation dans une éprouvette transparente d'un litre. Il dépend donc de deux éléments : le volume de boues décantées V_{30} exprimé en ml/l, et la concentration en MES des boues exprimée en g/l.

$$I_B = \frac{V_{30}}{[MES]} \dots \dots \dots (7)$$

Avec

- V_{30} : volume de boue obtenu après 30 minutes de décantation d'un litre de boue activée. [6]

Pour un indice de MOLHMAN :

- $IM < 50$ ml/g mauvaise décantabilité (formation des dépôts),
- $60 < IM < 140$ ml/g décantabilité correcte des boues
- $IM > 150$ ml/g difficulté de décantabilité des boues (foisonnement des bactéries filamenteuses, bulking). [28]

III.3.9 Le taux de recyclage

Le taux de recyclage, noté R, représente le rapport entre le débit de recyclage (Q_R) et le débit d'entrée de l'effluent en station (Q_0). Il conditionne le volume occupé et le temps de passage de la boue dans le clarificateur. Ce coefficient est généralement compris entre 1 et 1,5. Les taux de recyclage et de purge permettent également de maîtriser l'âge des boues, et le temps au bout duquel la biomasse est entièrement renouvelée. [10]

$$R = \frac{Q_R}{Q_0} \dots \dots \dots (8)$$

Le tableau suivant résume les différentes grandeurs caractérisant le type de procédé.

Tableau III.1 Dénomination du procédé en fonction de la charge massique appliquée et valeurs indicatives des principaux paramètres du processus [28]

Nom de procédé	Aération prolongée (très faible charge)	Faible charge	Moyenne charge	Forte charge
Charge massique (kg DBO ₅ /kg MVS.j)	0.05 à 0.1	0.2	0.5	1
Charge volumique (kg DBO ₅ /m ³ .j)	< 0.3	0.3 à 0.4	0.5 à 1.5	1.5 à 3
Age des boues (jours)	10 à 33	6	2	0.8
Production des boues (kg MES/kg DBO ₅)	0.2 à 0.7	0.8	1	1.2
Consommation d'oxygène (kg O ₂ /kg DBO ₅)	0.8 à 0.9	0.65	0.30	0.13

III.4 Le bassin biologique

Le bassin biologique est l'ouvrage le plus important de par sa fonction. On appelle ce bassin : bassin d'aération, bassin à boues activées ou encore bassin d'oxydation. Il assure les traitements des principaux agents polluants en éliminant les éléments organiques comme les graisses, sucre, protéines, etc....et en réduisant la DBO₅, la DCO, l'azote et le phosphore. La dégradation de ces éléments organiques est assurée par des micro-organismes (bactéries) qui consomment les matières organiques en présence d'oxygène (méthode aérobie). On distingue cinq principaux types de bassin : bassin à flux piston, bassin à mélange intégral, bassin à boucle fermée, bassin à cascades, bassin à alimentation étagée et bassin type carrousel. [32]

C'est un bassin composé de bactéries et est alimenté avec des eaux résiduaires le plus souvent pré-traitées et aérée de façon artificielle. En sortie de cet ouvrage, les eaux sont composées d'une grande quantité de matière organique bactérienne.

Les principales bases de dimensionnement de cet ouvrage :

- Le temps de séjour hydraulique
- La concentration en bactéries ou en matières en suspension (C_m)
- La source d'oxygène : indispensable à l'activité bactérienne (bactéries aérobies)

III.4.1 Rôle et emplacement du bassin aéré dans une station d'épuration

Le bassin aéré a pour rôle d'effectuer une dégradation intense de la matière organique présente dans les eaux usées et la nitrification. La matière carbonée est oxydée jusqu'à la forme CO₂, l'azote qui arrive à la station d'épuration sous forme organique et d'ammonium est oxydé jusqu'à la forme nitrate. Le nitrate sera dans un deuxième temps réduit en N₂, pendant une phase d'anoxie. Les flores nitrifiantes et dénitrifiantes qui interviennent sont naturellement présentes dans les eaux polluées. Les bactéries nitrifiantes sont autotrophes, elles utilisent le carbone minéral et se développent préférentiellement dans les eaux faiblement chargées. Les bactéries dénitrifiantes sont hétérotrophes, elles utilisent le carbone organique. Le bassin aéré est généralement placé à la suite du bassin anoxique. Les nitrates produits dans le bassin aérobie sont recirculés (avec la liqueur mixte) dans le bassin d'anoxie où s'effectue une dénitrification. Le N₂ formé s'évacue dans l'atmosphère. Le bassin aéré est placé à la suite du bassin d'anoxie pour que sa charge soit faible, on favorise ainsi le développement des bactéries nitrifiantes. Grâce à cette disposition les bactéries dénitrifiantes du bassin anoxique dispose d'une source de carbone organique suffisante. L'inconvénient de cette disposition est qu'elle oblige à recirculer la liqueur mixte. [30]

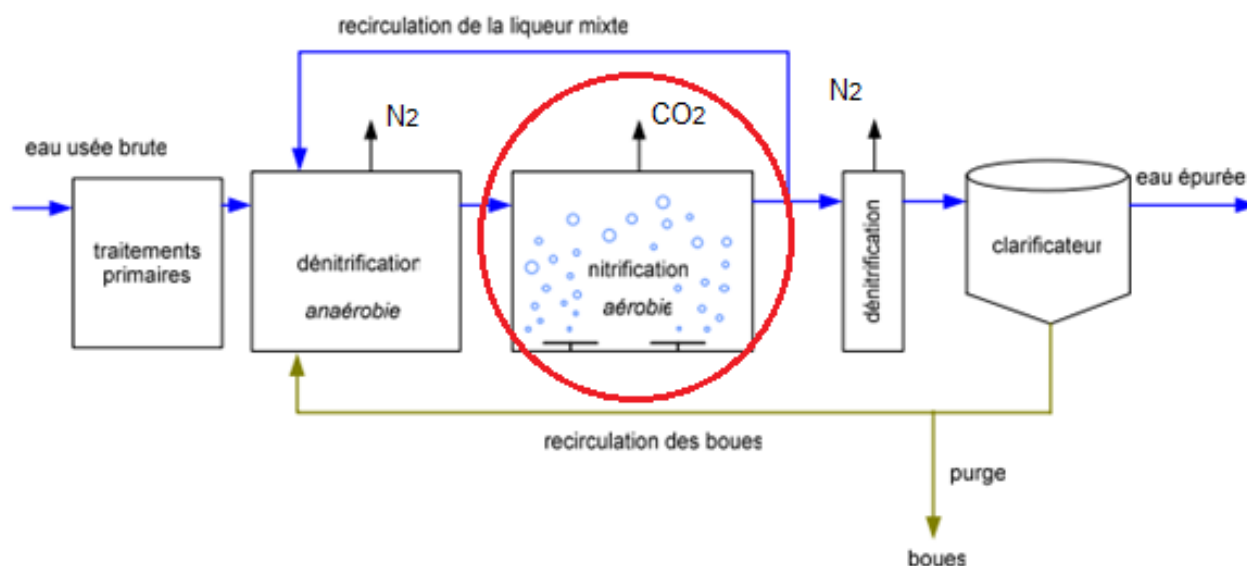


Figure III.3 Schéma de l'emplacement du bassin aéré dans le processus d'épuration. [30]

III.5 L'aération

L'aération permet de fournir l'oxygène nécessaire à l'oxydation de la pollution par les bactéries. La fourniture de l'oxygène, indispensable à la vie de la biomasse épuratrice, constitue la part prépondérante de la consommation énergétique d'une station d'épuration à boues activées (50 à 80 %). Généralement, cet oxygène dissous est fourni à partir du transfert de l'air atmosphérique dans le mélange eaux-boues activées, soit par injection d'air dans l'eau, soit par projection d'eau dans l'air. [33]

Dans beaucoup de cas, les dispositifs utilisés ont une double fonction : l'aération et le brassage des boues, afin de maintenir en suspension les micro-organismes et permettre les échanges d'oxygène et de matières nutritives entre le liquide et les bactéries.

L'oxygène apporté doit satisfaire les besoins liés à la respiration des bactéries et autres organismes vivants de la boue activée, ce qui représente une part non négligeable des besoins. [5]

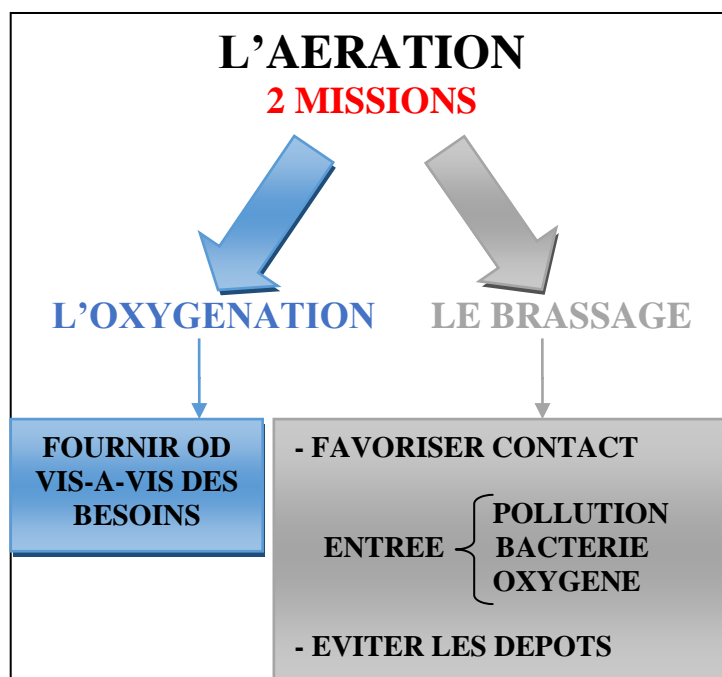


Figure III.4 : L'aération dans les STEP à boues activées. [5]

Les bactéries dans des conditions favorables oxydent, minéralisent la matière organique et s'agglomèrent pour former des flocons de boue dans le bassin d'aération. Au cours de l'épuration, un équilibre entre la quantité de boue et la quantité de pollution à éliminer est maintenu, si bien que les bactéries ont juste la quantité de nourriture nécessaire à leur vie et leur reproduction. Elles n'ont donc pas d'énergie à dépenser pour se déplacer, et de ce fait, elles ont tendance à se regrouper. Les bactéries sont les premiers organismes à se développer et à assimiler la pollution, mais rapidement, il apparaît au sein de la boue des protozoaires. Ces organismes sont les prédateurs des bactéries. Ils participent à l'épuration en éliminant une partie de la pollution, mais surtout en éliminant les bactéries qui ne veulent pas flocculer et qui restent en suspension.

L'oxygène dissous est nécessaire à la croissance des microorganismes afin de maintenir la population microbienne en activité. Les composés organiques et même les substances azotées et phosphorées, présentent dans les eaux résiduaires, constituent la nourriture nécessaire au développement de ces micro-organismes. [28]

III.5.1 Les systèmes d'aération dans les stations d'épuration

Il existe trois grandes catégories d'aérateurs pour équiper les bassins à boues activées

- Aérateurs de surface ;
- Systèmes à base de pompe ;
- Systèmes d'injection d'air.

a) Aérateurs de surface

Sont placés à la surface du bassin, ils assurent la dissolution de l'oxygène par projection dans l'air de la liqueur mixte, par introduction de bulles formées lors de la retombée de l'eau et par renouvellement de la surface du liquide. Trois types d'aérateur de surface existent : les aérateurs à turbines lentes, les aérateurs à turbines rapides qui créent un mouvement circulaire et les brosses qui sont des aérateurs à axe horizontal et faible vitesse. Ces systèmes sont souvent bruyants, demandeurs en énergie et créent des aérosols. [34]

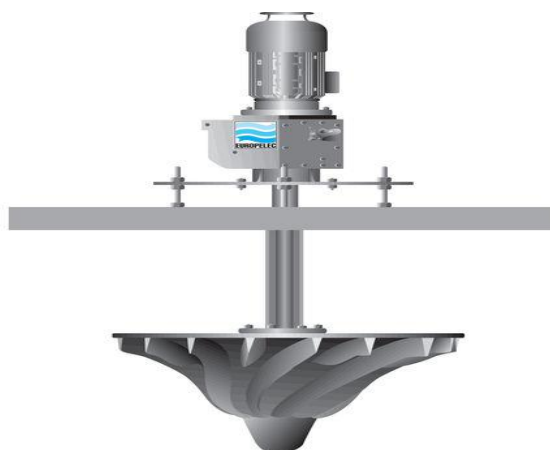


Figure III.5 Aérateurs de surface. [34]

b) Système d'aération à base de pompe

Dans la catégorie des systèmes d'aération à base de pompe, on distingue :

- Les systèmes à jets ;
- Les systèmes à éjecteurs ;
- Les systèmes déprimogènes simples.

Ils permettent à la fois l'aération et la circulation. Les industriels traitant leurs eaux de rejets s'orientent souvent vers cette technologie. En effet, bien que le rendement énergétique de transfert d'oxygène soit moins élevé, ces systèmes d'injection d'air ont un coût d'investissement et d'entretien moins important. [34]

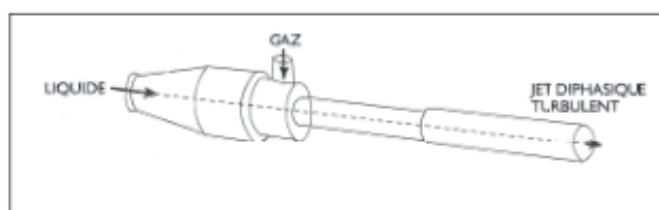


Figure III.6 Hydro-éjecteur. [34]

c) Système d'injection d'air

Ces systèmes réalisent l'introduction d'air surpressé en profondeur dans les bassins. L'air est fourni par des compresseurs, des ventilateurs ou des turbo-compresseurs selon le débit requis et l'immersion des diffuseurs. On classe les dispositifs d'injection d'air selon le diamètre moyen des bulles qu'ils délivrent : grosses bulles, moyenne bulles, et fines bulles. [32] L'insufflation d'air présente plusieurs avantages comparée à l'aération de surface :

- modularité de la fourniture d'oxygène par la mise en place de compresseurs de puissances différentes ou de vitesses variables ;
- élévation de la température des boues ;
- maîtrise des nuisances sonores ;
- performances d'oxygénation élevées pour les systèmes de diffusion d'air en fines bulles. [30]

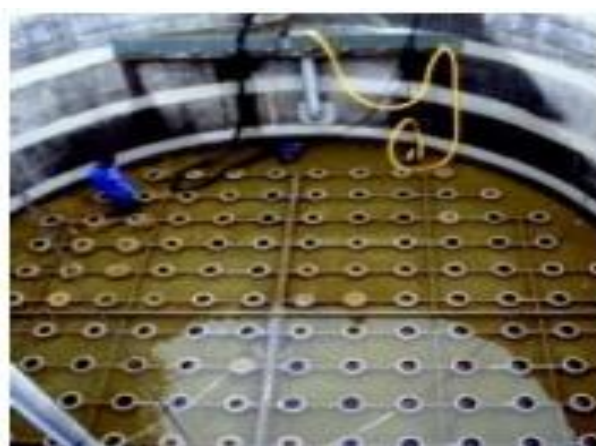


Figure III.7 Diffuseurs à fines bulles situés au fond d'un bassin à boues activées. [30]

III.5.2 Détermination des performances des aérateurs

- Température = 10°C ;
- Pression atmosphérique = 760 mm ;
- Eau claire (pas forcément eau potable) ;
- Teneur initiale en O₂ nulle.

Ces mesures permettent de définir les principales caractéristiques de l'aérateur, à savoir :

1) Les besoins réels en oxygène (AOR) : c'est la masse d'oxygène introduite par heure et par m³ de bassin. Elles s'expriment en Kg O₂/ h.

$$AOR = \frac{a_i \times DBO_5}{14} + \frac{b_i + Sa}{24} \dots \dots \dots (9)$$

Avec :

- a_i ; b_i : Coefficients de respiration déterminés en fonction de la charge massique ;
 $a_i = 0,5 \times C_m^{-0,12}$; $b_i = 0,13 \times C_m^{0,16}$;
- DBO_5 : Charge polluante en DBO_5 en kg/j ;
- S_a : Quantité de boues présentes dans le bassin d'aération en kg ; $S_a = V_{TOT} \times C_B$;
- C_B = Concentration en boues en g/l ; $C_B = 4$ g/l. [27]

2) Le taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé (OTR) en kg O_2 /h

$$OTR = \alpha \times [SOTR] \times \Theta^{(T_{eau}-20)} \times \frac{(\beta \times \Omega \times C_{ST} - C_L)}{C_{S20}} \dots \dots \dots (10)$$

Avec :

- SOTR : Taux de transfert d'oxygène aux conditions standards (Kg O_2 /h) ;

$$SOTR = AOR \times V_{BA}$$
- V_{BA} : Volume du bassin d'aération (m^3) ;
- C_{ST} : Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure à une température donnée et à une pression de 1 atm (mg/l) ;

$$C_{ST} = \frac{475}{(32,5 + T_{eau})} \dots \dots \dots (11)$$

- T_{eau} : Température d'eau ;
- C_L : Concentration d'oxygène dissous dans le liquide (mg/l) ;
- C_{S20} : Concentration à saturation d'oxygène dissous en eau pure à une température de 20°C et à une pression de 1 atm (mg/l) ; $C_{S20} = 9,092$ mg/l. [27]

Tableau III.2 Les facteurs de correction [35]

Les facteurs de correction	Nom	Description	Valeur typique
α	Facteur de correction du coefficient de transfert d'oxygène pour la nature de l'eau et le type d'équipement	Le facteur « alpha » permet de prendre en compte la présence de la biomasse en eaux usées urbaines, il ajuste le taux de transfert d'oxygène pour tenir compte des variations des caractéristiques des eaux usées, la disposition du bassin d'aération, et l'équipement du système d'aération.	Pour les aérateurs de surface, le coefficient α est mesuré entre 0,8 et 1,2. On prend $\alpha = 1$
β	Facteur de correction de la concentration à saturation d'oxygène dissous pour la nature de l'eau	La solubilité de l'oxygène dans les eaux usées dépend de la concentration de sels et de particules dans l'influent. Le facteur « bêta » explique la réduction de l'efficacité du transfert d'oxygène qui résulte de la présence de ces constituants dans les eaux résiduares	Un facteur β typique varie de 0,95 à 0,98, on prend $\beta = 0,95$.
θ	Facteur de correction du taux de transfert d'oxygène pour la température de l'eau	Ce facteur tient compte des variations de l'efficacité du transfert d'oxygène en raison de la température des eaux résiduares	Le facteur de correction de température typique est de 1,024.
Ω	Facteur de correction de la concentration à saturation d'oxygène dissous pour la pression barométrique	Le facteur Ω tient compte des variations de l'efficacité du transfert d'oxygène résultant de la saturation en oxygène dissous sous l'effet de la pression atmosphérique. Ω est calculé par le rapport de la pression barométrique sur la pression atmosphérique standard.	La valeur typique de ce facteur de correction est de 0,99. $\Omega = \frac{P_b}{P_s}$ P_b : 100 kPa P_s : 101,32 kPa

Tableau III.3 Les performances des différents systèmes d'aération [5]

