

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : hydraulique urbain

Présentée par : TRAORE RAMATA

Modélisation de la consommation d'énergie pour une installation de traitement par boues activées dans la région de Guelma (Est Algérien)

Sous la direction de : Dr BOUMAAZA MESSAOUDA

JUIN 2022



Remerciements

Avant tout, je remercie Allah d'avoir illuminer mon chemin de grâce de courage, de volonté et de santé pour pouvoir mener à terme ce modeste travail, puisse-t-il nous guider davantage sur le droit chemin.

Mes sincères remerciements à mon encadrant Dr **Boumaaza Messaouda** pour sa disponibilité, son dynamisme, son savoir-faire, ses conseils, ses commentaires qui ont enrichis ma rédaction.

Mes remerciements vont également à l'encontre de tous mes professeurs depuis ma première année licence jusqu'à maintenant.

Je remercie également mes sœurs d'Algérie avec qui j'ai eu à passer les meilleurs et pires moments de ma vie pour leurs soutiens.

Un grand merci à mon époux pour ses conseils son aide son suivi et sa disponibilité. Qu'il trouve ici mes profonds remerciements.

Mes vifs remerciements à mes frères et sœurs qui de près ou de loin ont contribuer à l'élaboration de ce travail.

Finalement toute ma gratitude va à l'encontre de mes parents qui depuis toute petite m'ont encouragé, soutenue, aidé financièrement et moralement sans avoir eu à douter de moi sans quoi je ne serais ce que je suis aujourd'hui. Puisse Allah vous donnez une longue vie !



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ A mes parents pour leurs patiences, leurs sacrifices, leurs dévouements ainsi que leurs disponibilités. Puisse Allah les accorder une longue vie !
- ✓ A mes frères et sœurs.
- ✓ A mon mari pour sa patience et son soutien. Puisse Allah le récompenser !
- ✓ A tout ceux qui ont contribué à ma réussite.

Sommaire

Chapitre 1 : Epuration des eaux usées

1.1	Introduction	20
1.2	La nature des eaux usées et les principaux paramètres de pollution	20
1.2.1	<i>Les eaux usées domestiques</i>	<i>20</i>
1.2.2	<i>Les eaux usées industrielles</i>	<i>20</i>
1.2.3	<i>Les principaux paramètres de pollution en station d'épuration</i>	<i>21</i>
1.3	Les différents procédés de traitement.....	23
1.3.1	<i>Traitements préliminaires :</i>	<i>23</i>
1.3.2	<i>Traitement primaire.....</i>	<i>25</i>
1.3.3	<i>Traitement secondaire ou l'élimination biologique des matières polluantes</i>	<i>26</i>
1.3.4	<i>Traitement tertiaire</i>	<i>33</i>
1.4	Conclusion	34

Chapitre 2 : les réseaux de neurones

2.1	Introduction :	36
2.2	Réseaux de neurones :	36
•	<i>Définitions et Principes</i>	<i>36</i>
2.2.1	<i>Les neurones biologiques</i>	<i>36</i>
2.2.2	<i>Les neurones formels.....</i>	<i>37</i>
❖	<i>Correspondance neurone biologique/formel</i>	<i>38</i>
2.3	Réseaux de Neurones Artificiels	39
2.4	Fonctionnement les réseaux de neurones.....	40
2.5	Architecture des réseaux.....	41
2.5.1	<i>Le perceptron multicouche</i>	<i>41</i>
2.5.2	<i>Propriétés des réseaux de neurones multicouches</i>	<i>41</i>
2.6	Apprentissage des réseaux de neurones.....	42
2.6.1	<i>Les lois d'apprentissage.....</i>	<i>43</i>
2.6.2	<i>Règle d'apprentissage du perceptron (loi de Widrow-Hoff).....</i>	<i>43</i>
2.7	Les réseaux de neurones les plus utilisés	43
2.7.1	<i>Les réseaux monocouches</i>	<i>43</i>
2.7.2	<i>Réseaux multicouches</i>	<i>44</i>

SOMMAIRE

2.7.3	<i>Réseau à connexions complète</i>	45
2.7.4	<i>Réseau à connexions locales</i>	45
2.7.5	<i>Les réseaux de neurones bouclés (récurrents)</i>	45
2.8	Conclusion :	46

Chapitre 3: Méthodes et matériels

3.1	Introduction	48
3.2	Description de la station	48
3.2.1	<i>Localisation</i>	48
3.2.2	<i>Emplacement et accès</i>	48
3.2.3	<i>Nature du réseau</i>	49
3.2.4	<i>Points de rejet (destination)</i>	49
3.2.5	<i>Les sous-produits issus de l'épuration</i>	49
3.2.6	<i>Présentation du laboratoire de la STEP (Guelma)</i>	50
3.2.7	<i>Principe et fonctionnement d'une STEP</i>	50
3.3	Bassin d'aération :	51
3.4	Les méthodes et matériels	51
3.4.1	<i>Matériels de prélèvement</i>	51
3.5	La température	51
3.6	Le pH	52
3.7	Matières en suspension (MES)	52
3.7.1	<i>Matériels</i>	52
3.7.2	<i>Méthode par centrifugation</i>	53
3.8	Matière volatile en suspension (MVS) :	54
3.8.1	<i>Matériels</i>	54
3.8.2	<i>Mode opératoire des MVS</i>	54
3.9	La demande biochimique en oxygène (DBO₅)	55
3.9.1	<i>Matériels :</i>	55
3.9.2	<i>Mode opératoire :</i>	55
3.10	Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO)	56
3.10.1	<i>Matériels :</i>	56
3.10.2	<i>Mode opératoire :</i>	56
3.11	Détermination de l'azote ammoniacal (NH₄⁺)	57
3.11.1	<i>Principe :</i>	57

SOMMAIRE

3.11.2	Réactifs :	57
3.11.3	Mode opératoire :	58
3.12	Détermination des nitrites (NO_2^-)	58
3.12.1	Principe :	58
3.12.2	Réactifs :	58
3.12.3	Mode opératoire :	58
3.12.4	Principe :	59
3.12.5	Réactifs :	59
3.12.6	Mode opératoire :	59
3.13	Détermination des phosphates (OPO_4^-) : Méthode au Salicylate de Sodium	60
3.13.1	Principe :	60
3.13.2	Réactifs :	60
3.13.3	Mode opératoire :	60
3.14	Calcul de la charge massique et de la charge volumique :	61
3.15	Conclusion :	61
 Chapitre 4: Modélisation de la consommation d'oxygène dans le bassin biologique		
4.1	Introduction :	63
4.2	Analyses des résultats et discussions	63
4.2.1	Potentiel d'hydrogène (pH)	63
4.2.2	Température de l'eau ($T^\circ\text{C}$)	64
4.2.3	La Demande Chimique en Oxygène (DCO)	65
4.2.4	La Demande biochimique en Oxygène (DBO_5)	65
4.2.5	Les matières en suspension (MES)	66
4.2.6	La conductivité électrique	67
4.2.7	Les Nitrites NO_2^-	67
4.2.8	Nitrates NO_3^-	68
4.2.9	Ammonium (NH_4^+)	69
4.2.10	Ortho phosphates (OPO_4^-)	69
4.3	Calcul de la quantité d'oxygène nécessaire dans le bassin d'aération	70
4.3.1	Les besoins réels d'oxygène	70
4.3.2	La charge Polluante	70
4.3.3	Charge massique	71
4.3.4	Quantité d'oxygène nécessaire	71

SOMMAIRE

4.4	Modélisation de la quantité d'oxygène	74
4.4.1	<i>Schéma du modèle</i>	74
4.5	Conclusion	84

Listes des figures

Figure 1.1: dégrilleur mécanique et manuel	25
Figure 1.2: Les deux bassins de dessablage/déshuilage	26
Figure 1.3: Le décanteur primaire	27
Figure 1.4: le lagunage aéré	28
Figure 1.5: Les boues activées.....	29
Figure 1.6: Le lit bactériens.....	29
Figure 1.7: le biofiltre.....	30
Figure 1.8: Les disques biologiques	30
Figure 1.9: Les deux bassins d'aération accompagnés de leurs 6 turbines	31
Figure 1.10: Bassin de désinfection.....	34
Figure 2.1 : Neurone biologique.....	38
Figure 2.2: Modèle de base d'un neurone formel	38
Figure 2.3: Différents types de fonctions d'activation pour le neurone formel	39
Figure 2.4: Neurone Artificiel	40
Figure 2.5: Correspondance entre un neurone biologique et artificiel	41
Figure 2.6: Comprendre le processus	42
Figure 2.7: Le neurone amont, i le neurone aval et wij le poids de la connexion	44
Figure 2.8: Réseau monocouche.....	44
Figure 2.9: Réseau multicouche	45
Figure 2.10: Réseau à connexion complète.....	46
Figure 2.11: Réseau à connexion locales	46
Figure 2.12: Réseau de neurones bouclés.....	47
Figure 3.1 Station d'épuration de Guelma	50
Figure 3.2 : PH -mètre.....	53
Figure 3.3: Balance électronique.....	55
Figure 3.4: Photo du DBO mètre HACH	56

LISTES DES FIGURES

Figure 3.5: Photo du bloc chauffant	55
Figure 3.6: Photo du spectrophomètre.....	58
Figure 4.1: Evolution spatio-temporelle du ph de la STEP de Guelma	65
Figure 4.2: Evolution spatio-temporelle de la temperature de la STEP de Guelma.....	65
Figure 4.3: Evolution spatio-temporelle de la DCO de la STEP de Guelma	66
Figure 4.4: Evolution spatio-temporelle de la DBO5 de la STEP de Guelma	67
Figure 4.5: Evolution spatio-temporelle des MES de la STEP de Guelma	67
Figure 4.6: Evolution spatio-temporelle de la conductivité de la STEP de Guelma	68
Figure 4.7: Evolution spatio-temporelle des nitrites de la STEP de Guelma	69
Figure 4.8: Evolution spatio-temporelle des nitrates de la STEP de Guelma	69
Figure 4.9: Evolution spatio-temporelle de l'ammonium DBO5 de la STEP de Guelma.....	70
Figure 4.10: Evolution spatio-temporelle des ortho phosphates de la STEP de Guelma	71
Figure 4.11: Schéma de l'architecture du modèle	75
Figure 4.12: Présentation du modèle avec les paramètres d'entrée.....	75
Figure 4.13: Valeurs actuelles en fonction des valeurs prédites de O2.....	78
Figure 4.14: Histogramme des erreurs	79
Figure 4.15: Apprentissage, validation et test du modèle.....	79
Figure 4.16: Validation du modèle.....	80
Figure 4.17: Contours en 3D de O2 en fonction de la DCO et DBO5	81
Figure 4.18: Paramètres influant sur la quantité d'O2 consommé	82
Figure 4.19: Graphique du modèle marginal.....	82
Figure 4.20: Profileur de prévision de O2.....	82
Figure 4.21: Les valeurs prédites en fonction des valeurs actuelles.....	83

Listes des tableaux

Tableau 1.1: Détermination de la capacité d'aération.....	32
Tableau 1.2: Détermination de la teneur en oxygène	33
Tableau 1.3: Capacité de la turbine	34
Tableau 2.1:Correspondance neurone biologique et artificiel.....	40
Tableau 3.1 :Les materiels utilisés	51
Tableau 4.1: Estimation de la quantité d'oxygène à l'entrée du bassin.....	73
Tableau 4.2: Estimation de la quantité d'oxygène à la sortie du bassin.....	74
Tableau 4.3: Le coefficient de determination et l'erreur quadratique moyenne pendant l'apprentissage, la validation et le test	76
Tableau 4.4 :Valeurs prédites de l'oxygène	77
Tableau 4.5:L'importance des paramètres influencant la consommation d'oxygène	81
Tableau 4.6:Modèle developpé par l'ANN	84