Système d'aération		Apport spécifique brut	Hauteur d'eau maximale	Coefficient global de transfert CGT	Brassage	Observation
		Kg O ₂ /KWh	m		W/m ³	
Aérateur de surface	Turbine lente	1.0 à 1.8 (1.5)	2 à 3.5	0.7	45	
	Turbine rapide	0.8 à 1.4 (1)	1 à 2.5	0.7		
	Brosses avec déflecteurs	0.8 à 2.3 (1.5)	1 à 2	0.7	35	Petit diamètre 0.7 à 0.85 m
		0.95 à 1.95 (1.5)	1.5 à 3	0.7		Grand diamètre 1 à 1.05 m
Système à injection d'air	Moyennes bulles	0.6 à 2.1 (1.05)	2 à 8	0.7	20 à 30 W/m ³ 4.5 à 8 m ³ /m ²	Les meilleurs résultats sont obtenus à grandes profondeurs avec mélangeurs statiques
	Fines bulles	2.0 à 3.35 (2.5)	3 à 8	0.55	15 à 25 W/m ³ 3.5 à 5.5 m ³ /m ²	Résultats variables en fonction de la profondeur
	Diffuseurs membranaires	2.8 3.2				
Systèmes à base de pompes	Ejecteurs (pompe immergée et prise d'air atmosphérique)	0.5 à 0.65 (0.6)	2 à 3			
	Ejecteurs (pompes immergées et prise d'air surpressé)	0.8 à 2.3	3 à 8			Le meilleur résultat est obtenu pour une hauteur d'eau de 7 m
	Turbines déprimogènes	0.2 à 0.7 (0.6)	2 à 3	0.6 à 0.7	Chenel : 3 W/m ³ Bassin : 10 W/m ³	

III.6 Le brassage

Les dispositifs d'aération des installations d'épuration doivent assurer deux fonctions essentielles: l'aération du milieu afin d'apporter aux micro-organismes aérobies l'oxygène nécessaire pour leur respiration, et une circulation suffisante du liquide afin de maintenir la biomasse épuratrice en suspension et uniformiser la concentration en oxygène dissous dans le réacteur. [33] Les fonctions d'aération et de brassage doivent être séparées afin d'optimiser l'élimination de l'azote et d'éviter les dépôts lors de l'arrêt de l'aération. En fond de bassin, les vitesses de circulation de la boue activée doivent être supérieures ou égales à 35cm/s. Les puissances des agitateurs sont variables selon la géométrie des bassins : 3W/m^3 minimum pour une forme annulaire à 15W/m^3 pour des formes rectangulaires de grandes longueurs. [36]

III.7 Techniques d'acquisition de données sur les gradients d'oxygène**III.7.1 Détermination des gradients d'oxygène par mesure directe**

La mesure directe de la concentration en oxygène par une sonde polarographique ou optique est la technique la plus fiable. Cependant de nombreuses mesures doivent être effectuées pour avoir une bonne résolution spatiale. [30]

III.7.2 Etudes par simulation numérique

La définition du problème à résoudre s'effectue à l'aide du préprocesseur. Il permet de représenter la géométrie du système, de définir le type de conditions limites aux frontières du domaine, de spécifier le type de matériau (fluide ou solide). Il fournit aussi la possibilité de discrétiser le domaine, en proposant plusieurs algorithmes de maillage suivant sa géométrie. [30]

III.8 Impact de la variation du taux d'oxygène dissous dans le réacteur

Le déficit d'aération a pour effet d'augmenter le volume des boues. Donc les opérateurs de traitement des eaux usées doivent surveiller régulièrement la disponibilité de l'oxygène sous forme d'oxygène dissous. Des niveaux d'oxygène insuffisants permettront aux microbes aérobies et nitrifiants de mourir et aux floes de se décomposer. À des concentrations d'OD inférieures à 1 mg/L, le potentiel de croissance filamenteuse augmente. À l'autre extrémité, trop d'oxygène augmente la consommation d'énergie et, à des niveaux très élevés, inhibe la décantation. [4]

III.8.1 Les bactéries filamenteuses

Des bactéries filamenteuses sont présentes lorsque les conditions de fonctionnement changent radicalement. Ces bactéries se développent dans de longs filaments. Les changements de température, de pH, d'OD, l'âge des boues ou même les quantités de nutriments disponibles tels que l'azote, le phosphore, les huiles et les graisses peuvent affecter ces bactéries. La dominance des bactéries filamenteuses dans le système de traitement par boues activées peut entraîner des problèmes de décantation des boues. Parfois, un nombre excessif de micro-organismes filamenteux interfère avec la décantation des floccs et la boue devient volumineuse. Ces boues gonflantes décantent mal et laissent derrière elles un effluent trouble. Certains micro-organismes filamenteux peuvent provoquer la formation de mousse dans le bassin d'aération et les clarificateurs. [37]

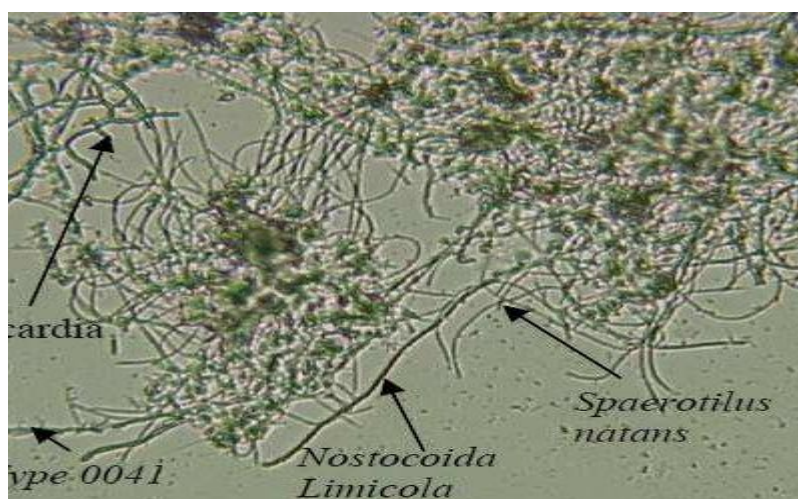


Figure III.8 Bactéries filamenteuses (image de floccs et filaments lors d'un foisonnement). [28]

III.8.2 Les problèmes liés aux bactéries filamenteuses

La décantabilité des boues activées est essentiellement conditionnée par la concentration, la taille, et la distribution des bio-flocs, de la nature des microorganismes, de la géométrie du décanteur et d'autres paramètres tels que les paramètres physico-chimiques. A titre d'exemple, la présence des bactéries filamenteuses en excès, provoque une mauvaise décantabilité des boues. Les principales difficultés rencontrées pour la mise en marche d'une station d'épuration sont liées à la maintenance des équipements et à la nature biologique. Ces problèmes sont principalement dus aux bactéries filamenteuses et se manifestent sous deux formes: le moussage et le foisonnement filamenteux.

- **le foisonnement** : mauvaise décantation de la boue suite à une augmentation du volume occupé par celle-ci, généralement il est caractérisé par un indice de boues supérieur à 150ml/g. ce phénomène est dû à un développement filamenteux excessif, il limite fortement les capacités hydraulique du clarificateur, et peut entraîner des départs de boues vers le milieu naturel.

- **le moussage** : Dans ce type de dysfonctionnement, les bactéries filamenteuses jouent un rôle très important dans le développement de moussage. Une couche de mousse va apparaître à la surface du bassin d'aération. Ces bactéries rendent les flocs hydrophobes et capables de fixer les bulles d'air. Les flocs-bulles sont alors moins denses que l'eau et flottent à la surface où ils s'accumulent et forment une couche de mousse de couleur marron plus ou moins foncée. Dans certains cas particuliers, les hauteurs de mousse peuvent dépasser un mètre, dans cette situation, il y a un grand risque de dégradation des paramètres de fonctionnement et d'exploitation de la station d'épuration. [28]

III.9 L'énergie électrique dans la station d'épuration à boue activée

La consommation électrique globale correspond à l'énergie totale achetée pour couvrir les besoins sur le périmètre de la station entière (traitement de l'eau, des boues, des matières extérieures liées à l'assainissement (graisses, vidange de fosses, curage de réseau, ...), et bâtiments associés). La consommation absolue est la quantité d'énergie consommée rapportée à la durée considérée. Elle est exprimée en kWh/an ou kWh/j. [38]

III.10 SCADA (Supervisory control and data acquisition)

SCADA (contrôle de supervision et acquisition de données) est une catégorie d'applications de software pour le contrôle des processus industriels, c'est-à-dire la collecte de données en temps réel à partir d'emplacements distants afin de contrôler les équipements et les conditions, ainsi que des systèmes associés pour permettre l'amélioration d'automatisation industrielle. SCADA fournit aux organisations les outils nécessaires pour prendre et déployer des décisions basées sur les données concernant leurs processus industriels. C'est l'un des types de système de contrôle industriel les plus couramment utilisés.

Les systèmes SCADA comprennent des composants matériels et logiciels. Le matériel recueille et alimente les données dans les systèmes de contrôleur de terrain, qui transmettent les données à d'autres systèmes qui les traitent et les présentent à une interface homme-machine (IHM) en temps opportun. Les systèmes SCADA enregistrent et consignent également tous les événements pour signaler l'état et les problèmes du processus et avertissent lorsque les conditions deviennent dangereuses en faisant retentir des alarmes. [39]

- **Composants d'un système SCADA**

- 1) Capteurs et actionneurs**

Un capteur est une caractéristique d'un appareil ou d'un système qui détecte les entrées des processus industriels. Un actionneur est une caractéristique de l'appareil ou du système qui contrôle le mécanisme du processus. En termes simples, un capteur fonctionne comme une jauge ou un compteur, qui affiche l'état d'une machine. Un actionneur agit comme un interrupteur, un cadran ou une vanne de régulation qui peut être utilisé pour contrôler un appareil. Les capteurs et les actionneurs sont contrôlés et surveillés par des contrôleurs de terrain SCADA.

- 2) Contrôleurs de terrain SCADA**

Ceux-ci s'interfacent directement avec les capteurs et les actionneurs. Il existe deux catégories de contrôleurs de terrain :

- 2.1) Les unités de télémétrie à distance**

Egalement appelées unités terminales à distance (RTU), s'interfacent avec des capteurs pour collecter des données de télémétrie et les transmettre à un système principal pour une action ultérieure.

- 2.2) Les contrôleurs logiques programmables (PLC)**

Dans les armoires électriques s'interfacent avec des actionneurs pour contrôler les processus industriels, généralement basés sur la télémétrie actuelle collectée par les RTU et les normes définies pour les processus.

- 3) Ordinateurs de supervision SCADA**

Ceux-ci contrôlent tous les processus SCADA et sont utilisés pour collecter des données à partir d'appareils de terrain et pour envoyer des commandes à ces appareils afin de contrôler les processus industriels.

- 4) Logiciel HMI (Human-machine interface)**

Cela fournit un système qui consolide et présente les données des appareils de terrain SCADA et permet aux opérateurs de comprendre et, si nécessaire, de modifier l'état des processus contrôlés par SCADA.

- 5) Infrastructures de communication**

Cela permet aux systèmes de supervision SCADA de communiquer avec les appareils de terrain et les contrôleurs de terrain. Cette infrastructure permet aux systèmes SCADA de collecter des données à partir d'appareils de terrain et de contrôler ces appareils. [39]

5.1) Boutons poussoirs locales

Chaque moteur de la STEP a à son coté un commutateur (bouton poussoirs) pour démarrer ou arrêter de façon locale l'équipement, aussi chaque commutateur aura un arrêt d'urgence et à l'option pour travailler de façon locale ou distant. Le sélecteur des aérateurs à aussi l'option pour démarrer à vitesse lente ou rapide, et le sélecteur des ponts dessableurs-déshuileurs à aussi la possibilité d'inverser le sens de la marche.

5.2) Un pupitre

Un pupitre de commande industrielle désigne un appareil dont la forme reprend celle d'un boîtier métallique à plan supérieur incliné et supporté par un ou plusieurs pieds. Sa principale fonction consiste à contrôler une machine, un élément ou une partie d'une installation industrielle. Pour ce faire, il intègre différents composants, dont :

- Des boutons poussoirs
- Des interrupteurs
- Des voyants
- Un écran de contrôle
- Un panneau.

Il permet à l'opérateur de fonctionner l'automatisme, en donnant les ordres à la parties commande (avec des boutons poussoirs...) et en retour, il reçoit des signaux (lumineux,...) de la commande. [40]

5.3) L'armoire électrique

L'armoire électrique, également appelée tableau électrique (ou tableau de protection) se présente sous la forme d'un coffret dans lequel plusieurs rails métalliques s'alignent. Les armoires électriques assurent le fonctionnement et l'alimentation en énergie électrique des différents composants de l'installation.

Alors elles sont des boîtiers robustes utilisés pour protéger les composants électriques ou électroniques et les appareillages de commutation. Les armoires électriques protègent ainsi l'alimentation électrique contre l'eau, la poussière et la chaleur, mais aussi contre le vandalisme par des personnes non autorisées. En fonction de l'application (dans le cadre d'un événement plein air, un chantier, la construction etc...), la taille, le matériau et le niveau de protection requis de l'armoire électrique diffèrent. [41]

III.11 Conclusion

Le maintien des niveaux d'oxygène dissous optimaux dans les bassins de boues activées est nécessaire pour le traitement biologique des matières organiques et de l'ammonium. Un des principaux facteurs déclenchant ou aggravant un dysfonctionnement biologique est la sous-aération au niveau du réseau de collecte ou dans la filière de traitement elle-même. Il est important de s'assurer que l'installation d'aération est correctement dimensionnée (compresseur et aérateurs de distribution) et que les forces de brassage sont suffisantes pour éviter les sédiments et les zones mortes dans le bassin. Toute sous-aération ou arrêt prolongé (supérieur à 2 heures) de l'aération entraîne un risque important de foisonnement pour une station fonctionnant à sa charge nominale. Au niveau des bassins d'aération, la gestion du fonctionnement des aérateurs doit être adaptée à la charge polluante à l'entrée de la STEP. De plus, les équipements de secours doivent pouvoir fonctionner immédiatement pour faire face à tout arrêt accidentel.



CHAPITRE IV

MATÉRIELS & MÉTHODES

IV.1 Matériels et méthodes

L'oxygène est le facteur primordial du bon fonctionnement du bassin d'aération, il conditionne la croissance des bactéries qui vont dégrader la pollution. Une bonne aération optimise la dépollution. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la variation de la concentration d'oxygène dans le bassin d'aération sur les performances épuratoires et la consommation électrique en boues activées. Pour cela, nous avons effectué un stage à la station d'épuration de Saïda (**Annexes 09, 10**) durant la période (mars – avril 2023), au sein d'une équipe composée d'ingénieurs d'exploitation (biologiste, ingénieur hydraulique et spécialiste en automatisme). Au cours de ce stage, nous avons pu assister aux différentes étapes de fonctionnement de la STEP, différentes tâches liées au contrôle de la qualité de l'eau à l'entrée et à la sortie et à la gestion à distance de l'usine via SCADA. Les expériences ont été réalisées dans le laboratoire de la station d'épuration des eaux résiduaires de Saida (laboratoire de l'ONA)

IV.2 Description du site

La station d'épuration étudiée est située au nord-ouest de la ville de Saida, Algérie, sur une superficie de 11,47 Ha, sud à une altitude de 903 m, la longitude 0°08'48.89"Est et latitude 34°52'19.41" Nord. (**Figure IV.1**). Elle a été conçue et construite par une société espagnole, entreprise DEISA groupe COMSA, mise en service en 2010, puis exploitée par le personnel de l'office national d'assainissement. [3] Elle a été réalisée dans le but de traiter les eaux résiduaires domestiques de la ville de Saida, pour les réutiliser dans l'irrigation et protéger les eaux de la nappe phréatique de Saida et le milieu récepteur Oued Saida qui est son point de rejet final. Elle est de type boues activées simple à faible charge. La présente station est équipée d'aérateurs de surface dont le fil standard d'efficacité de l'aération est de l'ordre de 1,2 à 2 kg O₂/ kWh.



Figure IV.1 Localisation du site d'étude.

La ville de Saida est alimentée en eau potable par les deux forages d'Ain Skhoua (2 fois 250 l/s) situés à environ 100 km de la ville. L'ensemble de ces eaux résiduaires drainées par les quartiers de la ville sont dirigées vers la station d'épuration. Le réseau d'assainissement actuellement raccordé à la STEP est unitaire. Plus de 98% des habitations sont raccordées aux égouts, il existe plusieurs collecteurs des eaux résiduaires et des eaux pluviales de différentes zones avec des caractéristiques très différentes, selon le système d'évacuation des eaux usées existant. Les collecteurs principaux sont présentés dans la figure IV.2.

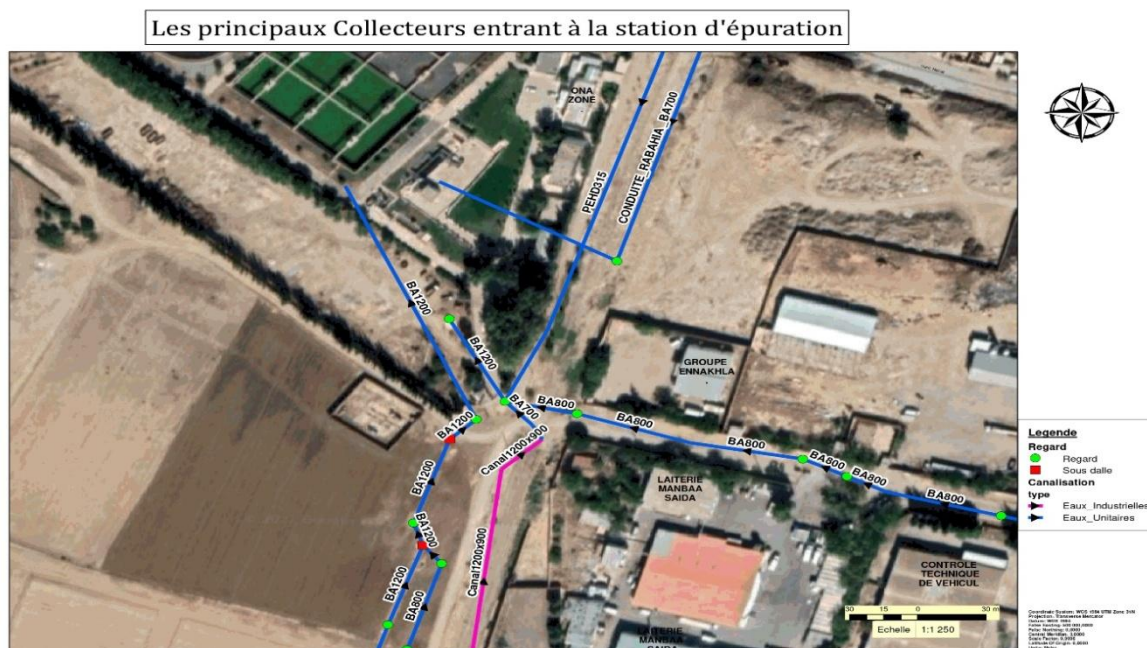


Figure IV.2 Les principaux collecteurs dirigés vers la STEP de Saïda.

IV.3 Protocole expérimental

Le protocole d'analyse des paramètres étudiés est cité dans l'annexe 07. La caractérisation des rejets d'eau résiduaire, a été réalisée sur des prélèvements, effectués les jours du mois d'Avril cités dans les résultats. Les mesures de température et de pH ont été effectuées "in situ" à l'aide d'un modèle multiparamétrique WTW 340i. Les analyses physico-chimiques, les matières en suspension MES, demande chimique en oxygène DCO et demande biochimique en oxygène DBO₅ ont été mesurés dans le laboratoire de la STEP de Saida, selon les méthodes décrites dans la norme. [42]

Les résultats des analyses sont présentés dans la partie résultats et discussion.

IV.4 Données techniques fondamentales

Débit des eaux usées : le réseau de collecte actuellement raccordé à la station d'épuration en provenance de chef-lieu est du type unitaire et l'aboutissement des différents collecteurs se fait en gravitaire.

- Débit moyen journalier : $30\,000\text{ m}^3/\text{j}$
- Débit moyen horaire par temps sec : $1\,250\text{ m}^3/\text{h}$
- Coefficient de pointe : 1,63
- Débit de pointe par temps sec : $2\,038\text{ m}^3/\text{h}$
- Débit de pointe par temps de pluie : $2\,500\text{ m}^3/\text{h}$ [43]

➤ **Charge polluante :** la pollution reçue en tête de la station proviendrait des rejets domestiques urbains et quelques rejets industriels. Les effluents bruts ne doivent pas contenir d'éléments nocifs tels que le cuivre, le chrome, les cyanures et les sulfures en teneurs supérieures à celles admissibles en épuration biologique. Ainsi la pollution totale reçue est de :

- Demande biologique en oxygène (DBO₅)
 - Dotation : 60 g/hab. j
 - Charge journalière : 9000 kg/j
 - Concentration : 300 mg/l
- Matières en suspension (MES)
 - Dotation : 80g/hab. j
 - Charge journalière : 12000 kg/j
 - Concentration : 400 mg/l [43]

IV.5 Les étapes d'épuration

IV.5.1 Prétraitement

Les effluents arrivent à la station d'épuration, traversent un piège à sable avant de subir un prétraitement classique (**Figure IV. 3**). Les caractéristiques des ouvrages des prétraitements de la STEP de Saida sont citées dans l'annexe 01.



Déversoir d'orage



Piège à sable



Grille grossière manuelle



Grille fine automatique



Dessablage-déshuilage



Station de relevage

Figure IV.3 Les ouvrages de prétraitements de la STEP de Saida.

IV.5.2 Le traitement biologique

La STEP de Saida comporte deux filières de traitement en parallèle, les eaux prétraitées sont acheminées vers les bassins d'aération ou elles subissent une épuration biologique suivant le procédé des boues activées à faible charge. Les bassins d'aération sont équipés d'aérateurs de surface à axe vertical. Après l'aération le mélange eaux/boues activées appelé également liqueur mixte est envoyé dans les décanteurs secondaires où s'effectuent la sédimentation des boues et la collecte des eaux épurées. (**Annexe 02**)

- **Bassin biologique**

Les bassins d'aération, au nombre de deux, sont alimentés par deux tuyauteries en béton, en eaux dégrillées, dessablées et dégraissées qui seront brassées avec les boues de recirculation et la liqueur mixte pré-existante. Chaque bassin d'aération est équipé de six aérateurs de surface à axe vertical, et a vitesse de rotation lente reposant sur passerelle en béton. L'aérateur constitue d'un groupe d'entraînement et d'une turbine en rotation à la surface du liquide, à pour rôle :

- D'apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratoires.
- De provoquer une intense turbulence permettant d'une part le maintien en suspension de boues activées, et d'autre part, de renforcer le contact intime de l'eau brute avec les bactéries épuratoires.

Située à l'aval de chaque bassin, une paroi siphonée exécutée en béton retient les mousses et autres flottants générés par la rotation des aérateurs de surface. La liqueur mixte déborde dans une goulotte d'extrémité. Le seuil déversant est menu d'un ensemble de déversoirs réglables. La goulotte de collecte se termine par un approfondissement d'où part la tuyauterie prévue pour l'évacuation du mélange eau/boues vers les bassins de décantation.

Dans chaque bassin d'aération sera installée une chaîne de mesure de l'oxygène dissous, comprenant une sonde, un transmetteur avec indication locale. Le transmetteur délivre un signal qui servira à piloter le fonctionnement des aérateurs de surface en fonction de la variation du taux d'oxygène dissous. Chaque bassin est équipé au niveau du radier, d'une tuyauterie de vidange avec vanne d'isolement raccordée au réseau d'égout retournant en tête de la station. (**Figure IV. 4**) [43]



Clarificateur



Bassin de chloration



Bassin d'aération



Épaisseur



Lits de séchage

Figure IV.4 Traitement biologique dans la STEP de Saida.

IV.5.3 Les paramètres de dimensionnement du traitement biologique

Les caractéristiques de l'effluent à l'entrée des ouvrages du traitement biologiques sont :

- La charge en DBO_5 : 9000 kg/j
- La charge en MES : 12000 kg/j

Bassin d'aération compte tenu d'un rejet inférieur à 30 mg/l en DBO_5 , le rendement d'épuration serait de l'ordre de 95%. En fonction de ce rendement, nous avons considéré les données suivantes :

- La charge volumique : 0,34 kg $\text{DBO}_5/\text{m}^3/\text{j}$
- La charge en boues : 5 g/l
- La charge massique : 0,07 kg $\text{DBO}_5/\text{kg boues/j}$ [3]

IV.6 Bassin d'aération

Les réacteurs biologiques doivent couvrir les besoins en oxygène liés à la dégradation bactérienne aérobie et la maîtrise de la nitrification et de la dénitrification. Ce poste représente, pour une installation à boues activées, 60 à 80 % de la dépense énergétique totale d'exploitation. [3]

Dans la STEP de Saida, il y a deux bassins d'aération distincts et identiques ayant les caractéristiques suivantes :

- Longueur : 66 m
- Largeur : 44 m
- Hauteur d'eau : 4.5 m
- Volume unitaire : 13068 m^3
- Volume total : 26136 m^3 [3]

Les eaux arrivant dans ces bassins sont brassées avec la liqueur mixte et les boues de recirculation en provenance du décanteur secondaire. Il y a six (6) aérateurs identiques par bassin, de type à axe vertical et à vitesse de rotation lente, ces appareils sont montés sur passerelles en béton armé avec grande-corps et escalier d'accès en béton. Ils sont constitués d'un groupe d'entraînement et d'une turbine en rotation à la surface du liquide. (**Annexe 04**)

Les caractéristiques fonctionnelles de deux bassins sont les suivantes :

➤ **Temps de séjour :**

- Au débit moyen : 21 h
- Au débit de pointe par temps sec : 12,8 h
- Au débit de pointe par temps de pluie : 10,5 h

➤ **Besoins en oxygène :** il s'agit de l'oxygène nécessaire à :

- ✓ La synthèse de DBO_5
- ✓ La respiration des boues activées.

Les besoins théoriques en oxygène seraient :

- Besoins journaliers en oxygène : 10296 kg O_2/j
- Besoins moyens en oxygène : 429 kg O_2/h
- Besoins de pointe en oxygène : 588,7 kg O_2/h [3]

IV.7 Dispositifs d'aération :

Le brassage et l'oxygénation sont assurés par douze (12) aérateurs de surface à axe vertical. Les aérateurs à installer ont les caractéristiques suivantes :

- Nombre d'aérateurs : 12
- Puissance nominale : 75 kw
- Puissance totale nominale : 900 kw

Chaque bassin d'aération est équipé de deux sondes à oxygène. La valeur de l'oxygène dans le bassin d'aération est la moyenne des deux valeurs obtenues. **(Figure IV.5) [43]**



Figure IV.5 Mode de fonctionnement du réacteur.



Figure IV.6 Sonde à oxygène de la STEP de Saida.

Les caractéristiques des sondes d'oxygène sont citées dans l'annexe 03.

Lors de notre stage, on s'est intéressé au mode de fonctionnement des aérateurs, et nous avons suivi les paramètres qui affectent la consommation d'énergie dans la station de Saida. L'ingénieur, nous a expliqué que les aérateurs ne démarrent pas directement à haute vitesse, ils démarrent toujours de façon séquentielle, jamais deux en même temps. Les modes de fonctionnement des aérateurs sont expliqués dans les figures IV.7 et IV.9.

IV.7.1 Les modes de fonctionnement des aérateurs

En mode automatique les aérateurs toujours fonctionnent à basse vitesse pour maintenir en agitation la totalité du réacteur. S'il y a une demande additionnelle d'oxygène les aérateurs de surface peuvent démarrer selon 4 modes de fonctionnement :

- À partir des valeurs de la sonde SO_{X1} (sonde 1 oxygène pour le réacteur n°1) y SO_{X3} (sonde 1 oxygène pour le réacteur n°2) ;
- À partir des valeurs de la sonde SO_{X2} (sonde 2 oxygène pour le réacteur n°1) y SO_{X4} (sonde 2 oxygène pour le réacteur n°2) ;
- À partir des valeurs de la moyenne des valeurs des sondes SO_{X1} et SO_{X2} (sonde 1 et 2 pour le réacteur n°1) et à partir de la moyenne des valeurs des sondes SO_{X3} et SO_{X4} (sonde 1 et 2 pour le réacteur n°2) ;
- À partir d'une programmation de temps de démarrage et d'arrêt les 24 heures de la journée.[3]

IV.7.2 Séquence de démarrage

Pour les trois premiers modes, l'ordre du fonctionnement est le suivant :

- Le 1 ou le 2 (en fonction du nombre d'heures qu'ils ont et en fonction de s'ils sont en Automatique - 0 - Manuel),
- Ensuite les 3 ou les 4. (**Figure IV.7**)

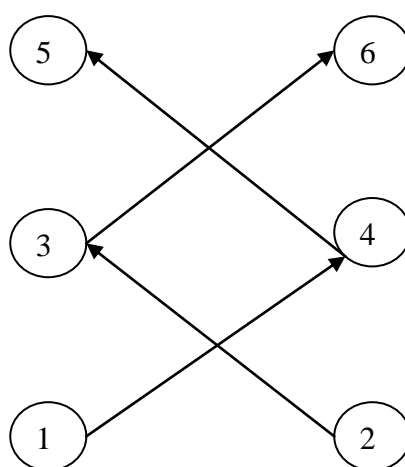


Figure IV.7 Schéma explicatif des séquences de démarrage des aérateurs de la STEP de Saida.

Pour la programmation de temps de démarrage et d'arrêt, l'opérateur pourra sélectionner au moyen d'une grille de travail le fonctionnement (en vitesse lente, rapide ou arrêté) des aérateurs dans des intervalles de 30min. pendant 24 heures. Le démarrage des aérateurs à haute vitesse toujours sera en forme de zigzag pour éviter la création de chemins préférentiels et augmenter l'agitation de tout le système. [3]

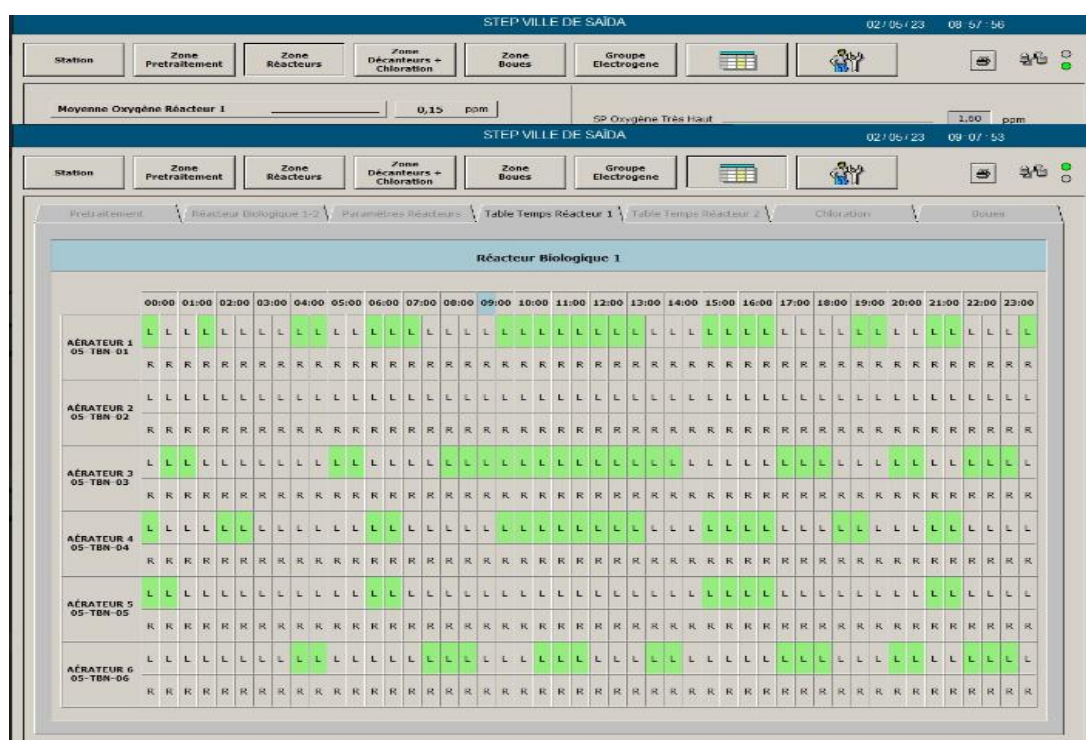


Figure IV.8 Calendrier de mode temps.

En référence à l'arrête des aérateurs nous avons les méthodes suivantes :

- Arrête en mode sonde
- Arrête en mode moyenne (une comparaison interne entre les valeurs d'oxygène des deux sondes). (**Figure IV.9**)

Dans le cas du réacteur numéro 2 l'arrêt des aérateurs sera analogue. [3]

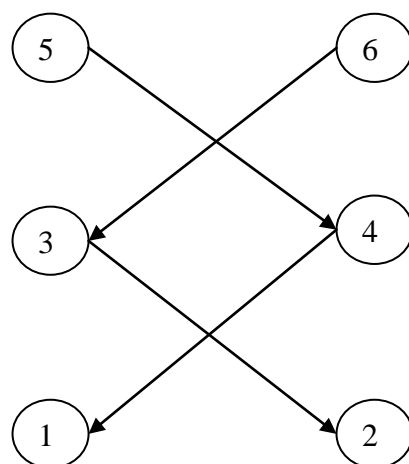


Figure IV.9 Schéma explicatif de la méthode d'arrêt des aérateurs de la STEP de Saida.

IV.8 Poste de pompage des boues secondaires

Les boues reprises au centre des décanteurs sont dirigées gravitairement par l'intermédiaire de tuyauterie vers la station de pompage des boues secondaires pour y être recirculées en tête des bassins d'aération ou refoulées vers le traitement des boues. [3]

IV.8.1 Boues de recirculation

L'efficacité des procédés du traitement biologique par boues activées est basée sur une recirculation importante des boues provenant de la décantation secondaire vers les bassins d'aération. La recirculation dont le but est de maintenir la concentration nécessaire en boues activées, dans les bassins d'aération pour l'obtention de rendements épuratoires requis. Le débit de recirculation des boues est 80% de débit à l'entrée du réacteur qu'il faut recirculer. [3]

IV.8.2 Les modes de fonctionnement des pompes de recirculation

Les pompes fonctionnent en deux modes :

- **Mode manuel** : les pompes de recirculation sont en sélection MANUEL sur le tableau de commande. Dans ce cas, l'opérateur commande les pompes par actionnement du bouton-poussoir du tableau de commande. L'opérateur peut démarrer les pompes via boutons-poussoirs locales.
- **Mode automatique** : le fonctionnement des pompes de purge sera toujours temporisé.
 - ✓ Temps ON : Temps de fonctionnement de la pompe de purge.
 - ✓ Temps OFF : Temps d'arrêt de la pompe de purge.
 - ✓ Alternance : Temps alternance modifiable entre les deux pompes. [43]

Les caractéristiques des pompes de recirculation sont représentées dans l'annexe 05.

IV.8.3 Boues en excès

À la sortie du clarificateur, deux groupes électro-pompes (dont une de secours) assurent le transport de volume journalier des boues en excès vers l'épaississeur. Elles seront installées dans le puisard de recirculation. (Annexe 06) [3]

IV.8. 4 Age des boues

L'âge des boues correspond au rapport entre les boues présentes dans le bassin d'aération et la production journalière des boues en excès, et il nous renseigne sur le degré de stabilisation des boues. Le temps de séjour est de $T=19$ jours. [3]

IV.9 Dysfonctionnement d'exploitation

Lors de l'exploitation deux points sont à surveillés, les mousses et la remontée des boues au niveau du bassin d'aération

- **Ecumes** : dues à la prolifération de bactéries filamenteuses moussantes ou bien par surfactants non biodégradé. Peuvent compromettre la qualité de l'effluent par perte de solides et provoquer des problèmes de salubrité.
- **Bulking filamenteux** : produit quand la présence des bactéries filamenteuses augmente et en plus s'étend au-delà de la surface. Provoquent des problèmes de gestion des décanteurs secondaires puisque la boue ne décante pas ni se compacte correctement, en plus peuvent arriver à détériorer les caractéristiques de l'effluent.
- **Bulking visqueux ou non filamenteux** : la boue acquiert une consistance gélatineuse due à un excès de polymère. Peut compromettre la qualité de l'effluent et provoquer des problèmes de sédimentation et captation. [43]

Tableau IV.1 Dysfonctionnement avec solutions au niveau du traitement biologique [3]

Dysfonctionnement	causes probables	Interventions
La présence de la mousse sur l'ouvrage	Teneur en MES trop petite	Diminuer l'aération et attendre une montée en charge dans le bassin
	Oxygénation trop importante	Vérifier les nitrates et nitrites et diminuer les heures d'aération
La remontée des boues au niveau des aérateurs	Recirculation insuffisante sur oxygénation au niveau d'aérateur, mauvais indice de Mohlmann	Augmenter la recirculation et diminuer le temps d'aération
	Mauvaise décantation des boues, âge de boues trop élevée et fermentation des boues	Rectifier le taux d'extraction des boues
Impossible de montée la concentration en oxygène	Mauvaise indication de l'oxymètre	Vérifier l'étalonnage
	Temps de marche des aérateurs insuffisant	Augmenter le temps de marche
	Bassin trop chargé	Augmenter le temps d'extraction des boues
	Débit trop important sur la ligne	Vérifier le débit-ajouter une ligne éventuellement
	Recirculation trop importante	Apprendre en compte éventuellement
Remontée de boues sur le clarificateur	Pont décanteur à l'arrêt	Vérifier son fonctionnement
	Raclage de surface inopérant	Régler les lames de raclage
	Débit trop important sur la ligne	Vérifier le débit et agir en conséquence
	Extraction faible ou arrêtée	Vérifier les pompes d'extraction
	Recirculation trop faible	Vérifier les pompes de recirculation
	Dénitrification « buckling »	Réajuster les réglages de l'OD dans aération
Impossible d'extraire des boues	Pompe ne débite pas	Pompe mal placée sur son socle
		Sens de rotation
		Tuyauterie bouchée au refoulement
		Clapet bouché
Pas de débit de recirculation	Pompe ne débite pas	Pompe mal placée sur son socle
		Sens de rotation
		Tuyauterie bouchée au refoulement
		Vérifier le débit mètre

IV.10 Consommation d'énergie

La consommation d'énergie dans la station d'épuration de Saida est de 15120 kwh/j pour un temps de marche de 20 h/j pour une puissance absorbée de 756 kw pour les 12 aérateurs (**Tableau IV.1**)