LISTES DES ABREVIATIONS

Listes des abréviations

ONA : Office nationale d'assainissement

Step: Station d'épuration

NH₄⁺: Azote ammoniacal

NO₃ : Nitrate

PH : Potentiel hydrique

MES : Matière en suspension

MVS : Matière volatile sèche

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène

NAOH : Hydroxyde de sodium

ANN : Réseau de neurone artificiel

NO₂ : Nitrite

O₂ : Oxygène

NO₃ -N : Nitrate nitrogène

MS : Matière sèche

RNN : Réseau de neurones récurrents

ADN : Acide désoxyribonucléique

MPL : Perceptron multicouche

KOH : Hydroxyde de potassium

H₂SO₄ : Acide sulfurique

LISTES DES ABREVIATIONS

HG₂SO₄: Sulfate de mercure

AG₂SO₄ : Sulfate d'argent

NH₄CL : Chlorure d'ammonium

PO₄³⁻ : dérive de l'ion phosphate

R² : Coefficient de corrélation

Résumé

Les nations et le monde d'aujourd'hui ont pris de plus en plus conscience que l'épuration et le traitement des eaux usées est impératif si on veut préserver l'équilibre naturel et donc sauvegarder à la fois la santé et l'économie. Le traitement biologique par boues activées est actuellement le plus répandu dans le monde. En Algérie, ce procédé est le plus utilisé dans les stations d'épuration assurant un traitement secondaire. En effet, les réactions biologiques sont aérobies, elles nécessitent donc de l'oxygène. Il est également utilisé pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines car il donne des résultats parfaits et une eau saine, propre, qui peut être rejetée dans le milieu récepteur en toute sécurité afin de la réutiliser dans les domaines agricoles et industriels et pour préserver l'eau potable. La bonne conception et le bon dimensionnement des bassins sont nécessaires pour assurer la qualité et la fiabilité d'épuration des eaux usées, l'objet de la présente étude est d'examiner les indicateurs du degré d'épuration des eaux usées à savoir MES, DCO, DBO₅...etc. qui sont influencés par le rendement d'oxygénation. A cet effet, la modélisation du taux d'oxygène dans le bassin d'aération était nécessaire. L'aspect énergétique de cette question lui confère une actualité particulière ce qui nous a conduit à cette recherche. Ainsi, le modèle développé décrit d'une manière satisfaisante les résultats expérimentaux.

Mots clés : Station d'épuration, Eaux usées, Optimisation, Réseaux de neurones, Boues activées, Guelma.

Summary

Today's nations and the world have become increasingly aware that wastewater treatment is imperative to preserve the natural balance and thus safeguard both health and economy. The biological treatment by activated sludge is currently the most widespread in the world. In Algeria, this process is the most used in wastewater treatment plants providing secondary treatment. Indeed, the biological reactions are aerobic, so they require oxygen. It is also used for urban wastewater treatment because it gives perfect results and a healthy, clean water, which can be discharged into the receiving environment safely to reuse it in agricultural and industrial areas and to preserve drinking water. The proper design and sizing of the ponds are necessary to ensure the quality and reliability of wastewater treatment, the purpose of this study is to examine the indicators of the degree of wastewater treatment namely MES, DCO, DBO5...etc. which are influenced by the oxygenation efficiency. For this purpose, the modeling of the oxygen rate in the aeration tank was necessary. The energetic aspect of this question gives it a particular topicality which led us to this research. Thus, the developed model describes in a satisfactory way the experimental results.

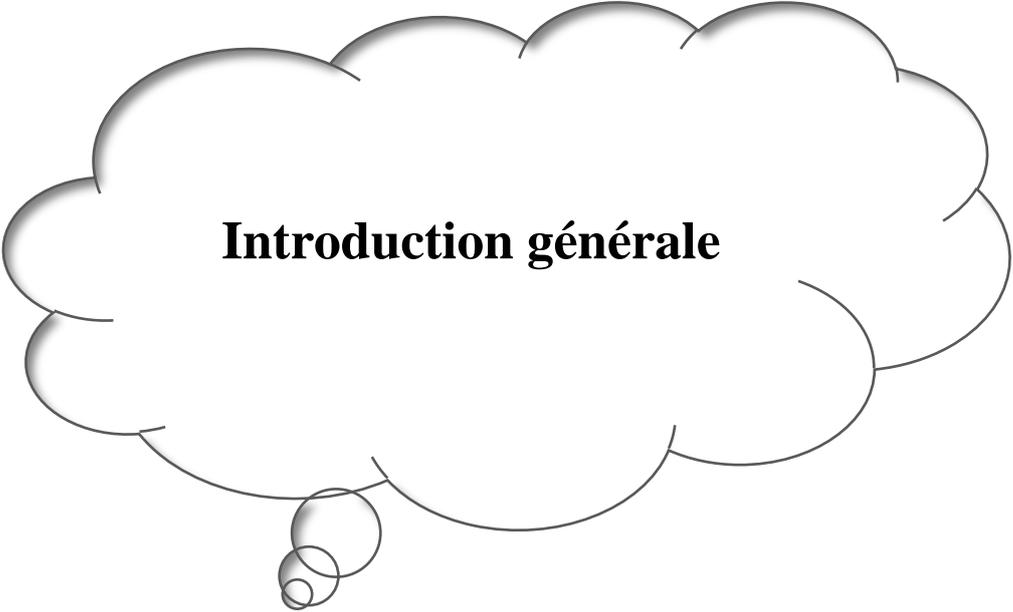
Key words: Wastewater treatment plant, Optimization, Neural networks, Activated sludge, Guelma.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version)

ملخص

على التوازن الطبيعي وبالتالي الحفاظ على الصحة والاقتصاد. تعتبر المعالجة البيولوجية بواسطة الحمأة المنشطة حاليًا هي الأكثر انتشارًا في العالم. في الجزائر، يتم استخدام هذه العملية بشكل شائع في محطات معالجة مياه الصرف الصحي التي توفر معالجة ثانوية. في الواقع، التفاعلات البيولوجية هوائية، لذا فهي تتطلب الأكسجين. كما أنها تستخدم لتنقية مياه الصرف الصحي الحضرية لأنها تعطي نتائج مثالية ومياه نظيفة وصحية، والتي يمكن تصريفها في بيئة الاستقبال بأمان تام للشبكة من أجل الحصول على مياه شرب رمادية اللون. يعد التصميم المناسب وحجم الأحواض ضروريًا لضمان جودة وموثوقية معالجة مياه الصرف الصحي، والغرض من هذه الدراسة هو فحص مؤشرات درجة معالجة مياه الصرف الصحي وهي MES و DCO و DBO5 إلخ. التي تتأثر بكفاءة الأكسجين. لهذا، كان من الضروري نمذجة مستوى الأكسجين في حوض التهوية. يعطي الجانب النشط لهذا السؤال موضوعًا محددًا قادنا إلى هذا البحث. وهكذا، فإن النموذج المطور يصف النتائج التجريبية بشكل مرض.

الكلمات المفتاحية: محطة معالجة مياه الصرف الصحي، مياه الصرف الصحي، التحسين، الشبكات العصبية، الحمأة المنشطة، قائمة.



Introduction générale

Introduction générale

L'eau est une ressource élémentaire à la vie utilisée pour des usages quotidiens (la potabilisation, l'agriculture, l'hygiène et l'industrie), elle est indispensable pour l'homme. L'accès à une eau de qualité et en quantité est un enjeu vital, elle est disputée dans toutes les régions du monde, la gestion de cette ressource est importante pour les sociétés humaines, mais elle est différente selon les pays (leur niveau de richesse et leur besoin en eau).

L'eau a une valeur incontestable pour la consommation humaine, l'agriculture, les loisirs, le transport ou la production d'énergie. La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures. L'agriculture constitue le plus gros consommateur des ressources hydriques, vu la diminution des apports en eau constatée depuis plusieurs décennies. Les eaux résiduaires peuvent être chargées par de nombreux polluants et constituent des milieux parfois très complexes. L'analyse de ces eaux résiduaires permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration au niveau des stations d'épurations. La charge en agents polluants (boues) dans une eau peut être valorisée à partir de certains paramètres. Par ailleurs, les boues d'épurations sont considérées comme une importante source de biomasse en Algérie, cependant leur utilisation comme source d'énergie reste restreinte par rapport à d'autres pays dans le monde.

L'épuration des eaux usées consiste à regrouper les eaux de toute une population via un réseau d'égouts. Ces égouts se connectent sur les collecteurs, les petits égouts faisant les grands collecteurs qui aboutissent à la station d'épuration, quand il y en a une fois épurée, l'eau est rejetée dans le milieu naturel (rivières, oued, océan...). Les eaux usées urbaines sont épurées directement dans la station d'épuration avec une série de traitement primaire permettant d'éliminer les déchets, les sables, les graisses et les matières en suspension, puis un traitement biologique pour écarter le reste de la pollution.

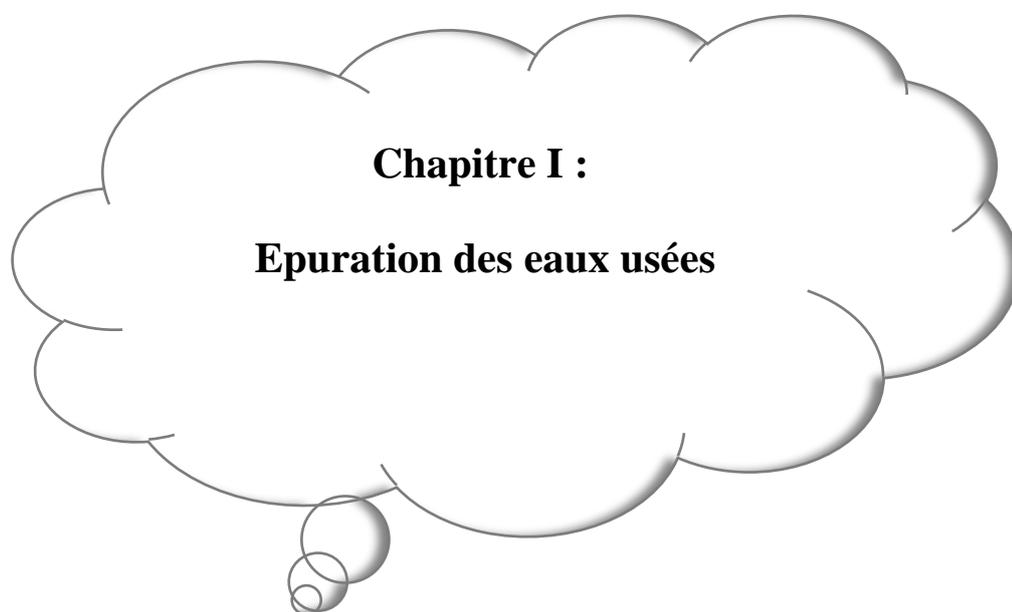
Est-il possible d'optimiser le fonctionnement des stations d'épuration en se basant sur les techniques de l'intelligence artificielle ? Et pouvons-nous déterminer l'énergie nécessaire pour le fonctionnement des bassins d'aération ?

Pour ce faire, la présente étude sera divisée en quatre grands chapitres,

- Le premier chapitre donnera une vision générale sur l'épuration des eaux usées et des techniques utilisées.
- Le second chapitre portera sur la théorie de la modélisation par les réseaux de neurone,

INTRODUCTION GENERALE

- Le troisième chapitre sera consacré à l'étude de la zone étudiée, les quelques méthodes d'analyse et le matériel utilisé.
- Le dernier chapitre ne sera basé que sur la modélisation du taux d'oxygène dans le bassin biologique avec une étude comparative entre les résultats calculés et ceux prédits par la technique des réseaux de neurones adoptée.
- Enfin, ce manuscrit sera clôturé par une conclusion générale où nous présenterons les résultats obtenus avec les perspectives que nous jugeons utiles pour un meilleur aboutissement de ce travail



Chapitre I :
Epuration des eaux usées

1.1 Introduction

Le terme « eaux usées » englobe les eaux pluviales et les eaux utilisées à des fins diverses par la population, que ce soit pour un usage aussi bien résidentiel qu'industriel. Ces eaux usées sont constituées essentiellement d'eau et contiennent des éléments qui, en raison de leur concentration, peuvent nuire à l'environnement [1]. Les eaux usées, qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être traitées dans une station d'épuration avant d'être rejetées dans le milieu naturel. En station, les traitements varient en fonction de la nature de ces eaux usées et de la sensibilité à la pollution du milieu récepteur [2]. L'analyse des eaux usées permet, entre autres :

- De concevoir et dimensionner des stations d'épurations des eaux usées (STEP) appropriées pour respecter les normes de rejet
- De surveiller et d'évaluer l'efficacité des procédés de traitement dans les STEP
- D'étudier et de concevoir des installations pour la réutilisation des eaux usées traitées.
- D'évaluer l'impact environnemental [1]

1.2 La nature des eaux usées et les principaux paramètres de pollution

La nature des eaux usées dépend de plusieurs facteurs :

1.2.1 Les eaux usées domestiques

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau et sont, essentiellement, porteuses de pollution organique :

- Eaux ménagères (salles de bains et cuisines) sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques...
- Eaux-vannes (rejets des toilettes) chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

1.2.2 Les eaux usées industrielles

Très différentes des eaux usées domestiques, leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir :

- Des produits toxiques
- Des solvants
- Des métaux lourds
- Des micropolluants organiques
- -Des hydrocarbures...

Certaines de ces eaux usées font l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte [3].

1.2.3 Les principaux paramètres de pollution en station d'épuration

Les paramètres les plus couramment utilisés dans les stations d'épurations sont la DBO, la DCO et les MES. Lorsqu'on dégrade les milieux récepteurs, il est fréquent d'analyser les paramètres azotés (NGL , NH_4^+ , NO_3^-) et le phosphore. En vue de maîtriser les risques environnementaux causés par les eaux usées, une analyse est nécessaire. Il s'agit en effet de déterminer et quantifier les substances et micro-organismes contenus dans ces eaux. Ceux-ci dans l'optique de :

- Trouver les moyens de les supprimer
- Les réduire à un taux acceptable pour permettre leur rejet dans l'environnement [1].

1.2.3.1 Les paramètres physiques

• La Température

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle permet de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau.

• La Conductivité

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau.

• La Turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale.

- *Les Matières en suspension (MES)*

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdales, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau [4].

- *La Couleur :*

Les eaux usées fraîches sont normalement brunes et jaunâtres, mais avec le temps, elles deviennent noires [1].

1.2.3.2 Les paramètres chimiques

- *Potentiel hydrique :*

Le pH permet d'exprimer le degré d'acidité des eaux usées. Sa mesure est très importante pour juger le bon fonctionnement d'une étape de traitement.

- *La demande biochimique en oxygène :*

La DBO représente la quantité d'oxygène dépensée par les phénomènes d'oxydation chimique, d'une part, et d'autre part la dégradation des matières organiques par voie aérobie nécessaire à la destruction des composés organiques. En effet, dans un effluent complexe, ces deux types d'oxydation se superposent, d'où le nom biochimique. Notons que dans les eaux usées domestiques, ce sont les phénomènes biologiques qui prédominent.

- *La demande chimique en oxygène :*

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières existante dans l'eau dans des conditions opératoires définies. Le rapport DCO/DBO₅ renseigne sur la qualité de la biodégradation. Un rapport DCO/DBO₅ inférieur à 2,5 indique que ces eaux sont susceptibles de subir un traitement biologique [5].

- *L'Azote et le phosphore*

- *L'azote*

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O₂) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH₃), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH₄⁺). La nitrification est une transformation chimique de l'azote organique par l'intermédiaire de bactéries et passe par les étapes :

- N organique à NH₄⁺ : ammonification
- NH₄⁺ à NO₂⁻ : nitritation par Nitrosomonas

- NO_2^- à NO_3^- : nitratisation par Nitrobacter [6]

- *Le Phosphore*

Le phosphore est un constituant de la matière vivante, qui se trouve également dans des produits de synthèse, engrais ou détergents. La plus grande partie du phosphore naturellement présent en faible quantité dans les eaux provient du rejet des eaux domestiques et industrielles. Si les phosphates ne sont pas toxiques en eux-mêmes, ils induisent une modification majeure des écosystèmes en favorisant en premier lieu un développement de la flore aquatique [7].

1.2.3.3 Paramètres biologiques :

La boue activée est constituée essentiellement de bactéries et parfois de champignons de rotifères et de nématodes.

○ *Nématodes :*

Ce sont des vers filiformes non segmentés, recouvert d'une couche chitineuse transparente.

○ *Coliformes fécaux :*

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermos tolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de $44,5^\circ\text{C}$. Bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique, tels les effluents industriels du secteur, des pâtes et papiers ou de la transformation alimentaire [5].

1.3 Les différents procédés de traitement

1.3.1 Traitements préliminaires :

Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute. En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (désuilage). Les déchets solides peuvent être déchiquetés (dilacération) par des « pompes dilacératrices », cette opération facilitant leur dispersion.

✓ *Dégrillage/ Tamisage :*

Le dégrillage et le tamisage permettent de retirer de l'eau les déchets insolubles tels que les branches, les plastiques, serviettes hygiéniques, etc. (**Figure 1-1**). En effet, ces déchets ne pouvant pas être éliminés par un traitement biologique ou physico-chimique, il faut donc les éliminer mécaniquement. Pour ce faire, l'eau usée passe à travers une ou plusieurs grilles dont

CHAPITRE 1 : EPURATION DES EAUX USEES

les mailles sont de plus en plus serrées. Celles-ci sont en général équipées de systèmes automatiques de nettoyage pour éviter leur colmatage, et aussi pour éviter le dysfonctionnement de la pompe (dans les cas où il y aurait un système de pompage).

* *Un dégrillage grossier* : l'eau brute passe à travers une première grille qui permet l'élimination des matières de diamètre supérieur à 50mm.

* *Un dégrillage fin* : après le relevage de l'eau par quatre pompes (1250 m³/ h pour chacune), il passe par deux grilles à câble composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux est de 20mm, la vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s.



Figure 1-1: dégrilleur mécanique et manuel (Step Guelma)

✓ *Dessablage :*

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et autres particules minérales de diamètres supérieures à 0,2 mm contenus dans les eaux usées, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé « dessableur » entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables extraits peuvent être lavés avant d'être mis en décharge, afin de limiter le pourcentage de matières organiques, sa dégradation provoquant des odeurs et une instabilité mécanique du matériau.

✓ *Déshuilage*

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface (les graisses sont

hydrophobes). Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface (**Figure 1-2**). Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations.



Figure 1-2 : Les deux bassins de dessablage/déshuilage (Step Guelma)

1.3.2 *Traitement primaire*

Enlèvement des solides organiques et inorganiques sédimentables ainsi que les matériaux flottants (**Figure 1-3**). La décantabilité des matières dans un bassin est déterminée par l'indice de Mohlman. Cet indice est déterminé chaque jour dans les stations d'épuration importantes afin de vérifier le bon fonctionnement du système. À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau a permis de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO). Cette part de DBO5 supprimée était induite par les matières en suspension. La charge organique restant à traiter est allégée d'autant. Les matières supprimées forment au fond du décanteur un lit de boues appelé boues primaires [10].



Figure : 1-3 Le décanteur primaire (STEP Guelma)

1.3.3 Traitement secondaire ou l'élimination biologique des matières polluantes

La matière organique dissoute restante subira un traitement biologique, aussi appelé traitement secondaire. On injecte d'abord de l'air dans des bassins d'aération afin que le dioxygène favorise la croissance des micro-organismes. Ceux-ci décomposent alors une partie de la matière organique en dioxyde de carbone et en eau. Ensuite, des bactéries décomposent l'excédent de matière organique lors de la filtration biologique. Par décantation, les matières solides se déposent au fond du bassin et forment des boues secondaires qui seront aussi traitées comme l'étaient les boues primaires. Au cours de cette étape du traitement des eaux usées, 75% à 95% de la matière organique est éliminé. À la suite de cette étape, les eaux sont assez propres pour être retournées dans les cours d'eau, mais elles peuvent aussi subir des traitements complémentaires. Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et intensif [11].

1.3.3.1 Les procédés extensifs

❖ Le lagunage

Le lagunage utilise la capacité épuratrice de plans d'eau peu profonds. Les eaux usées sont envoyées dans une série de bassins. L'oxygène est apporté par les échanges avec l'atmosphère (**Figure 0-3**). La pollution organique se dégrade sous l'action des bactéries présentes dans le plan d'eau. Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 à 90 % de la DBO, 20 à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes [5].



Figure1-4 : le lagunage aéré (Step Guelma)

1.3.3.2 Les procédés intensifs

Ils regroupent toute une série de techniques ayant en commun le recours à des cultures bactériennes qui « consomment » les matières polluantes. Il existe deux grandes catégories de procédés biologiques artificiels.

❖ Les boues activées

Les installations à « **boues activées** » : il s'agit d'un système d'épuration aérobie, c'est-à-dire nécessitant un apport d'oxygène (**Figure 1-4**). La culture bactérienne est maintenue dans un bassin aéré et brassé. Les matières organiques contenues dans l'eau se transforment en carbone (sous la forme de dioxyde de carbone - CO_2) sous l'action des bactéries. Les résidus ainsi formés, contenant ce stock de bactéries, sont appelés « boues ». Après un temps de séjour dans un bassin d'aération, l'effluent est renvoyé dans un clarificateur, appelé aussi décanteur secondaire. Ensuite, les boues sont soit envoyées dans une unité de traitement spécifique, en vue de leur épandage agricole ou de leur élimination, soit réinjectées pour partie dans le bassin d'aération. On qualifie cette opération de « recirculation des boues ». Les traitements par boues activées éliminent de 85 à 95 % de la DBO_5 , selon les installations.



Figure : 1-5 : Les boues activées

❖ *Les lits bactériens*

Les installations à « **cultures fixes** ». La technique « **des lits bactériens** » consiste à faire ruisseler les eaux à traiter sur un support solide où se développe une culture de micro-organismes épurateurs, le « film biologique » ou « biofilm » (Figure 1-5). Le rendement maximum de cette technique est de 80 % d'élimination de la DBO. Ces procédés équipent moins de 10 % du parc français des stations d'épuration. Ils sont en général réservés aux installations d'une taille inférieure à 2 000 équivalents-habitants.