Tableau IV.2 La consommation d'énergie dans la station d'épuration de Saida [3]

Description	Unité		Puissance installée		Puissance absorbée		Temps opération	Consom. d'énergie
	Instal.	Simult.	unitarien	Simult.	unitarien	Simult.		
			kw	kw	kw	kw		
Turbine d'aération	12	12	75	900	63	756	20	15120
Mécanisme décanteur	2	2	0,37	0,74	0,30	0,60	24	14,40
Pompe centrifuge	3	2	30	60	18,50	37	24	888
Pompe centrifuge	2	1	1,90	1,90	1,30	1,30	24	31,20

IV.11 Salle de commande

C'est le lieu le très important dans toutes les installations automatisées, elle nous donne le pouvoir de démarrer, stopper et contrôler l'état de fonctionnement de chaque équipement installé, avec la modification et l'enregistrement de tous les paramètres du procès. La salle de commande dans la STEP équipé par :

✓ **Les éléments de contrôle**

La station d'épuration de la wilaya de SAIDA équiper par un système de contrôle qui est réalisé en :

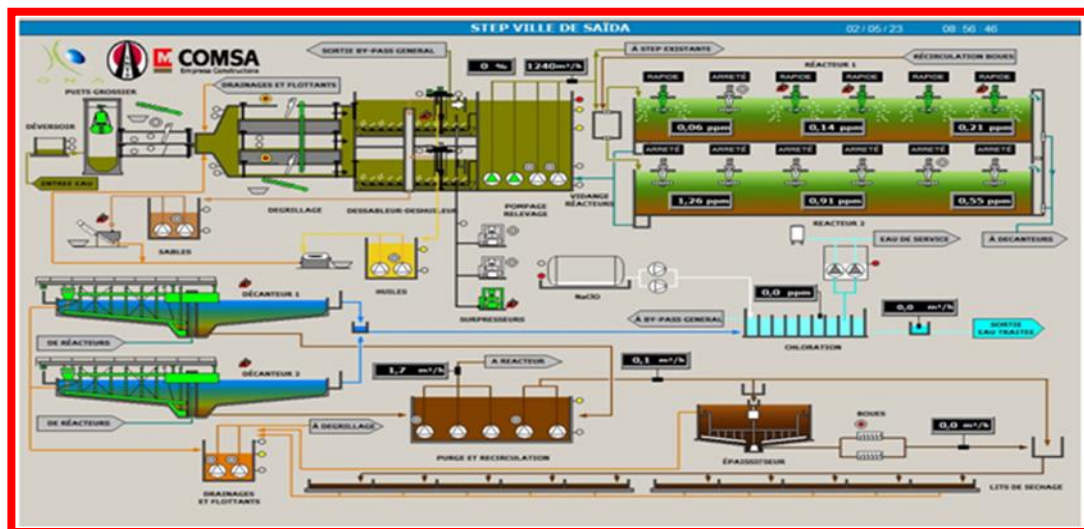
- **Automatique** : les équipements sélectionnés avec mode automatique fonctionnent à partir du programme SCADA.
- **Distant** : les équipements sélectionnés avec mode distant seront commandés à partir de la salle de contrôle (pupitre ou SCADA).
- **Manuel** : les équipements sélectionnés avec mode manuel fonctionnent à partir des commutateurs et boutons poussoirs.
- **Local** : les équipements sélectionnés avec mode local sont commandés à partir des boutons poussoirs et des commutateurs à côté de l'équipement. [43]



Boutons poussoirs locaux



Armoires électriques



SCADA



Pupitre

Figure IV.10 Les éléments de controle de la STEP de Saida.

IV.12 Conclusion

Nous pouvons conclure que la station d'épuration de la ville de Saïda fonctionne à boues activées à faible charge, et combine une série d'ouvrages et de dispositifs, afin d'éliminer la pollution carbonée (DBO_5 , DCO et MES) présente dans les eaux résiduaires domestiques. Ce stage nous a permis de comprendre le fonctionnement de différentes étapes d'épuration via SCADA. Durant cette période, nous nous sommes intéressés au fonctionnement des aérateurs, ce qui nous a permis de suivre la variation de la concentration d'oxygène dans les bassins d'aération, en adaptant l'aération à la variation des charges polluantes entrantes dans la STEP. Les résultats présentés dans la partie discussion sont les seules données étudiées. Malheureusement, le manque de réactifs nous a empêchés de bien détailler notre objectif.



CHAPITRE V

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

V.1 Introduction

L'objectif du traitement des eaux résiduaires est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictées par la législation et pouvant par suite être évacuée sans danger dans le milieu naturel ou bien être utilisée dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau (recyclage), plus particulièrement en agriculture. Le présent chapitre a pour objectif le suivi d'élimination des paramètres de pollution carbonée, à savoir la DCO, DBO₅ et MES. Le calcul des charges polluantes à l'entrée de la STEP, l'estimation des besoins journaliers en oxygène et la consommation d'énergie.

V.2 Analyse des données

D'après la base de données collectée pendant le mois d'avril (2023) du fonctionnement de la station (Annexe 08).

V.2.1 Les paramètres physico-chimiques des eaux

a) Le débit journalier entré à la station

La figure (V.1) illustre la variation des débits journaliers des eaux usées brutes à l'entrée de la station durant le mois d'avril (2023).

L'analyse de l'allure de l'histogramme de la Figure V.1, montre une variation du débit des eaux résiduaires, elle varie entre 18093 et 22186 m³/j avec une moyenne de 19885 m³/j. Le volume des eaux résiduaires varie significativement du jour au jour. Il est influencé par le mode d'utilisation des eaux de consommation qui s'accompagne inévitablement d'une production croissante des rejets polluants. Il est inférieur à la charge hydraulique nominale de la STEP qui est de 30000 m³/j.

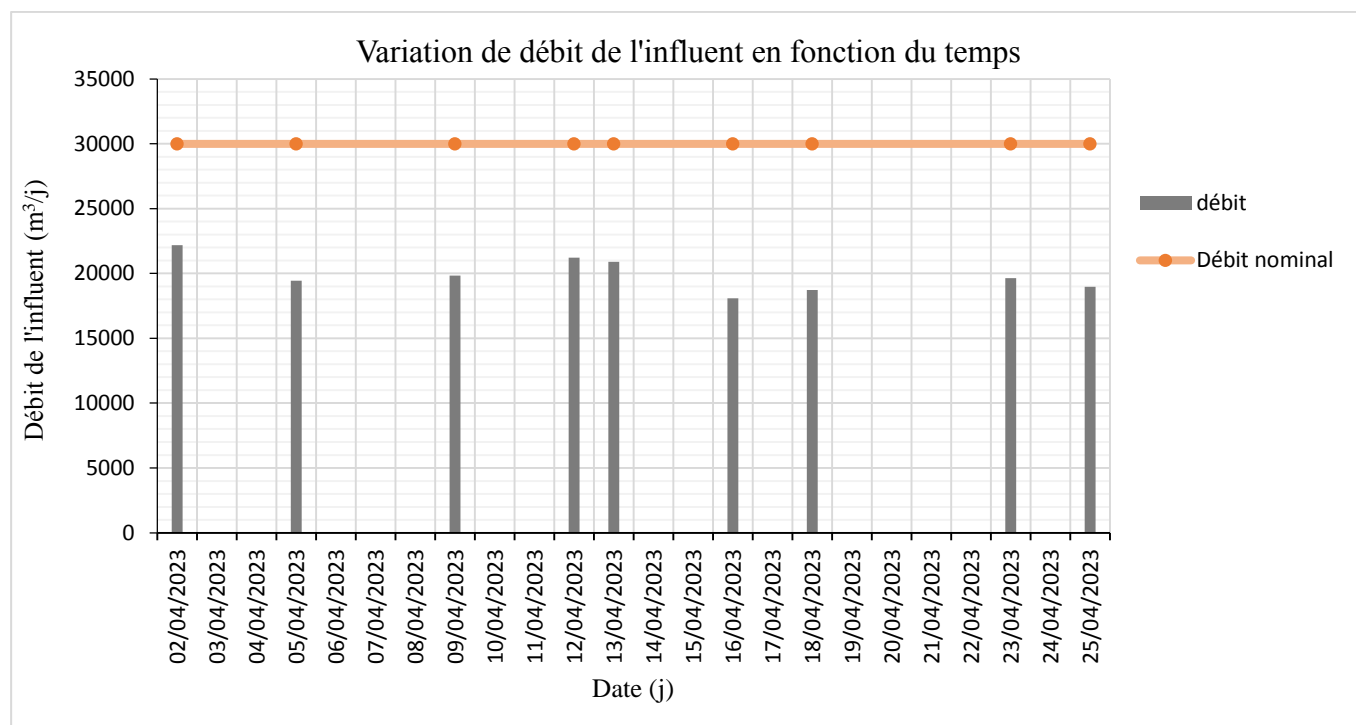


Figure V.1 Variation journalière du débit entré à la station.

b) La température

La température des eaux épurées est comprise entre 17,1 °C et 23,5 °C comme valeur extrême minimale et maximale. Ainsi la température de 19,52 °C est adoptée comme valeur moyenne. La figure (V.2) présente des variations journalières des températures des eaux usées épurées enregistrées au cours de la période d'étude. La comparaison des valeurs de température des eaux usées et épurées sont dans les normes (inférieures à 30 °C considérées comme valeur limite de rejet).

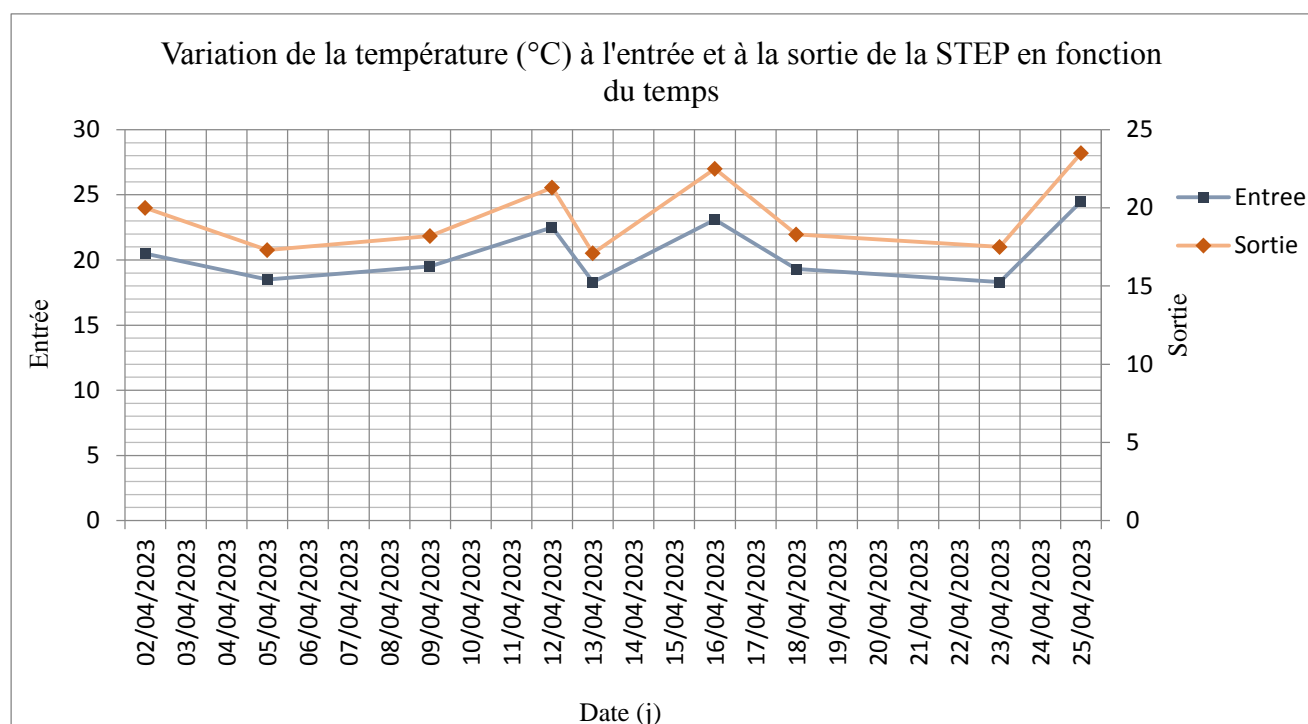


Figure V.2 Variation journalière de la température.

c) Le pH

Le pH indique l'alcalinité des eaux usées. Son rôle est capital pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimum variant de 6,5 à 7,5. Lorsque le pH est inférieur à 5 ou supérieur à 8,5 la croissance des microorganismes est directement affectée. Les valeurs de pH mesurées varient peu et restent autour de 7,76 et 8,3 pour des eaux usées épurées (**Figure V.3**).

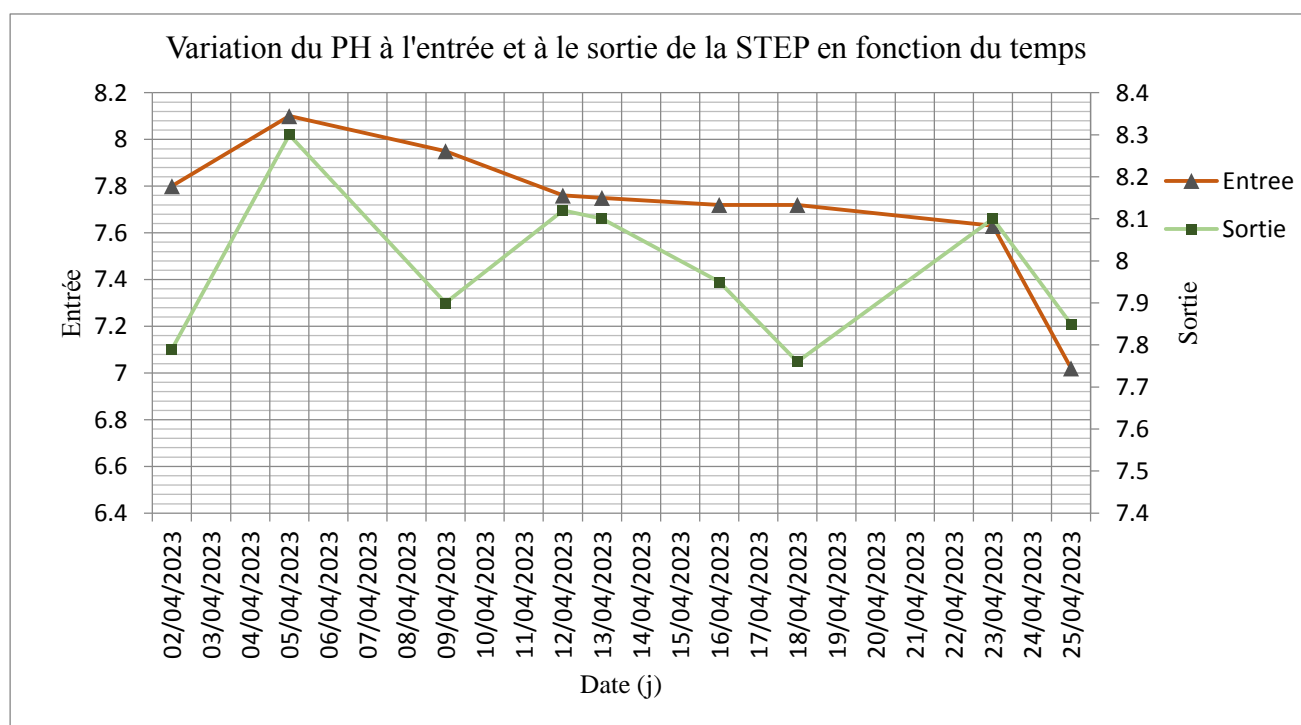


Figure V.3 Evaluation journalière du pH.

V.2.2 Les paramètres de pollution des eaux

Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, aussi se réfère-t-on à quelques paramètres de pollution pour les caractériser. Ils sont généralement exprimés en mg/l.

a) La demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO_5) :

La figure (V.4) montre les valeurs journalières de la DBO_5 enregistrées dans les eaux usées brutes de la STEP qui varient de 90 mg/l à 830 mg/l avec une valeur moyenne de l'ordre de 314 mg/l. Les valeurs de la DBO_5 les plus fortes (comprises entre 460 et 830 mg/l) sont enregistrées le 05 et le 25 avril. À la sortie de la STEP, les valeurs de la DBO_5 ne dépassent pas 12 mg/l. Les valeurs de la DBO_5 des eaux épurées de la STEP de SAIDA sont au-dessous de celle guide retenue par la norme algérienne qui est de l'ordre de 35 mg/l.

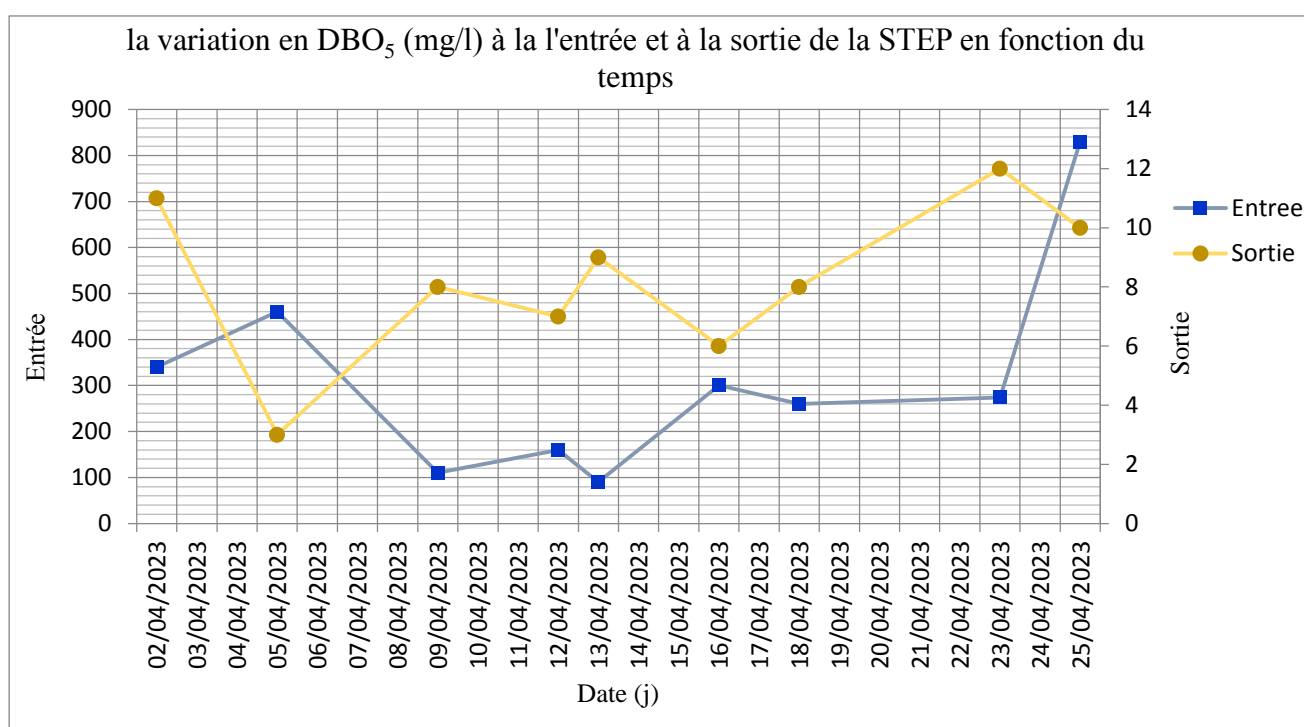


Figure V.4 Variation journalière de la DBO_5 .

b) La demande chimique en oxygène (DCO)

La figure (V.5) montre les valeurs journalières de la DCO enregistrées dans les eaux usées brutes de la STEP qui peut atteindre jusqu'à 1298 mg/l, avec une moyenne de 557 mg/l. D'après les résultats on remarque que la DCO à l'entrée de la STEP est élevée, cela est due au rejet des polluant organique (matière organique biodégradable et non biodégradable). En revanche les valeurs de la DCO à la sortie de la STEP sont comprises entre 7,5 et 32 mg/l inférieure à 90 mg/l, ceci s'explique par une bonne oxydation des matières organiques biodégradables et non biodégradables au niveau du bassin d'aération. En référence à la valeur guide retenue par la norme algérienne, nous pouvons affirmer que celles de la DCO des eaux épurées de la STEP de SAIDA sont correctes du fait qu'elles font moins

de la moitié de la valeur fixée à 120 mg/l. Elles respectent les normes de rejet dans le milieu récepteur.