Figure 1-6 : Le lit bactériens

❖ *Les filtres biologiques*

La biofiltration utilise une culture bactérienne fixée sur un support granulaire. Le milieu granulaire sert à la fois de filtre et de support aux cultures bactériennes (Figure 1-6). Cette installation offre donc la possibilité de réaliser conjointement la dégradation des matières

polluantes et la clarification des eaux usées. Quel qu'il soit, le matériau retenu doit se caractériser par son action filtrante et permettre une fixation maximale des cultures biologiques. Un système d'aération apporte l'oxygène nécessaire à l'intérieur du filtre. Cette technique élimine environ 90 % de la DBO et peut également éliminer l'azote [12].



Figure 1-7 : le biofiltre

❖ *Les disques biologiques*

La technologie Bio-disque est un procédé d'épuration mettant en jeu un traitement biologique aérobie à biomasse fixée. Les supports de la microflore épuratrice sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation pour assurer à la fois la mise en contact des bactéries avec l'effluent, leur oxygénation et le mélange (**Figure1-7**) [13].



Figure 1-8 : Les disques biologiques

1.3.3.3 Bassins d'aération

Cette étape est conçue sur le principe des boues activées en moyenne charge, afin d'éliminer la pollution carbonée. La dégradation des matières organiques entraîne la production supplémentaire de biomasse (boues biologiques) (**Figure1-8**). Cette biomasse épuratrice a la particularité de former une suspension de particules decantables ou floc bactérienne fois la réaction terminée, le mélange biomasse eau interstitielle est dirigé vers un ouvrage de séparation (clarificateur) dans lequel sont récupérées en fond d'ouvrage les boues et en surverse, les eaux épurées. Dans un système dynamique de réaction biologique, une concentration stable des boues activées dans le bassin d'aération est maintenue par recirculation des boues décantées, tandis que la part en excès est extraite du système. Les boues en excès sont alors retournées vers l'épaississeur après mélange avec les boues primaires. Les ouvrages sont dimensionnés de la façon suivante

Charge massique=0.2314kg/DBO5/kg MVS.J

Charge volumique=0.84 kg DBO5/m³. J

Cela implique une concentration en MVS dans le bassin d'aération de 3.6 g/l

Le volume d'aération obtenu est de 9333 m³ réalisé en 2 ouvrages rectangulaires

Ils sont cohérents avec la norme de rejet demandée

L'aération est demandée réalisée à partir de 8 turbines de 45 KW chacune



Figure 1-9 : Les deux bassins d'aération accompagnés de leurs 6 turbines (Step Guelma)

CHAPITRE 1 : EPURATION DES EAUX USEES

1.3.3.4 Détermination de la capacité d'aération

Les besoins en oxygène de la biomasse sont calculés pour un traitement de type moyenne charge par la formule suivante :

$$QO_2 = a'Le + b'Sa \dots \dots \dots (1)$$

Où a' , b' : coefficients spécifiques liés au procédé de traitement (charge massique)

Le = quantité de DBO₅ à éliminer par traitement biologique

Sa = quantité de biomasse (MVS) présente en aération

Les besoins en oxygène liés à l'élimination de l'azote sont négligeables dans un traitement de type moyenne charge (pas de nitrification/ dénitrification) (**Tableau 1-1**).

Tableau 1-1 : Détermination de la capacité d'aération

Désignation	Unité	Valeurs
a'	Kg O ₂ /kg DBO ₅	0.55
Charge en DBO ₅ en entrée	Kg/J	7560
Charge en DBO ₅ en sortie (norme de rejet)	Kg/J	960
DBO ₅ à éliminer (Le)	Kg/J	6600
b'	Kg O ₂ /kg MVS bassin	0.08
Concentration en MVS en bassin d'activation	G MVS/l	2.3
Volume du bassin d'activation	M ³	9333
Quantité de biomasse en aération (Sa)	Kg MVS	21466
O ₂ pour la synthèse des MVS ($a'DBO_5$)	Kg O ₂ /J	3630
O ₂ pour la respiration endogène ($b'MVS$)	Kg O ₂ /j	1717
Besoins journaliers en O ₂	Kg O ₂ /J	5347
Besoin moyen horaire en O ₂	Kg O ₂ /h	223
Coefficient de pointe		1.7
Besoin en O ₂ en pointe	Kg O ₂ /h	382

Le coefficient de pointe est choisi de manière à obtenir un fonctionnement de l'aération d'environ 14 heures par jour pour assurer la capacité d'oxygénation pendant les périodes de pointe en pollution. Les besoins en oxygène apportés par les turbines doivent être supérieurs aux besoins réellement consommés de manière à tenir compte du coefficient de transfert eau claire/ boues. En aération par turbine (aération de surface) ce coefficient est pris égal à 0,7.

Tableau 1-2 : Détermination de la teneur en oxygène

Désignations	Valeur	Unité
Coefficient de transfert	1	Par aérateur de surface
Coefficient de salinité	0.97	
Coefficient de pression	1	
Coefficient de correction de profondeur DC	1.0	Par aérateur de surface
Teneur en oxygène à temps T et 1 bar (mg/L) Cst	8.24	Mg/l
Teneur en oxygène à 20°C et 760 mm Hg (mg/L) Cs20	9.08	Mg/l
Teneur en oxygène dans le bassin d'aération C	1.5	Mg/l
Coefficient de correction de température	1.024	
Température moyenne	20.0	°C

Dans tous les cas la puissance des turbines doit permettre d'assurer un brassage de la biomasse de manière à homogénéiser l'effluent et à optimiser le transfert de l'air. Pour cela un coefficient minimum de 35 W/m³ doit être retenu en absence d'agitateur (**Tableau 1-2**).

1.3.3.5 Capacité des turbines

Les phases d'aération, les besoins en oxygène sont pilotés par une sonde O₂ (une par bassin). Dans le cas où l'information n'est pas envoyée par la sonde pendant une durée déterminée l'aération séquentielle est automatiquement enclenchée (secours sur horloge).

1.3.3.6 Production de boues en excès

Les boues biologiques en excès sont estimées à 8724 kg MS/J, soit un ratio de production boues de 1,3 kg MS/kg DBO₅ éliminé ce qui est une valeur conforme aux productions de boues en excès produites par un procédé de type moyenne charge

L'âge moyen des boues dans le bassin d'aération est estimé à partir de la formule

Age de boues= quantité de biomasse en aération (MS) / boues en excès

Soit un âge de boues de 5.9 jours (51660 kg MS/8724 kg MS/j) ce qui est compatible avec un traitement de type moyenne charge (**Tableau 1-3**).

CHAPITRE 1 : EPURATION DES EAUX USEES

Tableau 1-3 : Production des boues en excès

Désignations	Unité	Valeurs
Production de boues biologiques	Kg MVS/j	8724
Fraction MVS/MES	%	65
Quantité de MVS	Kg MVS/j	5670
Age de boues	J	59
Concentration dans le bassin d'aération	G MS/l	3.5
Concentration minimum boues dans le clarificateur	G/l	6
Volume maximum de boues biologiques en excès	M ³ /J	1454

1.3.4 Traitement tertiaire

Les traitements primaires et secondaires ne détruisent pas complètement les germes présents dans les rejets domestiques. Des procédés d'élimination supplémentaires sont donc employés lorsque les eaux traitées sont rejetées en zone de baignade ou de pisciculture.

Le chlore : est le désinfectant le plus courant. Mais la désinfection peut également s'effectuer avec l'ozone ou le brome, voire le dioxyde de chlore (**Figure 1-10**).



Figure 1-10 : Bassin de désinfection

1.3.4.1 L'élimination de l'azote

Les stations d'épuration prévues pour éliminer les matières carbonées n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des traitements complémentaires doivent être mis en place. L'azote organique se transforme dans les eaux usées en azote ammoniacal (NH₄⁺). L'élimination de l'azote

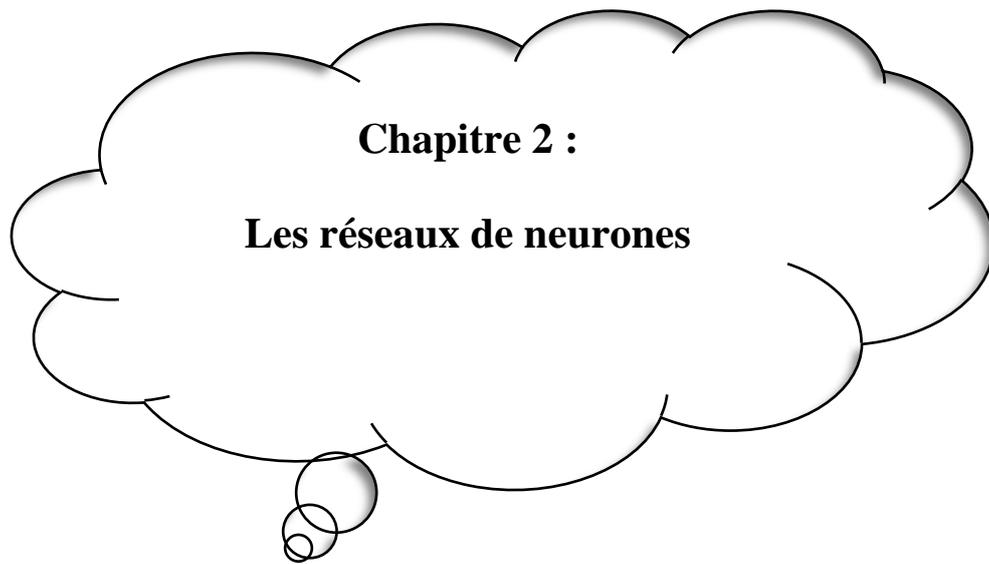
ammoniacal est, le plus souvent, obtenue grâce à des traitements biologiques, de « **nitrification-dénitrification** ». La nitrification consiste en une transformation, par des cultures bactériennes, de l'azote ammoniacal en nitrates (NO_3^-), une forme oxydée de l'azote. Une seconde phase, la dénitrification, complète le processus. Les nitrates, sous l'action de bactéries « dénitrifiantes », sont transformés en azote gazeux. Ce gaz s'échappe alors dans l'atmosphère.

1.3.4.2 Elimination du phosphore

L'élimination du phosphore, ou « **déphosphatation** », peut être réalisée par des voies physico-chimiques ou biologiques. En ce qui concerne les traitements physico-chimiques, l'adjonction de réactifs, comme des sels de fer ou d'aluminium, permet d'obtenir une précipitation de phosphates insolubles et leur élimination par décantation. Ces techniques, les plus utilisées actuellement, éliminent entre 80 et 90 % du phosphore, mais engendrent une importante production de boues. La déphosphatation biologique consiste à provoquer l'accumulation du phosphore dans les cultures bactériennes des boues. Le rendement moyen est d'environ 60 % [12].

1.4 Conclusion

Au terme de ce chapitre nous avons englobé tous les points indispensables pour le dimensionnement d'une station d'épuration c'est à dire les différents paramètres de pollution ainsi que les procédés existants pour le traitement des eaux usées dans des conditions et assurant la protection de l'environnement.



2.1 Introduction :

L'inspiration pour les réseaux de neurones provient de la volonté de créer des systèmes artificiels sophistiqués, voire intelligents, capables d'effectuer des opérations semblables à celle que le cerveau humain effectue de manière routinière. Un réseau de neurones artificiels permet aux machines de copier le fonctionnement du cerveau humain. Avec la technologie de l'intelligence artificielle. Dans ce chapitre nous aborderons certains points comme : les généralités sur le neurone et les réseaux de neurones (l'architecture, méthodes d'apprentissage, conditions d'utilisation, avantages et inconvénients) ...

2.2 Réseaux de neurones :

- *Définitions et Principes*

Un réseau de neurones artificiel est un modèle de calcul dont la conception est très schématiquement inspirée du fonctionnement de vrais neurones. Un réseau de neurones est constitué d'un très grand nombre de petites unités de traitement identiques appelées neurones artificiels. Chacun de ces neurones est par ailleurs fort complexe. Essentiellement, il s'agit de tissu vivant et de chimie. Les spécialistes des neurones biologiques commencent à peine à comprendre quelques-uns de leurs mécanismes internes. On croit en général que leurs différentes fonctions neuronales, y compris celles de la mémoire, sont stockées au niveau des connexions (synapses) entre les neurones. C'est ce genre de théories qui ont inspiré la plupart des architectures de réseaux de neurones [14].

2.2.1 Les neurones biologiques

Selon la théorie de Waldeyer, le cerveau humain est composé de près de 100 milliards de neurones reliés entre eux. Chacun de ces éléments est lui-même constitué de plusieurs parties. En premier lieu, on retrouve au cœur du neurone son noyau, ou « corps cellulaire ». Cette partie centrale a pour rôle de contrôler la réaction de la cellule, en fonction des informations reçues en entrée. Ces données lui parviennent grâce à des branches appelées « dendrites ». Ce sont elles qui transmettent les signaux depuis l'extérieur vers le corps cellulaire. Cette dernière traite alors l'information et renvoie des signaux électriques via son « axone ». Celui-ci permet ainsi de véhiculer le message en sortie (**Figure 2-1**) [15].

Enfin, au bout de cet axone, se situent les « synapses ». Ceux-ci assurent alors la communication de l'information aux autres neurones, ainsi qu'aux fibres musculaires (pour d'éventuelles réponses nerveuses).

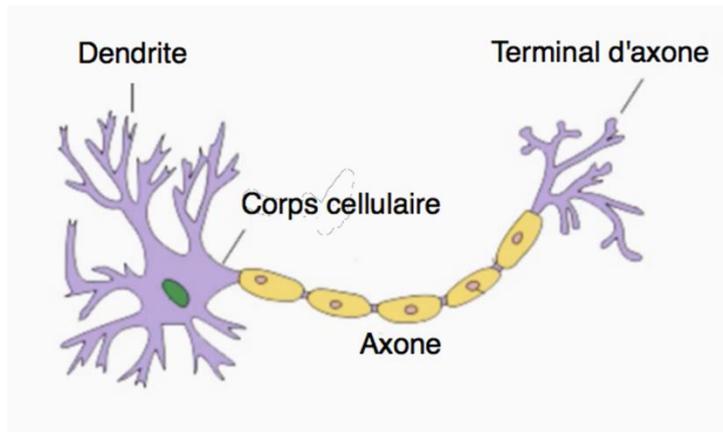


Figure 2-1 : Neurone biologique

2.2.2 Les neurones formels

Un neurone formel, ou neurone, est une fonction algébrique non linéaire et bornée, dont la valeur dépend de paramètres appelés coefficients ou poids. Les variables de cette fonction sont habituellement appelées « entrées » du neurone, et la valeur de la fonction est appelée « sortie ». Un neurone est donc avant tout un opérateur mathématique, dont on peut calculer la valeur numérique par quelques lignes de programme informatique. Il est très rarement réalisé physiquement sous la forme d'un objet (circuit électronique par exemple). Il est cependant pratique de le représenter graphiquement [16]. Mathématiquement, tel qu'il est illustré (Figure 2-2). Chaque neurone reçoit des entrées sous forme vectorielle puis il calcule une somme pondérée de ses entrées pour que le résultat passe ensuite par la fonction d'activation afin de créer une sortie.

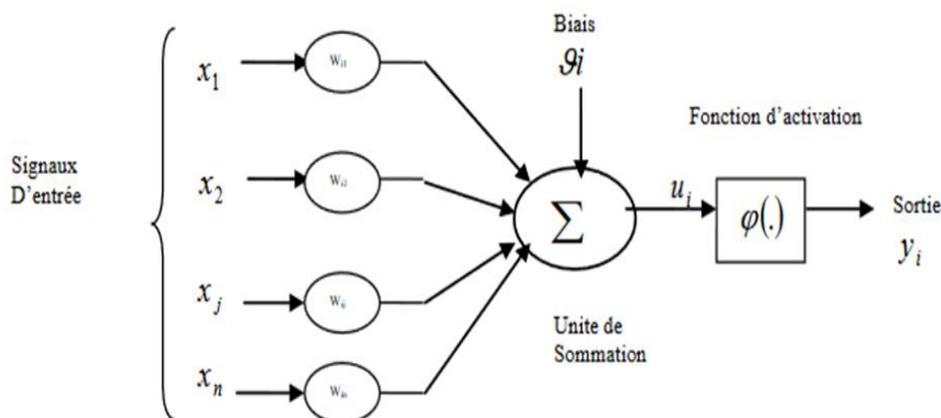


Figure 2-2 : Modèle de base d'un neurone formel

Le modèle de la Figure 2.2 est composé :

CHAPITRE 2 : LES RESEAUX DE NEURONES

- Des entrées du neurone formel x_i $i=1, 2, \dots, n$;
- Des paramètres de pondération W_y ;
- De la fonction d'activation ou de seuillage (non linéaire, sigmoïde, etc....) ;
- Et d'une sortie du neurone formel.

Il existe de nombreuses formes possibles pour la fonction d'activation. Les plus courantes sont présentées sur la **Figure 2-3**. On remarquera qu'à la différence des neurones biologiques dont l'état est binaire, la plupart des fonctions d'activations sont continues, offrant une infinité de valeurs possibles comprises dans l'intervalle $[0, +1]$ (ou $[-1, +1]$).

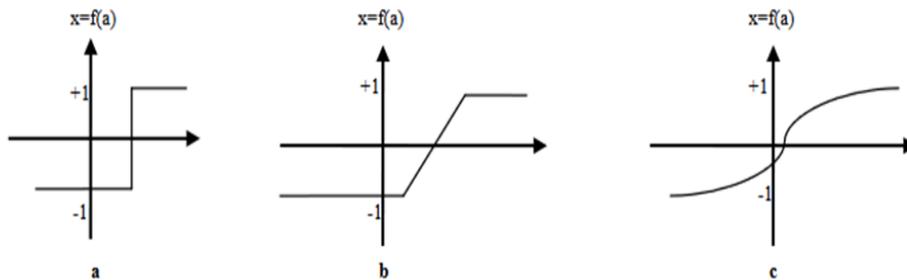


Figure 2-3 : Différents types de fonctions d'activation pour le neurone formel : (a) : fonction à seuil, (b) : linéaire par morceaux, (c) : sigmoïde.

Nous constatons que les équations qui décrivent le comportement des neurones formels n'introduisent pas la notion de temps. En effet, et c'est le cas pour la plupart des modèles actuels de réseaux de neurones, nous avons à faire à des modèles à temps discret, dont le comportement des composants ne varie pas dans le temps [17].

❖ *Correspondance neurone biologique/formel*

On peut résumer la modélisation du neurone formel à partir du neurone biologique à l'aide du tableau suivant (**Tableau 2-1**) [18] :

Tableau 2 .1 : Neurone biologique et artificiel

Neurone biologique	Neurone artificiel
Axones	Signal d'entrée
Dendrites	Signal de sortie
Synapses	Pas de connexion

2.3 Réseaux de Neurones Artificiels

Les réseaux de neurones sont un type de modèle inspiré du fonctionnement du cerveau, qui traite les informations de l'environnement extérieur, en utilisant des unités simples (ou briques simples) fonctionnant en parallèles et sans avoir un organisme de contrôle centrale. (Figure 2-4).

La structure d'un réseau de neurones classique se compose de 3 couches :

- la couche d'entrée.
- La ou les couches cachées.
- La couche de sortie

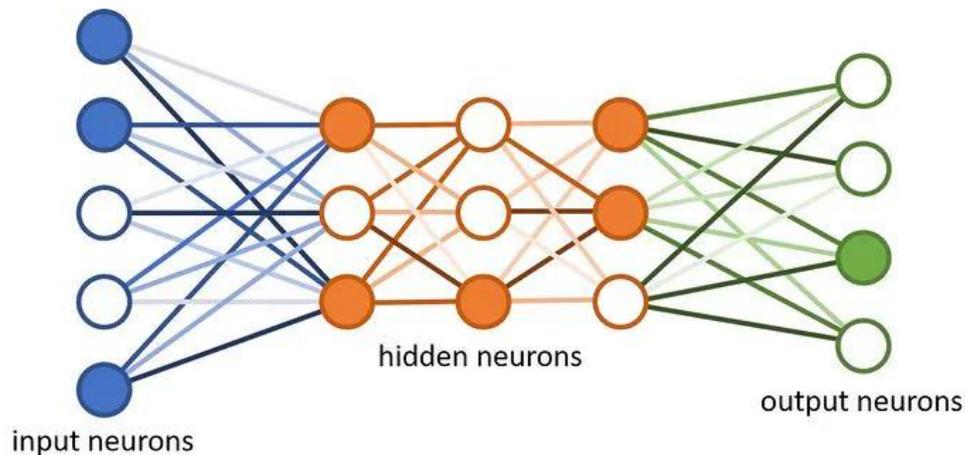


Figure 2-4 : Neurone Artificiel

- ❖ La première couche appelée (inputs layer) représente les inputs ou entrées, aucune transformation de l'information introduite n'est opérée au sein de cette couche. Les inputs introduits dans le réseau de neurones sont d'une importance primordiale pour le bon fonctionnement du modèle, certaines informations peuvent être manquantes avec

CHAPITRE 2 : LES RESEAUX DE NEURONES

l'absence de certains inputs pertinents, et l'ajout de certains inputs peuvent nuire au fonctionnement du modèle, car elle peut introduire un bruit qui altère l'information requise pour la modélisation.

- ❖ Dans les couches cachées et la couche de sortie les neurones transforment l'information via des fonctions d'activations, celles-ci sont utilisées pour représenter la non-linéarité dans la modélisation [19].

Sur la base de ces fonctions et principes de fonctionnement, nous pourrions comparer un neurone biologique et un neurone artificiel comme ci-après (**Figure 2-5**) [20].