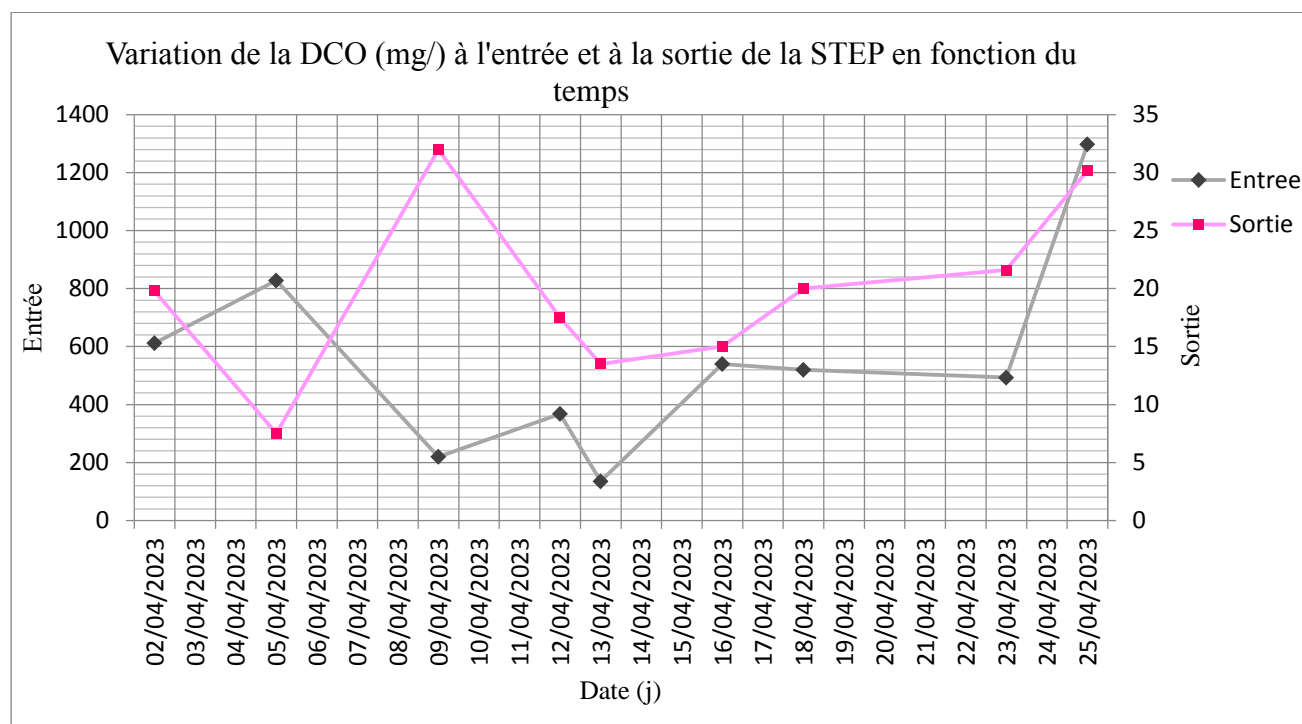


Figure V.5 Variation de la demande chimique en oxygène DCO.

c) Les matières en suspension MES

À l'entrée de la STEP les teneurs en MES présentent des variations journalières, elles dépassent généralement 126 mg/l à l'exception du 23 avril 113,33 mg/l. La valeur moyenne est de l'ordre de 246,96 mg/l (**Figure V.6**). À la sortie de la STEP les teneurs en MES relevées ne dépassent pas 40 mg/l et la teneur moyenne est de l'ordre de 26,7 mg/l. Les teneurs en MES des eaux usées épurées de la STEP de SAIDA ne dépassent pas la valeur guide admise par la norme algérienne qui est de 35 mg/l.

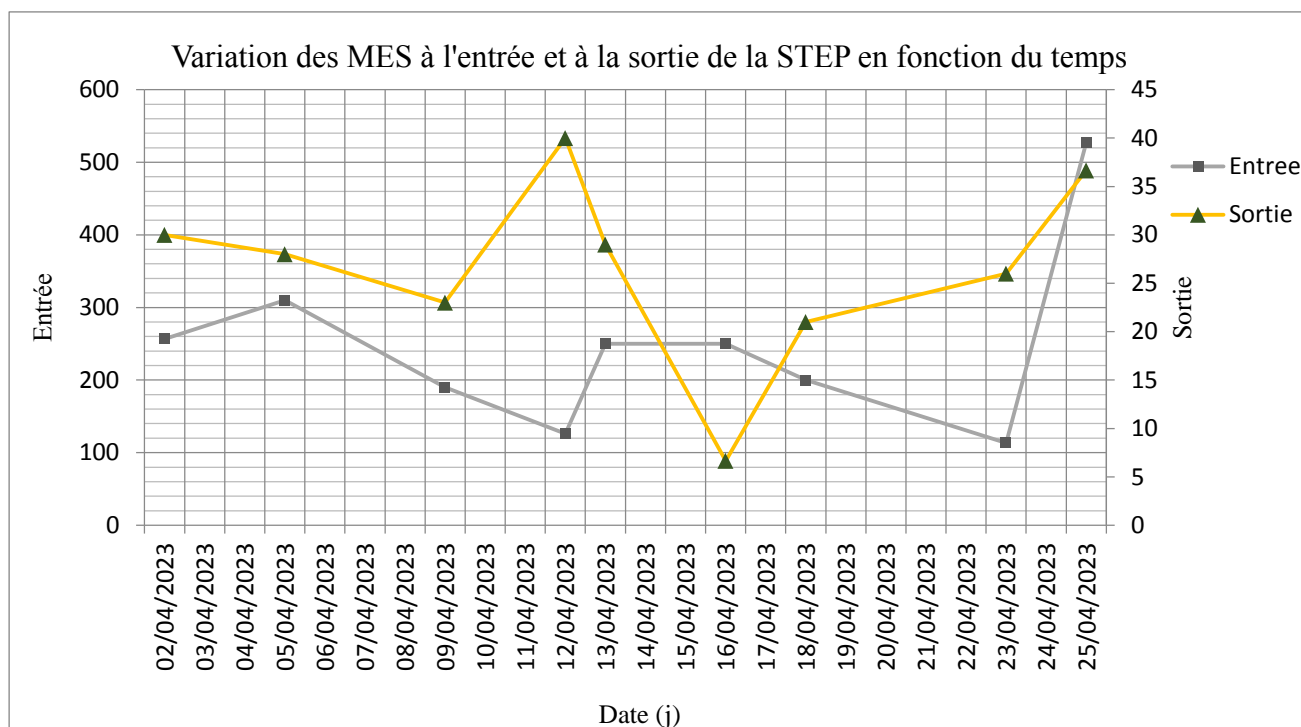


Figure V.6 Variation des matières en suspension MES.

d) Rendements épuratoires de la STEP

Le calcul du taux d'abattement d'un paramètre R, exprimé en pourcentage est calculé selon la formule suivante : $R = (C_e - C_s) / C_e \times 100$

Où :

- R : Le rendement épuratoire ;
- C_e : La concentration à l'entrée de la STEP ;
- C_s : La concentration à la sortie de la STEP.

Les rendements épuratoires de la STEP de Saida des prélèvements effectués au mois d'avril 2023, sont présentés dans les figures V.7, V.8 et V.9.

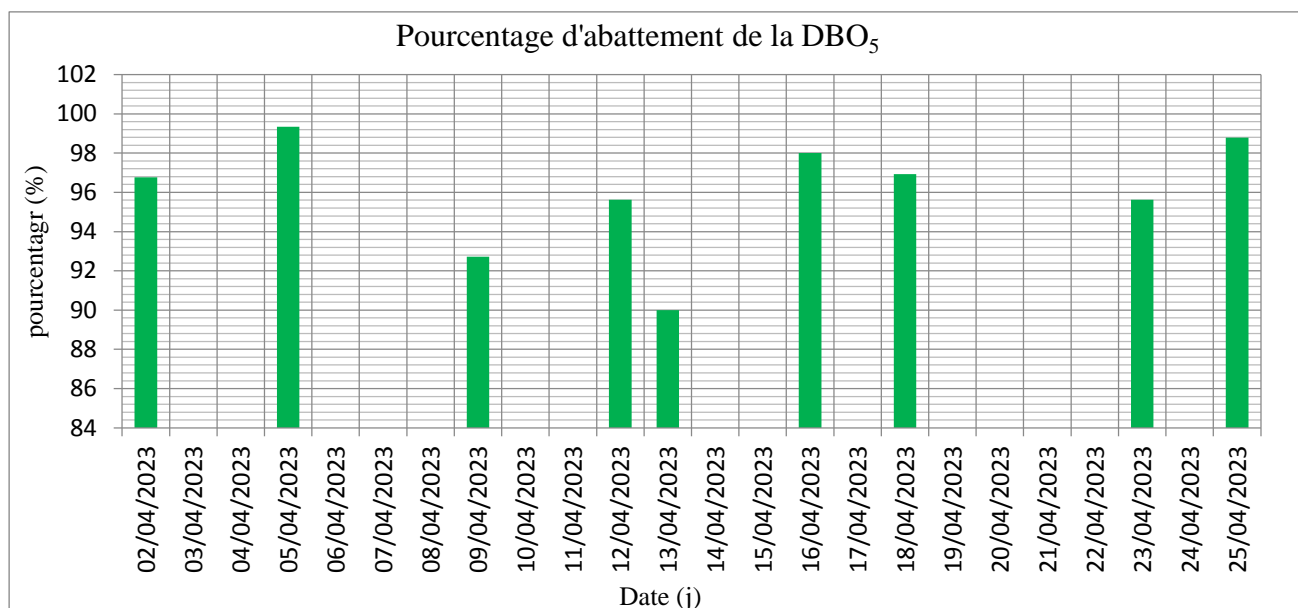


Figure V.7 Pourcentage d'abattement de la DBO₅ de la STEP de Saida pendant la période d'étude.

Le rendement d'abattement du paramètre DBO₅ enregistrés sur les périodes d'étude a atteint 99% le jour du 05/04/2023 et une moyenne de 96%. Les résultats sont montrés sur la Figure V.7.

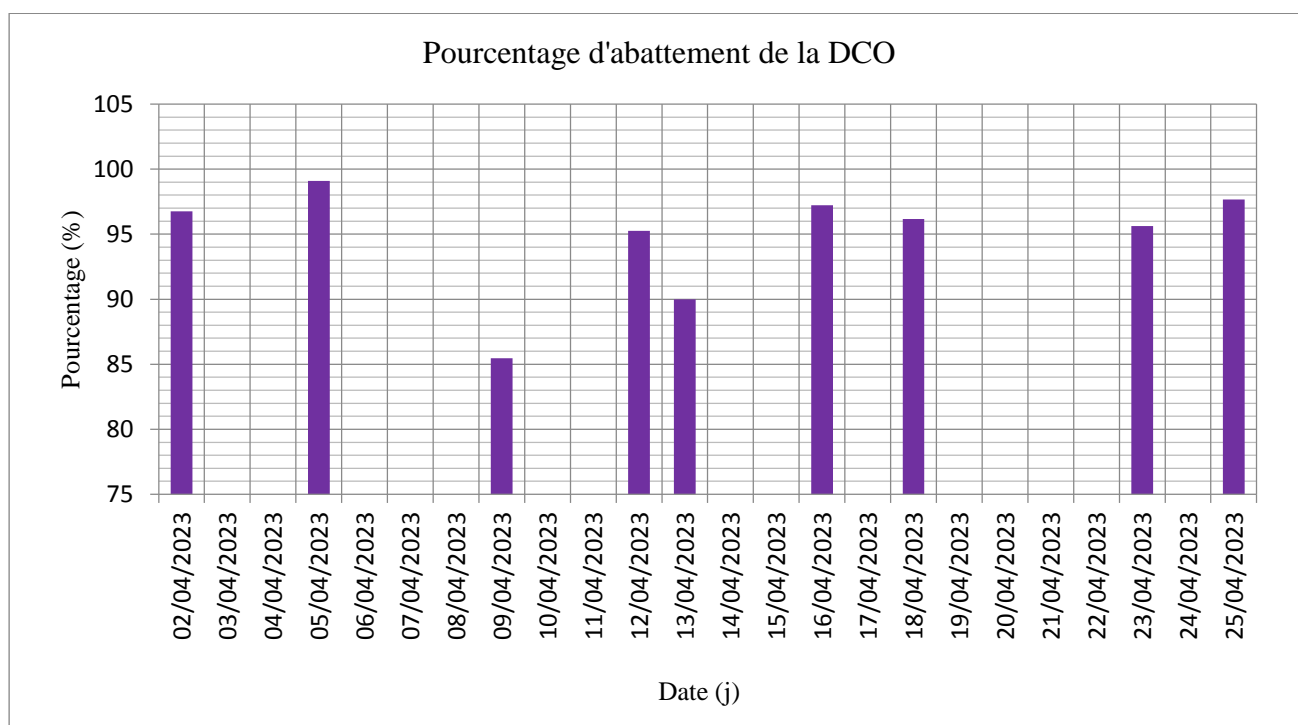


Figure V.8 Pourcentage d'abattement de la DCO de la STEP de Saida pendant la période d'étude.

Pour la DCO le rendement obtenu dépasse les 95% pour toutes les dates sauf le jour du 04 et 13 Avril les valeurs sont de 85% et 90% respectivement. La STEP a atteint le 05/04/2023 un rendement de 99% (**Figure V.8**).

Les résultats de rendement obtenus sur les MES sont présentés sur la Figure V.9, les rendements des MES sont élevés plus de 88%. Sauf les jours du 12 et 23 avril les valeurs sont de 68% et 77% respectivement.

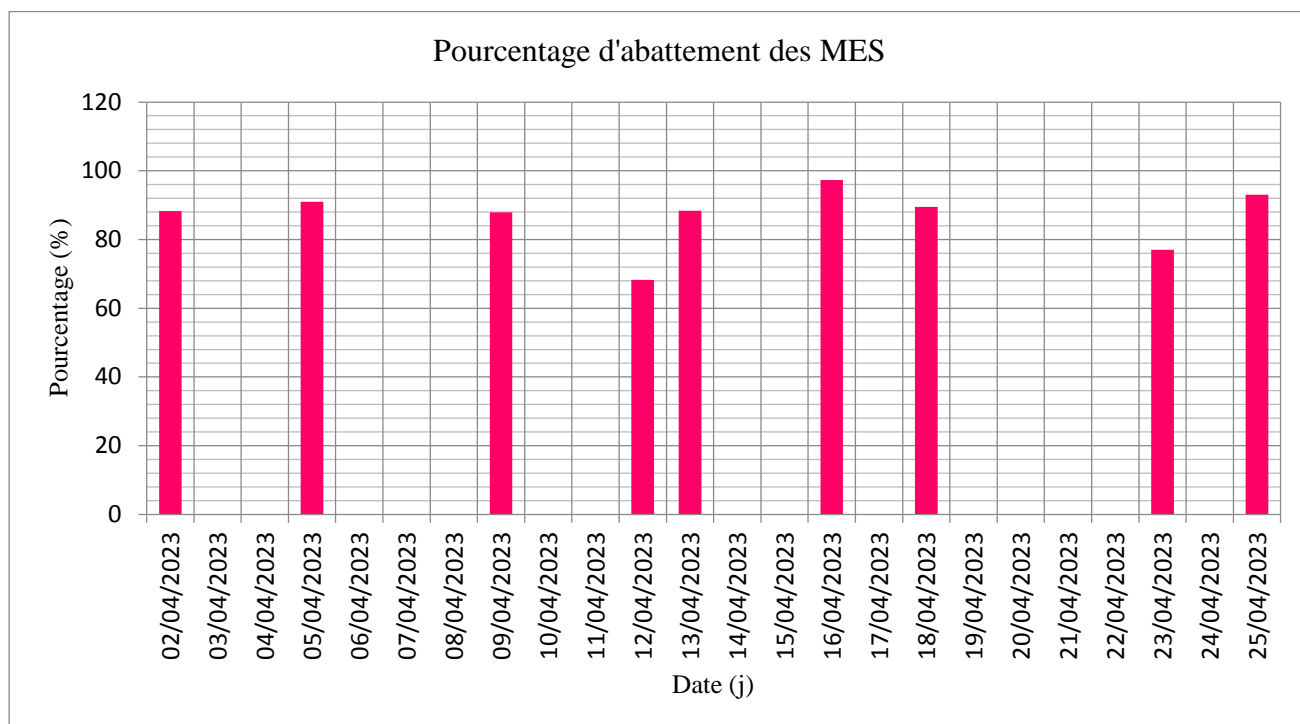


Figure V.9 Pourcentage d'abattement des MES pour la STEP de Saida pendant la période d'étude.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que les rendements de l'abattement de la pollution caractérisée par la DCO, DBO₅ et MES sont supérieurs 95%. Ceci s'explique par un bon fonctionnement du système biologique (bassin d'aération et clarificateur)

e) Ratios file eau

D'après une étude de l'IRSTEA sur des eaux usées en boues activées de aération prolongée, 1 mg de MES en sortie de station municipale apporte en moyenne 1,2 mg de DCO et 0,5 mg de DBO₅. [5]

1. Indice de biodégradabilité : Rapport DCO/DBO₅

Le rapport DCO/DBO₅ donne un indice sur la provenance et l'origine de la pollution organique.

- De 1 à 2 : eaux usées provenant d'industries agroalimentaires (lait, yaourt), qui contiennent des éléments dont les bactéries raffolent, se traduisant par une DBO₅ élevée.
- Entre 2 à 3 : eaux résiduaires urbaines.
- De 3 à 4 : Eaux usées moins facilement biodégradable.
- > 4 : Effluent difficilement biodégradable. [5]

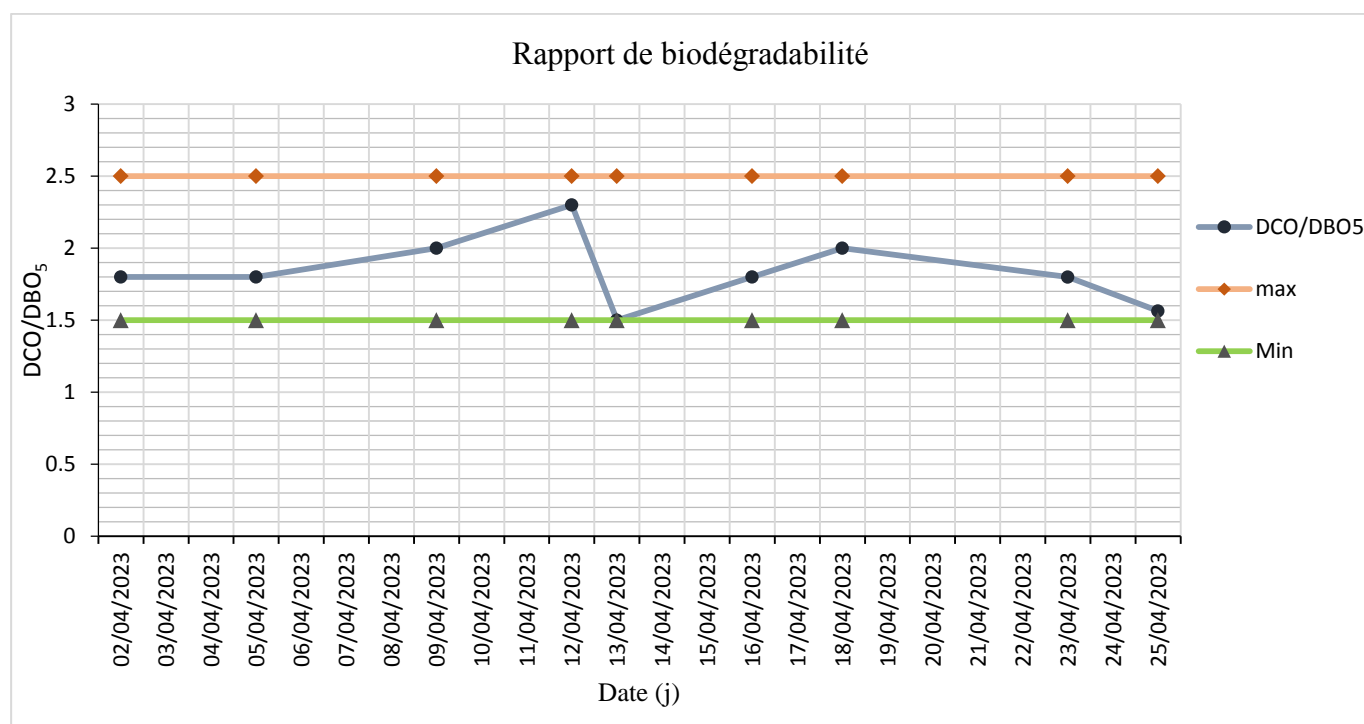


Figure V.10 Rapport de biodégradabilité.

La figure V.10 représente le rapport DCO/DBO₅ qui caractérise la biodégradabilité de des eaux usées est important à l'entrée de la station, le ratio DCO/DBO₅ variant de 1,5 à 2,3 avec une moyenne de 1,84 conforme avec celui des eaux usées urbaines à dominance domestique présentant un rapport DCO/DBO₅ inférieurs à 3. On peut donc conclure que même si les eaux usées de ce rejet urbain présentent une charge organique élevée, elles sont facilement biodégradables.

f) Rapport MES/DBO₅

Les caractéristiques de l'eau brute (concentrations, rapports MES/DBO₅, % MVS ...) sont très variables selon l'origine de l'eau (type de réseau d'égout, climat, habitudes alimentaires...).

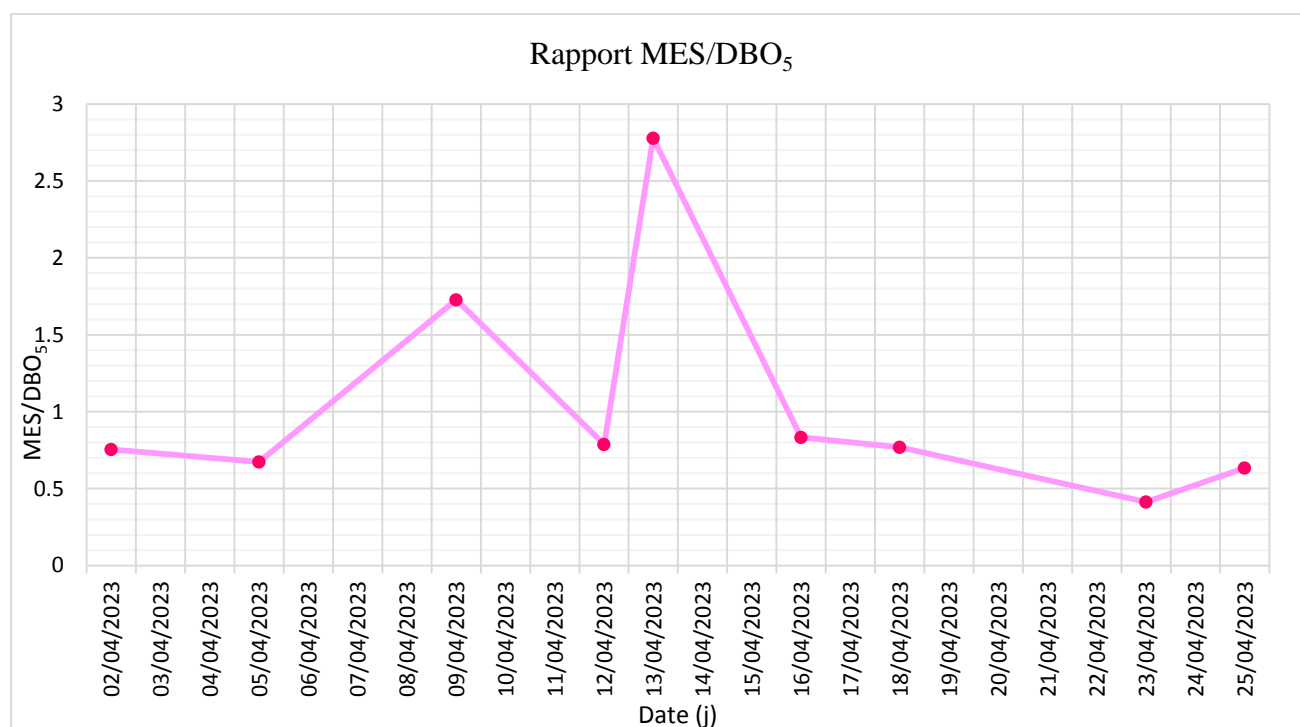


Figure V.11 Rapport de MES/DBO₅.

Le rapport MES / DBO₅ varie 0,41 à 2,77 avec une moyenne de 1,04 (**figure V.11**), ce rapport est dans les normes d'une eau usée urbaine. Par exemple, le rapport MES / DBO varie d'une valeur inférieure à 1 en Amérique latine à 2 pour certaines eaux résiduaires en Inde, pour une moyenne de 1,2 en France.

V.3 Détermination des paramètres fondamentaux du bassin d'aération

Cette partie détermine quatre paramètres fondamentaux à faible charge, la charge massique, l'âge de boue, l'indice de boue et la recirculation

- 1) La charge polluante en DBO₅** : la charge polluante en DBO₅ calculée par la formule (1) présentée dans le troisième chapitre.

Exemple de calcul : pour une concentration en DBO₅ = 340mg/l, et un débit = 22186 m³/j

$$(\text{DBO}_5) = \frac{340 \times 22186}{1000} = 7543,24 \text{ Kg/j}$$

Les résultats obtenus sont présentées dans le tableau V.1

Tableau V.1 La charge polluante de la STEP de Saida

		Eau brute					Eau épurée				
Date	Débit jour. m ³ /j	Charge kg/j			Temp °C	PH	Charge kg/j			Temp °C	PH
		DBO ₅	DCO	MES			DBO ₅	DCO	MES		
02/04/2023	22 186	7543,24	13577,83	5694,26	20.5	7.80	244,05	439,28	665,58	20	7.79
05/04/2023	19 434	8939,64	16091,35	6024,54	18.5	8.10	58,30	145,76	544,15	17.3	8.30
09/04/2023	19 836	2181,96	4363,92	3768,84	19.5	7.95	158,69	634,75	456,23	18.2	7.90
12/04/2023	21 213	3394,08	7806,38	2672,84	22.5	7.76	148,49	371,23	848,52	21.3	8.12
13/04/2023	20 889	1880,01	2820,02	5222,25	18.3	7.75	188,00	282,00	605,78	17.1	8.10
16/04/2023	18 093	5427,90	9770,22	4523,25	23.1	7.72	108,56	271,40	120,50	22.5	7.95
18/04/2023	18 717	4866,42	9732,84	3743,40	19.3	7.72	149,74	374,34	393,06	18.3	7.76
23/04/2023	19 631	5378,89	9678,08	2224,78	18.3	7.63	235,57	424,03	510,41	17.5	8.10
25/04/2023	18 966	15741,78	24617,87	9988,63	24.5	7.02	189,66	572,77	695,29	23.5	7.85

2) **La charge massique :** la charge massique est calculée par la formule (3) indiquée dans le troisième chapitre, et ces résultats sont représentés dans le tableau V.3.

Exemple de calcul : pour une charge polluante (DBO₅) = 7543,24 ; un volume du bassin V = 26136 m³ ; et une concentration de boues C_B = 4 mg/l

$$C_m = \frac{7543,24}{26136 \times 4} = 0,07$$

3) **La production journalière de boues (ΔMES):** la production journalière de boues est calculée par la formule (4) dans chapitre III

Exemple de calcul : pour une charge de DBO₅entrée = 7543,24 Kg/j ; et de MES_{entrée} = 5694,26 Kg/j

$$\Delta \text{MES} = \frac{0,84[7543,24 + 5694,26]}{2} = 5559,75 \text{ Kg/j}$$

4) **L'Age des boues** : le calcul de l'âge de boues est effectué par la formule (5) dans le chapitre III.

Exemple de calcul : pour une production de boues $\Delta\text{MES} = 5559,75 \text{ Kg/j}$, et un volume du bassin $V = 26136 \text{ m}^3$

$$A = \frac{26136 \times 4}{5559,75} = 18,80 \text{ j}$$

Les résultats du calcul de la production journalière de boues et l'âge de boue pour la STEP sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau V.2 Estimation de la production et l'âge de boues

La date	C_B	$\text{DBO}_{5\text{entrée}}$	$\text{MES}_{\text{entrée}}$	ΔMES	A
	(g/l)	(Kg/j)	(Kg/j)	(Kg/j)	(j)
02/04/2023	4	7543,24	5694,26	5559,75	19
05/04/2023	4	8939,64	6024,54	6284,96	17
09/04/2023	4	2181,96	3768,84	2499,34	42
12/04/2023	4	3394,08	2672,84	2548,11	41
13/04/2023	4	1880,01	5222,25	2982,95	35
16/04/2023	4	5427,90	4523,25	4179,48	25
18/04/2023	4	4866,42	3743,40	3616,12	29
23/04/2023	4	5378,89	2224,78	3193,54	33
25/04/2023	4	15741,78	9988,63	10806,77	10

L'âge des boues est la durée, en jours, pendant laquelle les solides ou les bactéries sont sous aération. Il est utilisé pour maintenir la bonne quantité de boues activées dans les bassins d'aération. Il est choisi de façon à favoriser une qualité de la biomasse qui offre de bonnes caractéristiques de décantation. Pour la STEP de Saida, le dimensionnement a donné un âge des boues de 19 j. [43]

Le calcul de l'âge des boues pour les jours étudiés est présenté dans le tableau V.2, il varie de 10j à 42j. Il n'est généralement pas recommandé dans l'exploitation de dépasser 30 jours d'âge de boues. Il a dépassé les 30 jours pour les dates de 09/12/13 et 23 avril, cela est dû probablement aux faibles concentrations de DBO_5 et en MES à l'entrée de la STEP ces jours-là. La documentation indique que, lorsque l'âge des boues est élevé, la biomasse a tendance à défloculer, limitant ainsi la décantation.

5) La recirculation : S'assurer d'un débit permanent de recirculation égal à :

- 150 % du débit de pointe en eau brute.
- 200 % du débit moyen diurne (8 h à 22 h) en eau brute.

V.4 Estimation du besoin d'oxygène

Pour de nombreuses stations d'épuration, la demande en carbone doit être considérée comme 2 composantes :

- 1-** Oxygène pour fournir les boues actives afin d'éliminer le carbone soluble (DBO) de la solution et de faire croître davantage de boues. Cette conversion du carbone en cellules est la réaction de synthèse nécessitant environ 0,5 à 0,6 O_2/DBO (kg O_2 /kg DBO).
- 2-** Si le processus se poursuit, une seconde demande en oxygène est exercée pour oxyder la cellule en digérant (stabilisant) les cellules. Cette deuxième phase est la respiration endogène et nécessite un supplément de 0,8 à 0,9 O_2/DBO (kg/kg). L'oxygène total requis pour l'élimination de la DBO carbonée peuvent aller de 0,7 (kg/kg DBO) pour les boues activées à haut débit avec une courte rétention de la biomasse (faible âge des boues) jusqu'à 1,5 (kg/kg DBO) pour une aération prolongée avec une longue rétention de la biomasse, c'est-à-dire (long âge des boues) dans le biosystème.

V.4.1 Estimation du besoin réel d'oxygène (AOR)

Le calcul du besoin réel d'oxygène est obtenu par l'équation (9) dans le troisième chapitre, Les résultats sont reproduits dans le tableau (V.3)

Tableau V.3 Estimation des besoins réels en oxygène (AOR)

Paramètres	Charge polluante en DBO ₅	Charge volumique	Charge massique	Coef. Respirat.	Coef. Respirat.	Quantité de boue	Besoins réels en oxygène AOR
	Kg/j	KgDBO ₅ /m ³ /j	KgDBO ₅ /kg MVS/j	a _i	b _i	kg	Kg O ₂ /h
02/04/2023	7543,24	0,29	0,07	0,69	0,09	104544	763,81
05/04/2023	8939,64	0,34	0,09	0,67	0,09		819,87
09/04/2023	2181,96	0,08	0,02	0,80	0,07		429,60
12/04/2023	3394,08	0,13	0,03	0,75	0,08		530,31
13/04/2023	1880,01	0,07	0,02	0,81	0,07		413,69
16/04/2023	5427,90	0,21	0,05	0,71	0,08		623,75
18/04/2023	4866,42	0,19	0,05	0,72	0,08		598,75
23/04/2023	5378,89	0,21	0,05	0,71	0,08		621,27
25/04/2023	15741,78	0,60	0,15	0,63	0,10		1143,98

L'estimation des besoins réels en oxygène est établie sur la base des charges polluantes en DBO₅ et en MES à l'entrée de la STEP. Le tableau V.3 résume les calculs des charges polluantes, les charges massiques et des besoins en oxygène (AOR). L'AOR augmente en fonction de l'augmentation de la charge polluante, cela s'explique par les besoins des bactéries en oxygène pour la dégradation de la pollution carbonée.

❖ Relation entre (AOR) et la charge polluante (DBO₅)

Le coefficient de corrélation est la mesure spécifique qui quantifie la force de la relation linéaire entre deux variables d'une analyse de corrélation. Le coefficient est noté r .

La mesure du débit des influents est utilisée pour déterminer les charges polluantes et régler les aérateurs, pour traiter adéquatement l'influent et respecter la conformité des rejets.

Donc d'après le coefficient de corrélation « r » (**figure V.12**) on conclut qu'il y a une association positive parfaite entre les besoins réels en oxygène (AOR) et la charge polluante (DBO₅), plus la DBO₅ augmente plus le AOR augmente.

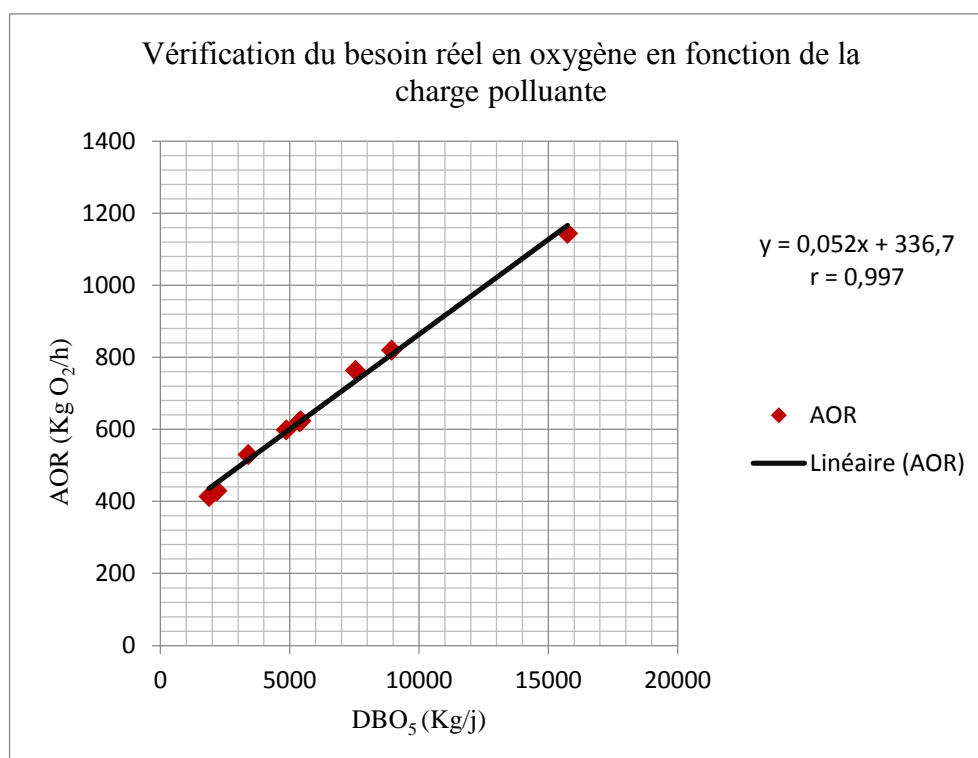


Figure V.12 Relation entre besoins réel en oxygène et charge polluante.

V.4.2 Estimation du taux de transfert d'oxygène aux conditions du procédé OTR

Le taux de transfert d'oxygène par aérateur de surface est obtenu à l'aide de l'équation (10), et les résultats sont indiqués dans le tableau (V.4)

Tableau V.4 Estimation du taux de transfert d'oxygène (OTR) pour aérateur de surface

Date (j)	Température	Concentration saturation	Concentration liquide	λ	AOR	SOTR	OTR
	°C	mg/l	mg/l		Kg O ₂ /m ³ /h	Kg O ₂ /h	Kg O ₂ /h
02/04/2023	25	8,26	0,9	0,86	0,034	888,62	764,21
05/04/2023	18,5	9,31	1,1	0,82	0,042	1097,71	900,12
09/04/2023	19,5	9,13	1	0,83	0,022	574,99	477,24
12/04/2023	22,5	8,64	0,95	0,84	0,025	653,40	548,86
13/04/2023	18,3	9,35	0,8	0,85	0,02	522,72	444,31
16/04/2023	23,1	8,54	0,98	0,84	0,034	888,62	746,44
18/04/2023	19,3	9,17	1,1	0,82	0,032	836,35	685,81
23/04/2023	18,3	9,35	1,2	0,81	0,032	836,35	677,44
25/04/2023	24,5	8,33	1,05	0,84	0,06	1568,16	1317,25

Le besoin standard en oxygène SOTR est le paramètre essentiel d'un aérateur, Il définit la quantité d'oxygène qu'il est capable d'apporter à la masse liquide dans les conditions standard.