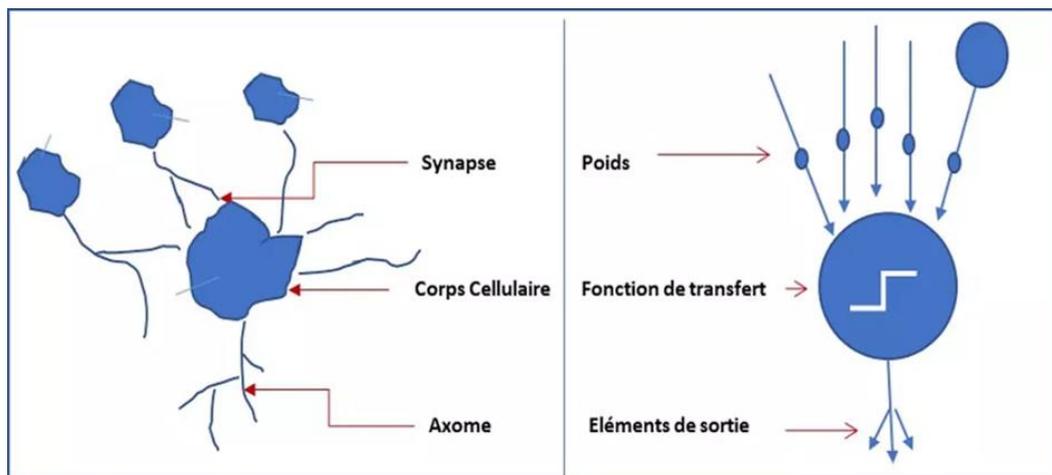


Figure : 2-5 : Correspondance entre un neurone biologique et artificiel

2.4 Fonctionnement les réseaux de neurones

En règle générale, Chacun des neurones de la couche d'entrée entre dans chacun des neurones de la couche cachée et pareil pour la couche suivante (schéma ci-dessus). Pour obtenir une valeur de sortie d'un neurone, chaque neurone est associé à un poids synaptique. Lorsqu'une donnée d'entrée entre dans un neurone, le poids sur le neurone est multiplié par sa valeur d'entrée. Ainsi on calcule la somme des poids multipliés par les valeurs d'entrée à laquelle on ajoute le biais. Enfin, une fonction d'activation est appliquée à cette somme pondérée. Cette valeur de sortie d'un neurone peut ensuite être renvoyée aux neurones de la couche suivante [21].

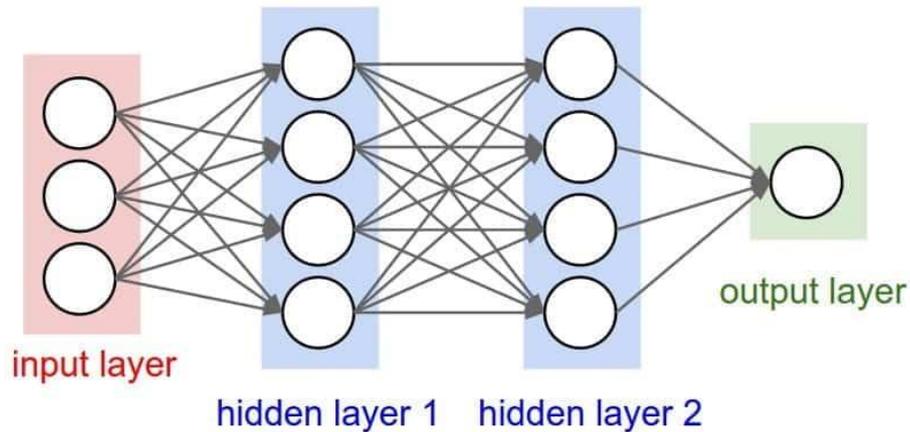


Figure :2-6 : Comprendre le processus

2.5 Architecture des réseaux

L'architecture d'un réseau de neurones est l'organisation des neurones entre eux au sein d'un même réseau. Autrement dit, il s'agit de la façon dont ils sont ordonnés et connectés. La majorité des réseaux de neurones utilise le même type de neurones. Quelques architectures plus rares se basent sur des neurones dédiés, l'architecture d'un réseau de neurone dépend de la tâche à apprendre (problème à résoudre). Un réseau de neurone est en général composé de plusieurs couches de neurones, des entrées jusqu'aux sorties.[22]

2.5.1 Le perceptron multicouche

Le perceptron multicouches (noté MLP pour Multi Layer Perceptron en anglais). L'idée principale est de grouper des neurones dans une couche. On place ensuite bout à bout plusieurs couches et connecte complètement les neurones de deux couches adjacentes. Les entrées des neurones de la deuxième couche sont donc en fait les sorties des neurones de la première couche. Les neurones de la première couche sont reliés au monde extérieur et reçoivent tous le même vecteur d'entrée (c'est en fait l'entrée du réseau). Ils calculent alors leurs sorties qui sont transmises aux neurones de la deuxième couche, etc. Les sorties des neurones de la dernière couche forment la sortie du réseau.

2.5.2 Propriétés des réseaux de neurones multicouches

Les réseaux de neurones à couches ou les perceptrons multicouches MLP (multi-layer perceptron), présentés précédemment dans ce chapitre, ont la propriété générale d'être des approximateurs universels parcimonieux. Il s'agit en fait de deux propriétés distinctes détaillées ci-dessous.

2.5.2.1 La propriété d'approximation universelle

La propriété d'approximation universelle a été démontrée par Cybenko et Funahashi (1989) et peut s'énoncer de la façon suivante :

« Toute fonction bornée suffisamment régulière peut être approchée uniformément, avec une précision arbitraire, dans un domaine fini de l'espace de ses variables, par un réseau de neurones comportant une couche de neurones cachés en nombre fini, possédant toute la même fonction d'activation, et un neurone de sortie linéaire ».

2.5.2.2 La propriété de parcimonie

Lorsque l'on cherche à modéliser un processus à partir des données, on s'efforce toujours d'obtenir les résultats les plus satisfaisants possibles avec un nombre minimum de paramètres ajustables. Dans cette optique, Hornik ont montré que :

« Si le résultat de l'approximation (c'est-à-dire la sortie du réseau de neurones) est une fonction non linéaire des paramètres ajustables, elle est plus parcimonieuse que si elle est une fonction linéaire de ces paramètres. De plus, pour des réseaux de neurones à fonction d'activation sigmoïdale, l'erreur commise dans l'approximation varie comme l'inverse du nombre de neurones cachés, et elle est indépendante du nombre de variables de la fonction à approcher. Par conséquent, pour une précision donnée, donc pour un nombre de neurones cachés donné, le nombre de paramètres du réseau est proportionnel au nombre de variables de la fonction à approcher » [23].

2.6 Apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est la modification des poids du réseau dans l'optique d'accorder la réponse du réseau aux exemples et à l'expérience. Il est souvent impossible de décider à priori des valeurs des poids des connexions d'un réseau pour une application donnée. A l'issue de l'apprentissage, les poids sont fixés : c'est alors la phase d'utilisation. Certains modèles de réseaux sont improprement dénommés à apprentissage permanent. Dans ce cas il est vrai que l'apprentissage ne s'arrête jamais, cependant on peut toujours distinguer une phase d'apprentissage (en fait de remise à jour du comportement) et une phase d'utilisation. Au niveau des algorithmes d'apprentissage, il a été défini deux grandes classes selon que l'apprentissage est dit supervisé ou non supervisé. Cette distinction repose sur la forme des exemples d'apprentissage. Dans le cas de l'apprentissage supervisé, les exemples sont des couples (Entrée, Sortie associée) alors que l'on ne dispose que des valeurs (Entrée) pour l'apprentissage non supervisé [24].

2.6.1 Les lois d'apprentissage

2.6.1.1 La loi de Hebb, un exemple d'apprentissage non supervisé

La loi de Hebb (1949) s'applique aux connexions entre neurones, comme le représente la **Figure 2-7**.

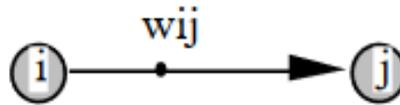


Figure 2-7 : le neurone amont, j le neurone aval et w_{ij} le poids de la connexion. Elle s'exprime de la façon suivante

"Si 2 cellules sont activées en même temps alors la force de la connexion augmente".

La modification de poids dépend de la Co activation des neurones présynaptiques et post synaptique, X_i et x_j sont respectivement les valeurs d'activation des neurones i et j, ∂w_{ij} (dérivée partielle du poids) correspond à la modification de poids réalisée.

2.6.2 Règle d'apprentissage du perceptron (loi de Widrow-Hoff)

Le perceptron de Frank Rosenblatt est très proche de la règle de Hebb, la grande différence étant qu'il tient compte de l'erreur observée en sortie. Cette fonction est recommandée lorsque la tangente hyperbolique (tanh) est utilisée comme fonction d'activation [24].

2.7 Les réseaux de neurones les plus utilisés

2.7.1 Les réseaux monocouches

La structure d'un réseau monocouche est telle que des neurones organisés en entrée soient entièrement connectés à d'autres neurones organisés en sortie par une couche modifiable de poids (**Figure 2-8**).

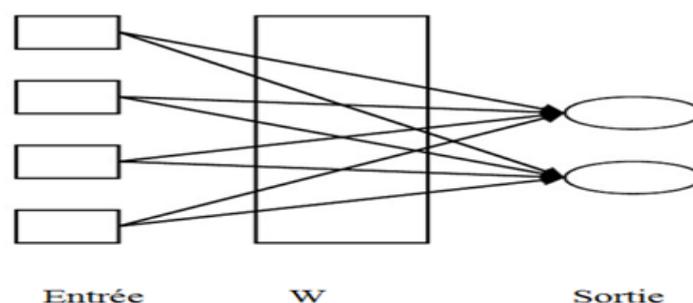


Figure : 2-8 : Réseau monocouche

2.7.2 Réseaux multicouches

Les neurones sont arrangés par couche, les entrées des neurones de la deuxième couche sont en fait les sorties des neurones de la couche amont, les neurones de la première couche sont reliés au monde extérieur et reçoivent le vecteur d'entrée. Il peut y avoir une ou plusieurs sorties à un réseau de neurone. Dans un réseau multicouche, il n'y a pas connexion entre neurone d'une même couche et les connexions ne se font qu'avec les neurones de la couche aval, et tous les neurones de la couche amont sont connectés à tous les neurones de la couche aval qui sont :

- *Couche d'entrée* : contient l'ensemble des neurones d'entrées, cette couche est une couche passive, ses neurones n'effectuent aucun traitement
- *Couche de sorties* : contient l'ensemble des neurones de sorties
- *Couches cachées* : les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur (Figure 2-9).

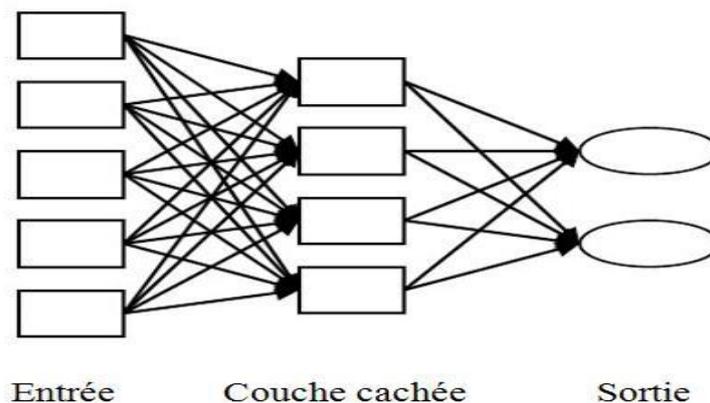


Figure : 2-9 : Réseau multicouche

2.7.3 Réseau à connexion complète

Le réseau à connexion complète est la structure d'interconnexion la plus générale. Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau (et à lui-même) (Figure 2-10).

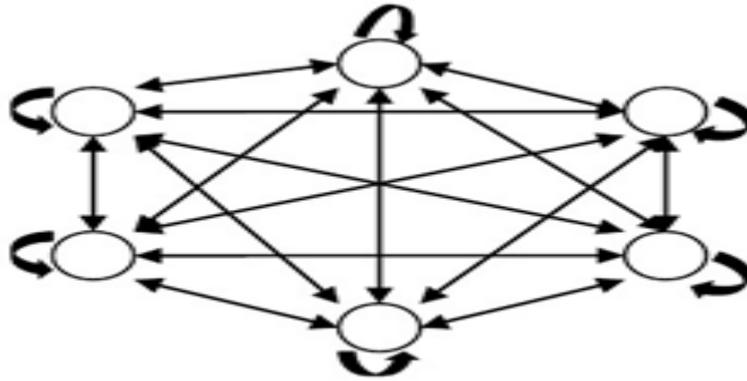


Figure :2-10 : Réseau à connexion complète

2.7.4 Réseau à connexions locales

Il s'agit d'une structure multicouche, mais Chaque neurone entretient des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale. Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouche classique (Figure 2-11).