C'est-à-dire la quantité d'oxygène qu'un système d'aération peut transférer en eau claire, à 20°C et à une pression de 1 bar.

La relation entre le besoin réel et le besoin standard est appelé le coefficient de transfert général.

On calcul ces paramètres pour déterminer le nombre et la capacité ou bien le taux de transfert d'oxygène (OTR) des appareils d'aération.

❖ La relation entre le taux de transfert (OTR) et le débit (Q)

Le coefficient de corrélation (r) entre l'OTR et le débit est proche de 0 donc absence d'une relation linéaire entre ces deux paramètres. La figure (V.13) montre que le taux de transfert d'oxygène n'est pas sensible à la variation de débit.

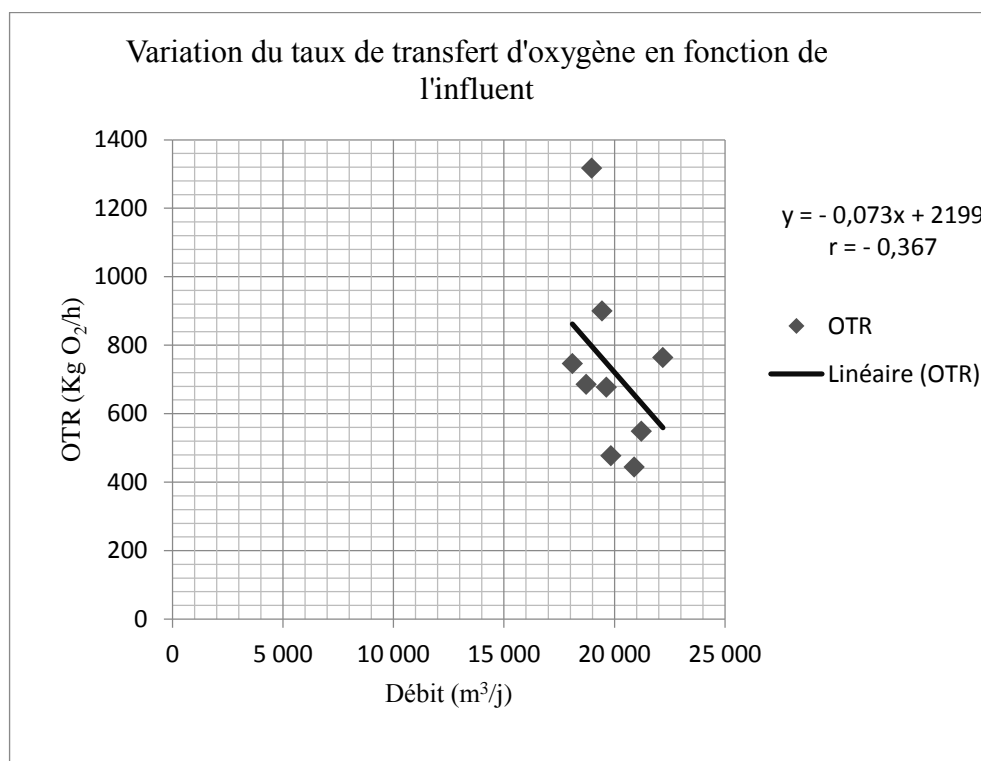


Figure V.13 Relation entre le taux de transfert d'oxygène et le débit d'influent.

❖ La relation entre le taux de transfert d'oxygène (OTR) et le besoin réel en oxygène (AOR)

D'après le coefficient de corrélation entre l'OTR et AOR ($r = 0,99$) (**figure V.14**), on peut conclure qu'il y a une parfaite relation linéaire positive entre ces deux paramètres, plus le AOR augmente plus le OTR augmente cela est dû à l'utilisation direct d'oxygène par la bactérie.

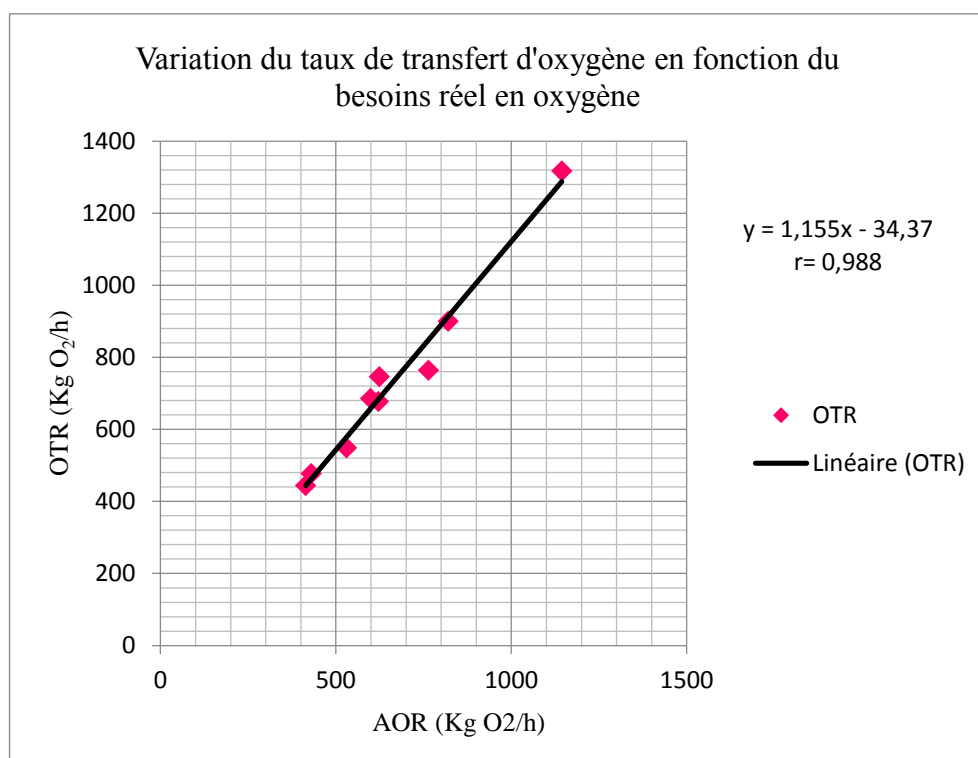


Figure V.14 Relation entre le taux de transfert d'oxygène et les besoins réels en oxygène.

❖ **La relation entre le taux de transfert d'oxygène et la charge polluante**

Le coefficient « $r = 0,99$ » (**figure V.15**) donc entre le taux de transfert d'oxygène (OTR) et la charge polluante (DBO₅) il y a une forte association linéaire positive (plus la charge polluante en DBO₅ augmente plus le OTR augmente), l'oxydation biochimique des matières organiques a besoin d'un taux élevé d'oxygène.

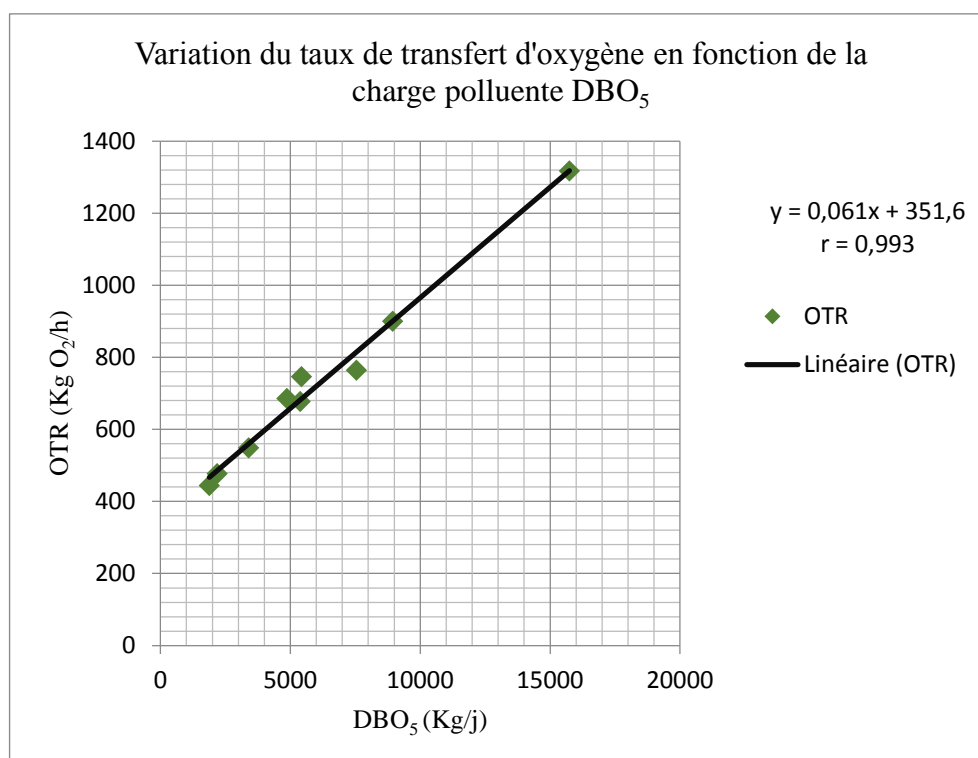


Figure V.15 Relation entre le taux de transfert d'oxygène et la charge polluante.

V.5 Estimation de consommation mensuelle d'énergie électrique :

La station de Saïda dispose de deux bassins d'aération parallèles équipés de 12 aérateurs de surface (6 par réservoir d'aération). Chaque aérateur de surface doit délivrer au minimum un besoin en oxygène de : $1296/12 = 108 \text{ Kg O}_2/\text{h}$. [43]

La puissance nominale de chaque aérateur est de 75 kWh. Sous ces conditions, la puissance nominale de l'aération est $(12 \times 75 \text{ 000}) / (26136) = 34,4 \text{ Wh/m}^3$. L'estimation théorique de la consommation mensuelle d'énergie électrique pour la station d'épuration pour le mois d'avril avec un débit moyen de $19885 \text{ m}^3/\text{j}$, a donné des valeurs suivantes : un minimum de 18671,976 kWh et un maximum de 22895,952 kWh. (Tableau V.5)

Tableau V.5 Estimation de la consommation mensuelle d'énergie électrique de la STEP de Saida

Débit	Volume	Puissance nominale	Consommation mensuelle
(m ³ /j)	(m ³)	Wh/m ³	kWh
22 186	665580	34,4	22895,952
19 434	583020	34,4	20055,888
19 836	595080	34,4	20470,752
21 213	636390	34,4	21891,816
20 889	626670	34,4	21557,448
18 093	542790	34,4	18671,976
18 717	561510	34,4	19315,944
19 631	588930	34,4	20259,192
18 966	568980	34,4	19572,912

V.6 Conclusion

Durant notre stage, on a essayé de collecter maximum de données pour interpréter les résultats obtenus. Le nombre d'échantillons qu'on a réalisés est insuffisant pour bien comprendre le fonctionnement de la STEP. On peut dire que les résultats obtenus démontrent que :

- ✓ Une bonne élimination de la pollution carbonée dépend du taux d'oxygène dans le bassin d'aération ;
- ✓ Le taux d'oxygène varie en fonction des charges polluantes ;
- ✓ La biodégradabilité des eaux résiduaires varie en fonction du temps ;
- ✓ Plus le AOR augmente plus le OTR augmente cela est dû à l'utilisation directe d'oxygène par la bactérie.
- ✓ L'âge des boues dépend de la production des boues.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

La croissance des micro-organismes dans le bassin d'aération engendre l'accroissement de la taille des flocs bactériens (particules solides) qui sont séparés dans le décanteur secondaire. La performance d'une station d'épuration dépend directement du bon fonctionnement de ces deux ouvrages « connectés ». Les recherches ont porté sur la station d'épuration à boues activées de Saida. C'est une station à faible charge, l'assainissement est assuré par un réseau unitaire qui est caractérisé par des débits d'entrées irréguliers dans le temps, variant de $18093 \text{ m}^3/\text{j}$ à $22186 \text{ m}^3/\text{j}$.

L'objectif de cette étude est de surveiller les changements des besoins en oxygène en fonction des charges polluantes dans les bassins d'aération des usines de traitement des eaux résiduaires. L'analyse des paramètres de pollution (DBO_5 , MES, DCO) est réalisée selon les normes en vigueur (**Annexe 07**). Le taux de réduction des émissions de polluants caractérisés par DCO, DBO_5 et MES est supérieur à 95 %. Le rapport DCO/DBO_5 , qui caractérise la biodégradabilité des eaux usées, varie entre 1,5 et 2,3 et l'est donc le même que celui des eaux usées municipales. L'âge des boues calculé pour le nombre de jours étudiés varie entre 10 et 42 jours, ce qui peut conduire à des remontées de boues dans le clarificateur.

Les résultats de la corrélation ont montré que :

- ✓ Les besoins réels en oxygène AOR augmentent en fonction de l'augmentation de la charge polluante, qu'il y a une association positive parfaite entre les besoins réels en oxygène et la charge polluante.
- ✓ Il n'y a pas une relation linéaire entre le taux de transfert d'oxygène OTR et le débit.
- ✓ Le taux de transfert d'oxygène (OTR) et le besoin réel en oxygène (AOR) ont une parfaite relation linéaire positive.

Dans ce stage, nous avons essayé de collecter un maximum de données pour bien interpréter les résultats obtenus, notamment en ce qui concerne l'âge des boues, mais la courte période de stage et le manque de réactifs nous ont empêchés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Holenda B., & all, 2008. Dissolved oxygen control of the activated sludge wastewater treatment process using model predictive control, Article, Computers & Chemical Engineering.
- [2] TEBIB Fadila, 2020. Evaluation des performances épuratoires de la STEP de Groupement Reggane Nord GRN, Mémoire de Master Académique, université Ahmed Draia Adrar.
- [3] Document d'exploitation de la STEP de Saida, office national de l'assainissement, 2023.
- [4] Wallitschek J., 2019. Managing Dissolved Oxygen in Activated Sludge Plants, Article, Compliance Monitoring, Wastewater.
- [5] OIE, Office International de l'Eau, 2008.
- [6] PRONOST Rakha, 2008. Conception et dimensionnement des stations d'épuration à Boues Activées, Office International de l'Eau).
- [7] KADIR Mokrane, 2011. Modélisation du fonctionnement d'une station d'épuration par boues activées application à la station de Boumerdes, Mémoire de Magister, École Nationale Supérieure Agronomique -El Harrach –Alger.
- [8] FIDELE MampuyaKinda, 2020. Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes, Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur.
- [9] HADJ-SADOK Z M, 1999. Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau. Thèse Doctorat : Sciences de l'Ingénieur, Nice – Sophia Antipolis. pp 267.
- [10] BASSOMPIERRE Cindy, 2007. Procédé a boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote a la validation de modèles. Thèse de doctorat de L'INP Grenoble.
- [11] BONHKE B., & POPPINGHAUS K, 1990. Technologie des eaux résiduaires. Production, collecte, traitement et analyse des eaux résiduaires, Ed. Springer-Verlag Paris, 1990.
- [12] DELUCHAT V., 2007. Cours épuration des eaux résiduaires, Université de Limoges, France.
- [13] MOULIN Solène, & all, 2013, Traitement des eaux usées, Article, Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société.
- [14] ADLER Emmanuel, 2005. Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. Cours sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement – ENTPE.
- [15] MAREF Noureddine, 2020. Traitement et épuration des eaux. Polycopié de cours, université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès.
- [16] VIRLOGET F., 2002. Article, Traitement des eaux usées urbaines (prétraitements).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [17] KESBI Rafika, 2016. Etude des performances épuratoires d'une STEP de l'ouest Algérien cas de la nouvelle STEP d'Ain Témouchent. Mémoire de Master, université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- [18] METAHRI Mohemmed Said, 2012. Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [19] BOUKERROUCHA Aicha Amina, 2011. Modélisation des tations d'épuration à boues activées. Cas de la station de Baraki Alger. Mémoire de Magister, Ecole national supérieur d'agronomie El Harrach Alger.
- [20] PERERA Prudencio, BAUDOT Bernard, 2001. Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. Guide, Office des publications officielles des communautés européennes.
- [21] BENCHEKOR Hassiba, 2021. Contribution à l'épuration des eaux par des matériaux à base de chitine. Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.
- [22] DHAOUADI Hatem, 2008. Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration. Ressource pédagogique, Université Virtuelle de Tunis.
- [23] LAABASSI Ayache, 2016. L'épuration des eaux usées par le système de lagunage à macrophytes. Thèse de doctorat, Université Farhat Abbas Sétif 1.
- [24] BEKHTAOUI Soufiane, BEDDAR Henna, 2020. Stratégies d'amélioration du fonctionnement de la station d'épuration d'El Kerma-Oran. Mémoire de Master, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
- [25] BOURBON Brice, & all, 2015. Les traitements tertiaires : Pour quoi faire. Rapport bibliographique, université Montpellier science et technologie.
- [26] REVISED July 2014. The Activated Sludge Process Part 1. Cours, the Pennsylvania Department of Environmental Protection.
- [27] CHABI Moncef, HAMMAR Yahia, 2019. Modélisation de la dépense énergétique dans une station d'épuration a boues activées : cas de la station de Souk Ahras. Article, Laboratoire de Recherche Sols et Hydraulique, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- [28] BAKIRI Zahir, 2014. Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées : application au décanteur secondaire. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif -1.
- [29] TRIFI Cheikh, NASRI Chahreddine, 2022. Évaluation des performances des stations d'épuration à boues activées Cas de la STEP de Saida. Mémoire de Master, Université - Dr moulay tahar Saïda.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [30] LOUVET Jean-Noël, 2007. Etude des variations en oxygène dissous rencontrées dans les systèmes d'aération en épuration des eaux usées et mise au point d'un réacteur de type scale-down. Mémoire de Master, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux.
- [31] GHASEM D. Najafpour, LEE CHIAH Lin, 2002. Oxygen Transfer Rate in an Aerated Tank for Pharmaceutical Wastewater Treatment. Article, Jurnal Kejuruteraan 14.
- [32] KHERFANE Wahida, 2017. Etude de l'hydrodynamique des bassins d'aération. Thèse de doctorat, Université badji-mokhtar-annaba.
- [33] VAXELAIRE Jean, 1994. Etude et modélisation de l'aération des stations d'épuration des eaux usées urbaines par agitation mécanique de surface. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine.
- [34] VERMANDE Stéphanie, 2005. Modélisation hydrodynamique et biologique des bassins d'aération. Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- [35] KABERLINE Jennifer, 2017. Liquid Stream Fundamentals: Aeration Design. Article, Water Environment Federation.
- [36] PRONOST Joseph, & all, 2002. Station d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. Office International de l'Eau.
- [37] THEOBALD Dan, 2014. Microorganisms in activated sludge. Article, Water Technology.
- [38] STRICKER A., & all 2017. Consommation énergétique du traitement intensif des eaux usées en France : Etat des lieux et facteurs de variation. Rapport final, unité de recherche écosystèmes aquatiques et changements globaux.
- [39] LOSHIN Peter, 2021. SCADA (supervisory control and data acquisition). Article.
- [40] NEDIL Sabiha, SADI Zohra, 2009. Étude technologique et adaptation d'un automate programmable pour une affuteuse « klinglenberg ». Mémoire de fin d'études, Université mouloud mammeri, tizi-ouzou.
- [41] TASLENTE Essaid, DJIOUA Hakim, 2017. Etude et dimensionnement d'une armoire électrique en vue de l'automatisation d'une station de traitement des eaux. Mémoire de fin d'étude, Université mouloud mammeri de tizi-ouzou.
- [42] AFNOR., 1997. Normes françaises et européennes.
- [43] COMSA, 2010. Document de réalisation et exploitation de la STEP de Saida, ONA.