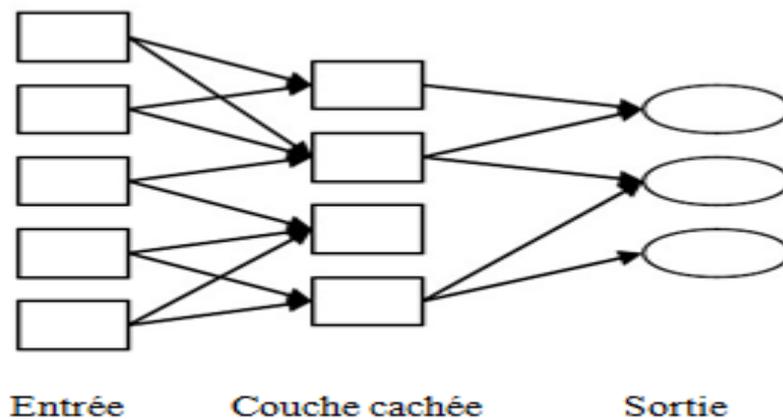


Figure.2-11 : Réseau à connexions locales

2.7.5 Les réseaux de neurones bouclés (récurrents)

Un réseau de neurone bouclé à temps discret réalise une ou plusieurs équations aux différences non linéaires, par composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions. Ces réseaux caractérisent par la présence d’au moins une boucle de rétroaction au niveau des neurones ou entre les couches, et la prise en compte de l’aspect temporel du phénomène. Mais ce sont des modèles plus durs à mettre en œuvre (Figure 2-12) [25].

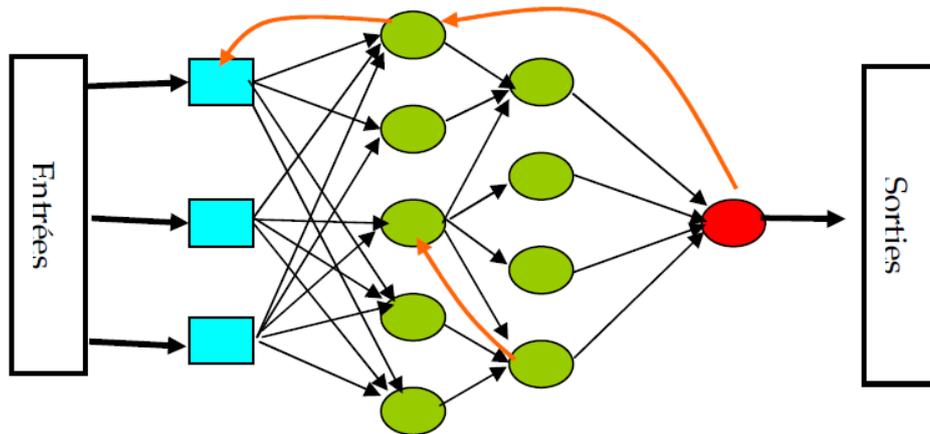
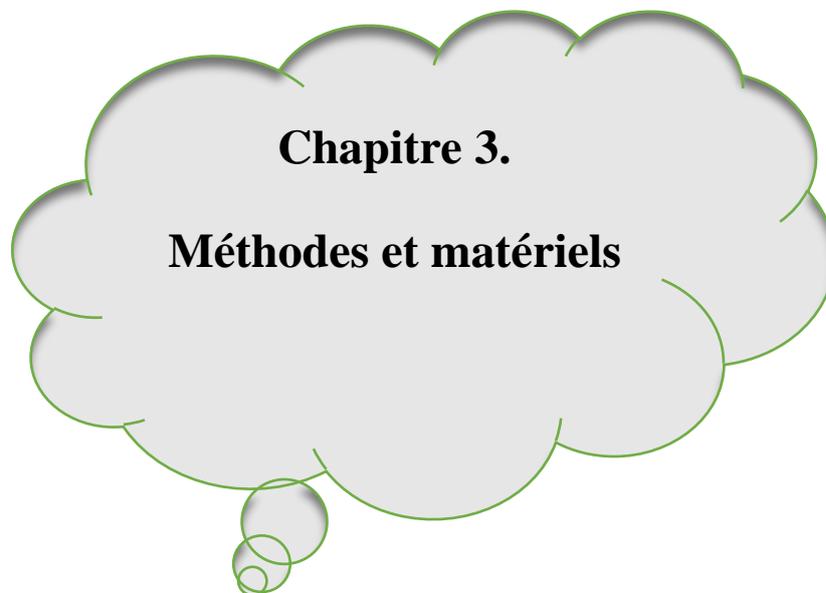


Figure.2-12 : Réseau de neurones bouclés

2.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons commencé par une présentation générale du réseau de neurones, ses méthodes, ses fonctions son domaine d'application avec une vue générale sur l'apprentissage, les avantages les inconvénients ainsi qu'au perceptron multicouche (MPL).



3.1 Introduction

L'objectif principal de ce travail est de décrire la station d'épuration de Guelma, faire des analyses physico-chimiques sur les eaux usées de ladite station en vue d'optimiser la consommation énergétique dans le bassin biologique. Les paramètres mesurés sont : la température, le pH, les matières en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène après 5 jours (DOB_5), les nitrites, les nitrates, le phosphate, et l'indice de boue.

3.2 Description de la station

3.2.1 Localisation

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma est située à 2 km de la ville. Le site de la station d'épuration a été implanté à la sortie de l'agglomération aux abords de l'Oued Seybouse sur la route menant à Annaba, et ce sur une superficie de 7,8 ha avec une capacité de 200 000 équivalents / habitant et fonctionnelle depuis 18 Février 2008 (**Figure 3-1**). Elle a été conçue pour traiter environ 32000 m³/jour par temps sec et 43000 m³/jour par temps de pluie et elle utilise le procédé de cultures libres « boues activées » comme procédé d'épuration.

3.2.2 Emplacement et accès

La STEP de Guelma est alimentée par 02 conduites de refoulement :

- ✚ **SR1** : alimentée par Oued El Maiz, elle ramène des effluents beaucoup plus chargés, qui proviennent principalement des usines qui se trouvent dans la zone industrielle de la ville de Guelma, avec un débit de 1575 m³/h.
- ✚ **SR2** : alimentée par Oued SKhoun, ces effluents sont des rejets des habitants, avec un débit de 1125 m³/h.



Figure. 3.1 : Station d'épuration de Guelma.

3.2.3 Nature du réseau

Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées sur 02 bassins versants par un ensemble de réseaux d'assainissement existant. Les 02 tronçons gravitaires rejoignent chacun le point bas (ou il y'a les 02 postes de refoulement) et le réseau d'assainissement est du type unitaire.

3.2.4 Points de rejet (destination)

➤ L'eau épurée

Le rejet est réalisé dans l'Oued Seybouse situé en contrebas de la station d'épuration à 331 m de distance, les effluents sont acheminés jusqu'à l'Oued par une canalisation de rejet. Pour la station de la ville de Guelma, le rejet doit se conformer aux normes ci-après :

- DBO_5 : inférieure à 35 mg/l sur 24 h sans dépasser 40 mg/l sur 2 heures.
- MES : inférieure à 40 mg/l sur 24 heures.
- DCO : inférieure à 140 mg/l sur 24 h sans dépasser 120 mg/l sur 2 heures.

3.2.5 Les sous-produits issus de l'épuration

- *Boues* : Les boues sont épaissies puis déshydratées sur des lits de séchage avant leur envoi en décharge (ou autres= utilisation agricole).
- *Les produits de Dégrillage* : Les refus de dégrillage sont évacués par un tapis transporteur, ou une vis de convoyage dans une benne à ordures.
- *Graisses et Huiles* : Elles sont stockées dans une fosse à graisse après enlèvement.
- *Sables* : Ils sont extraits de l'ouvrage de prétraitement, séparés de leur eau par un classificateur, puis stockés dans une benne relevable.

3.2.6 Présentation du laboratoire de la STEP (Guelma)

Le laboratoire de la STEP de Guelma est équipé de certains instruments et appareils afin d'assurer le suivi des paramètres physico-chimiques nécessaires pour connaître la qualité de l'eau épurée et l'efficacité d'épuration (**Tableau 3-1**).

Tableau 3.1: les matériels utilisés

NOM	UTILISATION
Spectrophotomètre d'absorption moléculaire	Mesure (nitrates, nitrites)
PH-mètre	Mesure de l'alcalinité et l'acidité
Oxymètre	Mesure de la concentration d'oxygène (DBO)
Conductimètre	Mesure de la conductivité
Réacteur	Echauffement des solutions (DCO)
Distillateur	Produire de l'eau distillée
Microscope optique	Observation des micro-organismes
Four à moufle	La calcination

3.2.7 Principe et fonctionnement d'une STEP

3.2.7.1 Fonctionnement

Entièrement pilotée et gérée informatiquement, la STEP de Guelma effectue un suivi continu de l'évolution des paramètres liés à la qualité du traitement des eaux usées. « Conformément au cahier de charges, nous devons respecter trois critères sur lesquels nous nous sommes engagés : il s'agit après épuration, d'assurer au rejet un taux maximal de 150 mg/l de DCO (demande chimique en oxygène), 40mg/l pour la DBO (demande biochimique en oxygène) et enfin, de 40 mg/l de MES (matière en suspension produites par les rejets urbains et industriels) ».

3.2.7.2 Principe de traitement

Deux phases d'épuration bien distinctes sont mises à contribution, l'une physicochimique allant de l'élimination des débris dans un bassin rectangulaire par dégrillage (opération consistant à débarrasser une eau usée des matières les plus volumineuses entraînées par passage à travers une grille), l'eau est ensuite acheminée par gravitation pour un dessablage et dégraissage dans des bassins circulaires munis de racleuses, s'ensuivra une phase de décantation pour retirer les boues. L'étape biologique est tout aussi importante, puisqu'elle

permet d'éliminer les matières organiques de l'eau, dans un bassin rectangulaire, par injection d'air nécessaire à leur dégradation par voie biologique. La chloration de l'eau est la dernière étape, avant rejet dans l'Oued Seybouse. Pour ce qui est de la présence de métaux lourds, pesticides et autres poisons rejetés dans la Seybouse par les riverains, Il est à noter que l'épuration des eaux usées de la ville de Guelma réduira dans le temps, d'une part, les effets néfastes chimiques et mécaniques de la formation de boues polluées en suspension, tant sur la faune que sur la flore. Elle augmentera, également, la pénétration de la lumière dans l'eau de la Seybouse en favorisant la photosynthèse.

3.3 Bassin d'aération :

Les eaux prétraitées sont dirigées vers 2 bassins d'aération fonctionnant en parallèle. Chaque bassin est équipé de 3 turbines. Cette aération est assurée par 6 aérateurs de surface dont la fonction est double : aération et brassage des boues activées, afin d'éviter toute décantation de la biomasse. La régulation de l'aération s'effectue soit au moyen de sondes à oxygène (20 minutes temps de marche et 40 minutes temps d'arrêt ou soit en mode de tranche horaire.