ANNEXES

Annexe 01 : Caractéristiques des ouvrages des prétraitements de la STEP de Saida

Ouvrage	Description	Les caractéristiques
Déversoir d'orage	Un déversoir d'orage installé à l'amont de la STEP déverse le surplus de débit admissible dans le by-pass général de la STEP vers l'Oued.	Longueur 20 m
		Largeur 20 m
		Hauteur 2.5 m
		Volume total 1000 m ³
piège à sable	Un piège à sable est un bassin spécial pour le traitement mécanique des eaux usées. Il sert à la séparation de particules plus grosses dans le domaine de prétraitement	
Dégrillage	Il consiste à faire passer les eaux usées à travers des grilles dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.	Grille grossière manuelle
		Nombre de grille 01
		Largeur de la grille 1500 mm
		Longueur de la grille 6000 mm
		Grille fine automatique
		Nombre de grille 02
		Largeur de la grille 1000 mm
		Nombre de barreaux 33
dessablage-déshuilage	Les opérations dessablage et déshuilage sont combinées dans le même ouvrage, elles consistent à séparer de l'effluent brut les sables et les graviers par décantation, et elles permettent aussi d'éliminer les huiles et les graisses par flottation.	Séparation entre barreaux 20 mm
		Nombre des unités 02
		Largeur du dessableur 03 m
		Largeur du déshuileur 01 m
		Longueur totale 18 m
		Hauteur totale 5 m
		Hauteur de l'eau 4 m
station de relevage	Une station de relevage, de 4 pompes immergées de marque ABS et de 42kg de poids chacune, est utilisée pour amener l'eau qui a subi le traitement physique au bassin d'aération pour le traitement biologique.	Volume utile total 242.9 m ³

Annexe 02 : Caractéristiques des ouvrages biologiques dans la STEP de Saida

Ouvrage	Description	Les caractéristiques
Bassin d'aération	Dans ce type de traitement, les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau.	Unité 02
		Forme rectangulaire
		Longueur 66 m
		Largeur 44 m
		Profondeur totale 5 m
		Hauteur béton 5.60 m
		Hauteur eau 4.5 m
		Volume utile unitaire 13.068 m ³
		Volume utile total 26.136 m ³
Décanteur secondaire ou clarificateur	c'est un bassin cylindro-conique, où s'effectue la séparation boues-liquide par décantation sous l'effet de gravité.	Nombre 02
		Diamètre 43 m
		Surface unitaire 1.452 m ²
		Volume unitaire 3.50 m
		Hauteur d'eau 5.0827 m ³
bassin de chloration (stérilisation)	C'est le processus complémentaire des eaux traitées, particulièrement dans le cas où l'on veut utiliser cette eau pour l'irrigation. La stérilisation est effectuée par le chlore gazeux.	Longueur 30 m
		Largeur 12 m
		Hauteur totale 4 m
		Hauteur utile 3.5 m
		Volume 1.260 m ³
Epaississeur des boues	L'épaississement c'est la première étape de traitement des boues qui sert à la réduction de leur volume pour qu'elle soit ensuite pompée vers les lits de séchage.	Nombre 01
		Diamètre 16 m
		Hauteur 4 m
		Surface 201.1 m
		Volume 804.25 m ³
Lits de séchage	Les boues épaissies sont ensuite retirées de l'épaississeur et acheminées vers les lits de séchage	Nombre total des lits 20
		Longueur 30 m
		Largeur 15 m
		La surface totale à mettre en œuvre 9000 m ²
		La production annuelle des boues 83.865 m ³ /an

Annexe 03 : Caractéristiques des Appareils de mesure d'oxygène (sondes d'oxygène)

Nombre	4 unités
Marque	E+H
Modèle-type	LIQUISYS COM-253
Echelle	0-20 ppm
Alimentation-fréquence	220V / 50Hz
Sortie	0-20 A
Indicateur	Numérique
Sonde de mesure	
Modèle	COS-41
Longueur câble/protection	7m / IP-68
Système de mesure	Potentiomètre à 2 électrodes

Annexe 04 : Caractéristiques des turbines aération

Nombre	12 unités
Fabricant	SPAANS BABCOCK
Modèle-type	02 MAX230 (deux vitesses)
Diamètre	2300 mm
Transfert d'oxygène	115,3 / 48,9 kg O ₂ /h
Puissance absorbée	54,5 / 23Kw
Immersion nominale	9,8 cm
Moteur	
Fabricant	WEG
Référence	2800S/M4/6
Type	Tri-phase,asynchrone
Voltage-fréquence	400/600-50 Hz
Méthode de démarrage	Etoile/triangle (haute vitesse) Triangle (baise vitesse)
Puissance installée	80/54 kW
Réducteur	
Fabricant	FLENDER
Type	H3SV7
Puissance	109 kW DIN
Durée de vie des roulements	50.000 h ISO B10

Annexe 05 : Caractéristiques des pompes de recirculation

Une fois la liqueur mélangée est dans le décanteur, les boues sont descendus à la partie inférieure de celui, une quantité va être recirculé vers le bassin d'aération. Dans le cas de la STEP de SAIDA, la recirculation est assurée par trois pompes de 750 m³/h.

- Pompes centrifuges submersibles recirculation des boues (3Ut)

Marque	ABS
Modèle-type	AFP3071
Débit nominale	750 m ³ /h
Hauteur manométrique	4,64 m
Puissance absorbée	15 kW
Diamètre sortie	300 mm
Voltage/fréquence	400V-50 Hz
Puissance	16,91 kW
Vitesse moteur	725 rpm
Intensité nominale	32,30 A

Annexe 06 : Caractéristiques des pompes de purge

Au fond des décanteurs on élimine les boues en excès, et on les évacuer vers l'épaississeur pour réduire la fraction liquide. Dans la STEP de SAIDA, le purge est assuré par deux pompes.

- Pompes centrifuges submersibles purge des boues (2Ut)

Marque	ABS
Modèle-type	AFP1041.3. M 22/4-D01-10
Débit nominale	100 m ³ /h
Hauteur manométrique	4 m.c.a
Puissance absorbée	2,22 kW
Diamètre sortie	100 mm
Voltage / fréquence	400V-50 Hz
Puissance	2,88 kW
Vitesse moteur	1450 rpm
Intensité nominale	4,9 A

Annexe 07 : Protocole expérimental des analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques des effluents (pH, température T °C, matière en suspension MES, demande chimique en oxygène DCO, demande biochimique en oxygène DBO₅) ont été effectuées selon les méthodes suivantes :

1) Prélèvement d'eau

Le prélèvement s'effectue pour l'eau d'entrée, de sortie, ainsi que des bassins d'aération. Il existe deux façons de prélèvement :

1.1 Prélèvements automatiques : Toutes les 15mn un volume d'eau de 100 ml est prélevé par le préleveur automatique durant 24h, on remplit dans un flacon d'un litre un échantillon moyen. Les Prélèvements s'effectuent à l'entrée de la station (E), c'est une eau brute qui n'a subie aucun traitement, et à la sortie (S) avant d'être reversé dans l'oued de SAIDA.

1.2 Prélèvement manuel : Le point d'échantillonnage est l'un des facteurs les plus importants, il doit être choisi judicieusement. Le choix de points d'échantillonnage représentatifs doit s'appuyer sur une déduction logique tenant compte les objectifs et les substances à analyser. Généralement, il se situe à un endroit de l'effluent ou il y a suffisamment de turbulences pour assurer l'homogénéité, et dans les canaux ouverts, il se situe au centre du canal et à une profondeur permettant la prise d'échantillons même en condition de débit minimum. Les différents prélèvements pris pendant toute la journée (environ 4 heures entre chacun) sont mélangés pour l'analyse afin d'avoir une valeur moyenne.

2) Le protocole expérimentale

2.1 Le potentiel Hydrogène (pH)

Ce paramètre a été mesuré au moyen d'un pH mètre :

- 1) l'étalonnage de l'appareil sur les trois points de calibration : 4,01 ; 7,0 ; 9,21 ;
- 2) Le lavage de l'électrode à l'eau distillée ;
- 3) Le démarrage de la mesure en appuyant sur le bouton analyse échantillon ;
- 4) La lecture se fait une fois les chiffres se stabilisent ;
- 5) L'électrode a été lavée à l'eau distillée et remet dans la solution électrolyte de KCL.

2.2 La température

La mesure de la température s'effectue à l'aide d'un thermomètre (plage de mesure (0-30°C) plongé à l'intérieur d'un bécher de 100 ml. La lecture est faite après stabilisation du thermomètre en degré Celsius (°C).

2.3 Les Matières en suspension

a) Equipements utilisés :

- Pompe à vide ;
- Unité de filtration ;
- Filtres de microfibres de verre ;
- Balance de précision électronique ;
- Pince.

b) Protocole expérimental

- 1) Peser le filtre vide P_0 dans la balance électronique ;
- 2) Placer le filtre sur l'entonnoir de l'unité de filtration (partie lisse en bas) ;
- 3) Agiter le flacon de l'échantillon ;
- 4) Verser un volume $V = 50\text{ml}$ d'eau dans l'éprouvette graduée ;
- 5) Filtrer à vide l'échantillon ;
- 6) Libérer le dispositif sous vide lorsque le filtre est pratiquement sec ;
- 7) Retirer avec précaution le papier filtre à l'aide d'une pince à extrémité plate ;
- 8) Placer le filtre sur un support de séchage (ex capsule) ;
- 9) Sécher le filtre dans l'étuve à $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant deux heures ;
- 10) Reporter la capsule dans le dessiccateur ;
- 11) Peser P_1 , et calculer $[\text{MES}] \text{ mg/l} = \frac{P_1 - P_0}{V \cdot 1000}$

2.4 La demande biochimique en oxygène DBO_5

a) Equipements utilisées :

- Têtes mesureurs (OXYTOP) ;
- Ampoules de mesure marron ;
- Agitateurs magnétiques ;
- Lentilles de NaOH ;
- Armoire thermostatique de température constante à 20°C .

b) Protocol expérimental

Pour la réalisation de cette analyse les étapes suivantes sont respectées :

- 1) Remplir deux flacons, le premier par 97 ml d'eau usée et le second par 365 ml d'eau épurée ;
- 2) Placer un barreau magnétique dans chacun des flacons pour l'homogénéisation du milieu interne ;
- 3) Verser le gel nutriment DBO pour activer les bactéries ;
- 4) Rajouter 1g d'hydroxyde potassium (KOH) dans les bouchons hermétiques pour absorber l'humidité (CO_2) ;

- 5) Visser l'oxytope sur le flacon, ensuite on règle les plages des mesures de [0 à 600] pour les eaux usées et de [0 à 90] pour les eaux épurées ;
- 6) Placés les flacons dans l'armoire thermostatique sur l'agitateur ;
- 7) L'incubation des échantillons dure 05 jours à une température de 20°C, Les valeurs prises, seront celles affichées à la fin des 05 jours.

Le milieu étant sombre pour éviter la photosynthèse des plantes microscopique présentes dans l'eau.

2.5 La demande chimique en oxygène DCO

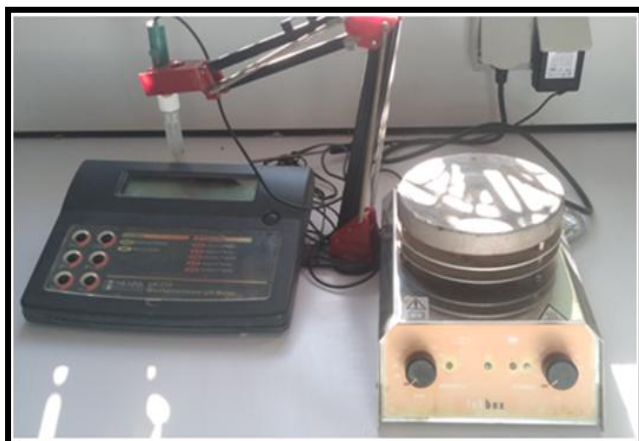
Le test consiste en une oxydation chimique par un oxydant fort, acide à température élevée par le bichromate de potassium, acide sulfurique, sulfate de mercure.

a) Equipements utilisées

- Kit pour DCO LCK 314 (moins concentré réservé pour l'eau de sortie qui est moins chargé) et LCK 514 (plus concentré et ces kits sont spécifiquement pour l'eau d'entrée) ;
- Pipette graduée de 2 ml ;
- Réacteur DCO ;
- Spectrophotomètre.

b) La procédure expérimentale consiste à :

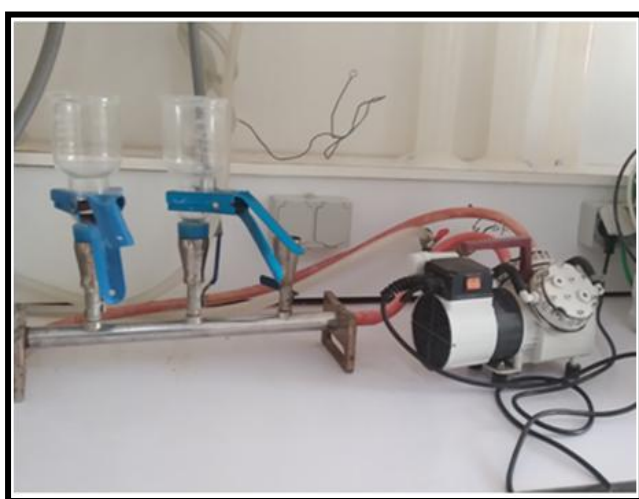
- 1) Allumer le spectrophotomètre pour calibrage automatique ;
- 2) Remplir une pupitre 2 ml de chaque échantillon (entrée et sortie) ;
- 3) Ouvrir le bouchon du kit pour DCO LCK 314 et LCK 514 adéquat soigneusement et ajuster l'échantillon ;
- 4) Bien fermer le kit et mélanger délicatement (réaction thermique immédiate) ;
- 5) Placer les deux kits dans le réacteur DCO ;
- 6) Programmer le réacteur DCO à 148 C° pendant deux heures ;
- 7) Après refroidissement du kit lire au spectrophotomètre ;
- 8) Lire la valeur affichée par le code à barre imprimé sur le kit.



PH mètre



Balance de précision



Dispositif de filtration sous vide



Flacon à DBO avec oxytpe dans l'incubateur



Spectrophotomètre



Réactifs de la DCO

Figure Les équipements des analyses physico-chimiques.

Annexe 08 : Les résultats des analyses physico-chimiques

La date	Le paramètre	unité	Eau brute	Eau épurée
02/04/2023	Ph	/	7,80	7,79
	Température	°C	20,5	20
	DBO ₅	mg/l	340	11
	DCO	mg/l	612	19,8
	MES	mg/l	256,66	30
	O ₂	mg/l	0,9	
05/04/2023	Ph	/	8,10	8,30
	Température	°C	18,5	17,3
	DBO ₅	mg/l	460	03
	DCO	mg/l	828	07,5
	MES	mg/l	310	28
	O ₂	mg/l	1,1	
09/04/2023	Ph	/	7,95	7,90
	Température	°C	19,5	18,2
	DBO ₅	mg/l	110	08
	DCO	mg/l	220	32
	MES	mg/l	190	23
	O ₂	mg/l	1,0	
12/04/2023	Ph	/	7,76	8,12
	Température	°C	22,5	21,3
	DBO ₅	mg/l	160	07
	DCO	mg/l	368	17,5
	MES	mg/l	126	40
	O ₂	mg/l	0,95	
13/04/2023	Ph	/	7,75	8,10
	Température	°C	18,3	17,1
	DBO ₅	mg/l	90	09
	DCO	mg/l	135	13,5
	MES	mg/l	250	29
	O ₂	mg/l	0,80	
16/04/2023	Ph	/	7,72	7,95
	Température	°C	23,1	22,5
	DBO ₅	mg/l	300	06
	DCO	mg/l	540	15
	MES	mg/l	250	6,66
	O ₂	mg/l	0,98	
18/04/2023	Ph	/	7,72	7,76
	Température	°C	19,3	18,3
	DBO ₅	mg/l	260	08
	DCO	mg/l	520	20
	MES	mg/l	200	21
	O ₂	mg/l	1,1	

23/04/2023	Ph	/	7,63	8,10
	Température	°C	18,3	17,5
	DBO ₅	mg/l	274	12
	DCO	mg/l	493	21,6
	MES	mg/l	113,33	26
	O ₂	mg/l	1,2	
25/04/2023	Ph	/	7,02	7,85
	Température	°C	24,5	23,5
	DBO ₅	mg/l	830	10
	DCO	mg/l	1298	30,2
	MES	mg/l	526,66	36,66
	O ₂	mg/l	1,05	

Bilan mensuel du mois d'avril

	Débit	MES	DBO ₅	DCO	PH	Temp.	O ₂
Unité	(m ³)	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Entrée	20310	246.96	271.67	759	7.82	20.2	0.10
Sortie	18710	26.63	7.17	31.10	7.95	19.3	2.15

- Nombre des jours = 26 jours ;
- Total brute = 528060 m³ ;
- Total épuré = 486460 m³ ;
- Le taux des capacités installées = 67.70% ;
- Rendement épuratoire : MES = 89.22% ; DBO₅ = 97.36% ; DCO = 95% ;
- Le taux d'épuration = 94.16% ;
- Résidus : Sable = 7.5 m³ ; déchets = 2.5 m³ ; Huiles = 3.5 m³ ;
- Boues produites = 43 m³ ; MS = 94% ; MVS = 66% ;
- Boues stockées = 76000 kgMS.

Annexe 09 : Attestation de stage (TAHIR Bouchra)



Saida le 11/06/2023

ATTESTATION DE STAGE

Je soussigné, **Mr KHIAT Abderrahmane**, Directeur de l'unité de Saida ONA,

ATTESTE QUE

M^{lle} TAHIR Bouchra, étudiante en Master 2 Hydraulique Urbain, a effectué un stage de perfectionnement du **07/03/2023** au **06/04/2023**, au niveau de la station d'épuration de la ville de Saida.

Cette attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Directeur D'unité

Signature: **عبد الرحمان خياط**
 (Signature of Mr. KHIAT Abderrahmane)

Stamp: **الديوان الوطني للتطهير**
 منطقة سعيدة
 وحدة سعيدة
ONA
 سaida

Annexe 10 : Attestation de stage (BESSAFI Wassila)

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية PEOPLE'S DEMOCRATIC REPUBLIC OF ALGERIA		
MINISTRY OF HYDRAULICS NATIONAL SANITATION UTILITY ZONE SAIDA UNITE SAIDA	 المكتب الوطني للتطهير Office National de l'Assainissement	وزارة الري الديوان الوطني للتطهير منطقة سعيدة وحدة سعيدة

Saida le 11/06/2023

ATTESTATION DE STAGE

Je soussigné, Mr KHIAT Abderrahmane, Directeur de l'unité de Saida ONA,

ATTESTE QUE

M^{lle} BESSAFI Wassila , étudiante en Master 2 Hydraulique Urbain, a effectué un stage de perfectionnement du 07/03/2023 au 06/04/2023, au niveau de la station d'épuration de la ville de Saida.

Cette attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Directeur D'unité