3.4 Les méthodes et matériels

L'échantillonnage est le prélèvement d'échantillons selon une procédure spécifiée. Il est utilisé pour faire des déclarations fiables sur la qualité, l'état ou la composition d'une matière particulière. Le processus d'échantillonnage donne des échantillons, mais ces échantillons peuvent être réassemblés en échantillons de collecte ou mélangés ou divisés. Le but est de générer un échantillon aussi reproductible que possible. Pour le prouver, il existe des méthodes statistiques. L'échantillon peut ensuite être analysé [26].

3.4.1 Matériels de prélèvement

- Une perche pour les prélèvements en profondeur ;
- Récipient en plastique

3.5 La température

La température a un impact important sur l'activité des bactéries car chaque gamme de bactéries est adaptée à une plage de température. Cependant, de manière pratique, il est difficile de contrôler la température à l'intérieur d'un réacteur biologique. Une température élevée dans le bassin d'aération supérieure à 35°C augmente sensiblement le taux de multiplication des microorganismes. Il s'en suit une mauvaise floculation de la boue.

3.6 Le pH

Le pH étant un paramètre influençant à la fois le niveau d'activité, la croissance des bactéries et la solubilité des composés. Il est important de le contrôler dans le bassin d'aération, d'autant plus que les bactéries sont sensibles à sa variation. Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH mètre, basé sur la méthode électrométrique à l'électrode de référence (**Figure 3-2**). L'appareil utilisé est un pH-mètre permettant des mesures du pH/potentiel rédox avec électrode combinée de pH et électrode combinée rédox recommandées pour les eaux usées avec les solutions tampon pH/ Rédox, avec une sonde (accessoire) pour mesurer la température [27].

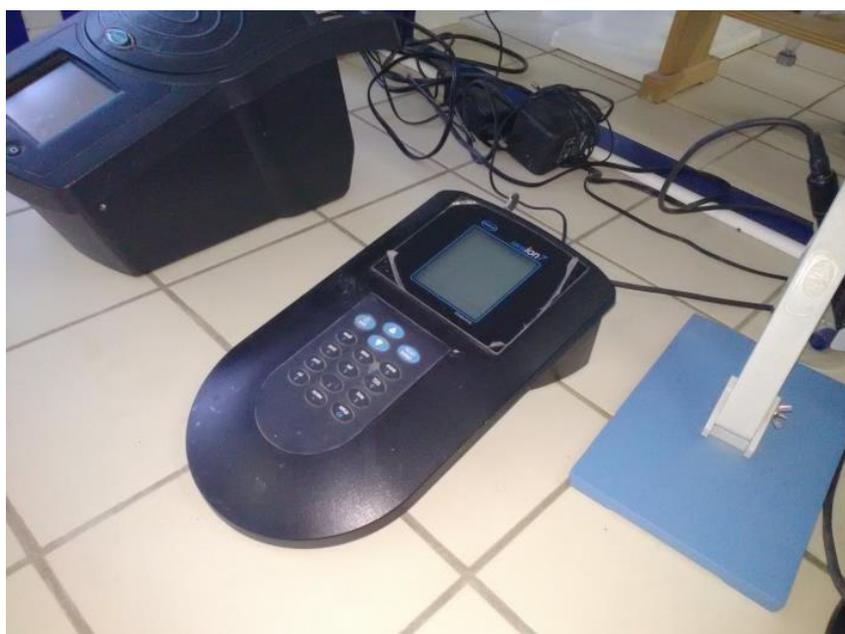


Figure. 3-2 : PH - mètre

3.7 Matières en suspension (MES)

Les MES s'obtiennent soit par filtration des effluents peu chargés soit par centrifugation des solutions avec séchage jusqu'à obtenir un résidu sec, soit par filtration sur filtre en fibre de verre (**Figure 3-3**).

- *La norme EN-NF 872(Méthode par filtration sur filtre en fibre de verre)*
- *La méthode par centrifugation.* Cette méthode s'applique si la qualité de l'échantillon provoque le colmatage du papier filtre ou lorsqu'il est très chargé en suspension. Si la durée de la filtration dépasse 30mm. L'utilisation de la méthode par centrifugation est recommandée.

3.7.1 Matériels

- Méthode par filtration sur filtre en fibre de verre

- Pompe à vide
- Entonnoir de 300ml
- Disque filtrant en fibre de verre ou autres papiers filtres
- Etuve 105°C, balance de précision, et un dessiccateur

3.7.2 Méthode par centrifugation

- Centrifugeuse avec accélération
- Etuve 105°C
- Balance de précision de laboratoire
- Un dessiccateur
- Epruvette de 100 ml, assiettes

$$MES \left(\frac{mg}{l} \right) = (M_1 - M_2) * 1000 / V \dots\dots\dots (2)$$

M₁ : masse du papier filtre avant utilisation (mg)

M₂ : masse du papier filtre après utilisation (mg)

V : volume d'eau utilisé (ml).



Figure 3-3 : Photo de la balance électronique

3.8 Matière volatile en suspension (MVS) :

Elle représente la fraction organique de MES obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2h. La différence de poids entre MES à 105°C et MES à 525°C donne « perte ou feu » et correspond à la teneur en MVS (mg/l) d'une eau. La méthode utilisée est la méthode gravimétrique.

3.8.1 Matériels

- Four à moufle
- Balance de précision
- Capsule en porcelaine ou en verre
- Un dessiccateur
- Etuve dont la température est à 105°C

3.8.2 Mode opératoire des MVS

- Prendre les coupelles de MES et les laisser au four pendant 2h à 525°C
- Mettre les coupelles dans le dessiccateur pendant 15 minutes
- Peser les coupelles. Noter la masse

$$MVS \left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{(M1 - M2) * 1000}{V} \dots \dots \dots (3)$$

L'écart doit être inférieur à 5 % [17].

3.9 La demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ est obtenue après cinq jours d'incubation à 20°C et à l'obscurité afin d'éviter la photosynthèse.

3.9.1 Matériels :

- DBO mètre ;
- Incubateur à 20°C ± 1 °C (Etuve pour DBO à 20°C) ;
- Flacons d'incubation (Flacon à DBO₅ bran de 250 ml à col rodé)
- NaOH ;

3.9.2 Mode opératoire :

L'échantillon peu ou non dilué est renfermé dans un flacon avec un certain volume d'air qui assure la réoxygénation. La consommation d'oxygène est suivie en continu grâce à un manomètre par chute de pression. L'appareil est équipé d'un agitateur pour assurer l'oxygénation de l'échantillon en permanence et d'un dispositif pour éliminer le gaz carbonique par fixation sur alcali (KOH, NaOH) (**Figure 3-4**).



Figure 3-4 : Photo du DBO mètre HACH

3.10 Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO)

Ce paramètre a été analysé au moyen d'un spectrophotomètre après oxydation de l'échantillon (**Figure 3-5** et **3-6**).

3.10.1 Matériels :

- Spectrophotomètre ;
- Plaque chauffante ;
- Bêchers, pipettes (5 ml, 2 ml) + poire ;
- Tubes de spectrophotomètre
- Solution d'oxydation ($K_2 Cr_2 O_7 + H_2 SO_4 + Hg_2 SO_4$);
- Acide ($Ag_2 SO_4 + H_2 SO_4$).

3.10.2 Mode opératoire:

La demande chimique en oxygène est déterminée après une oxydation en milieu acide par un excès de dichromates de Potassium à la température $148^\circ C$ des matières oxydables dans les conditions de l'essai en présence de sulfate d'argent ($AgSO_4$) et sulfate de mercure ($Hg SO_4$) [28]



Figure 3-5 : Photo du bloc chauffant



Figure 3.6: Photo du spectrophotomètre

3.11 Détermination de l'azote ammoniacal (NH_4^+)

3.11.1 Principe :

Mesure spectrophotométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de Nitroprussiate de Sodium. La lecture se fait à la longueur d'onde de 655 nm (ISO 7150).

3.11.2 Réactifs :

Réactif I :

Acide dichloroisocyanurique..... 2 g
 Hydroxyde de sodium (NaOH)..... 32 g
 Eau distillée..... 1000 ml

Réactif II (coloré) :

Tri citrate de Sodium..... 130 g
 Salicylate de Sodium..... 130 g
 Nitropruciate de Sodium..... 0,97 g
 Eau distillée 1000 ml

Solution mère étalon d'azote ammoniacal de 0,1 g/l :

Dessécher une quantité de NH_4Cl à 105 °C pendant 1 heure et peser 0,03821 g puis dissoudre dans 100 ml d'eau distillée. Prendre 1 ml de la solution mère qu'on met dans 100 ml d'eau distillée pour avoir une solution intermédiaire de 1 mg/l.

3.11.3 Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 4 ml d réactif I
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec l'eau distillée et attendre 1 h.
- L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH_4^+ .

3.12 Détermination des nitrites (NO_2^-)

3.12.1 Principe :

La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa copulation avec le N(Naphtyle) éthylène diamine donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique. La lecture se fait à la longueur d'onde 543 nm.

3.12.2 Réactifs :

Réactif mixte :

Sulfanilamide.....	40 g
Acide phosphorique.....	...100 ml
N-1 Naphtyle éthylène diamine.....2 g
Eau distillée	1000 ml.

Solution mère étalon d'azote nitreux à 100 mg/l :

Dessécher le Nitrite de Sodium à 105 °C pendant 1 h, puis peser 0.0492 g et dissoudre dans 100 ml d'eau distillée.

Solution fille étalon d'azote Nitreux à 1 mg/l :

Pipeter 1 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée (à préparer chaque jour).

3.12.3 Mode opératoire :

Prendre 50 ml d'eau à analyser

Ajouter 1 ml d réactif mixte.

L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^-

Détermination des nitrates (NO_3^-) : Méthode au Salicylate de Sodium

La lecture se fait à la longueur d'onde 420 nm.

3.12.4 Principe :

En présence de Salicylate de Sodium, les Nitrates donnent d Paranitrosnylate de Sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

3.12 .5 Réactifs :

Solution de Salicylate de Sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 heures)

0.5 g de Salicylate de Sodium dans 100 ml d'eau distillée.

Solution d'Hydroxyde de Sodium à 30 % :

30 g de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.

H₂SO₄ concentré.

Tartrate double de Sodium et de Potassium

Hydroxyde de Sodium..... 400 g

Tartrate de Sodium et de Potassium..... 60 g

Eau distillée..... 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 ml. Cette solution doit être conservée dans flacon de polyéthylène.

Solution mère étalon d'azote Nitrique à 1 g/l.

Nitrate de Potassium anhydre 0.722 g

Eau distillée..... 1000 ml

Chloroforme.....1 ml

Solution fille étalon d'Azote Nitrique à 5 mg/l

Pipeter 5 ml de la solution mère dans 100 ml d'eau distillée

3.12.6 Mode opératoire :

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.

Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %

Ajouter 1 ml de Salicylate de Sodium.

Evaporer à sec au bain marine ou à l'étuve à une température de 75-88 °C.

(Ne pas surchauffer ni surcharger très longtemps) laisser refroidir.

Reprendre le résidu avec 2 ml de H₂SO₄ pur laissé reposer 10 mn.

Ajouter 15 ml d'eau distillée

Ajouter 15 ml de Tartrate double de Sodium et de Potassium

Evaporer à sec de 75-88 °C et poursuivre de la même manière que pour l'échantillon à analyser. Multiplier par 4.43 pour obtenir la concentration en NO₃⁻.

3.13 Détermination des phosphates (OPO₄) : Méthode au Salicylate de Sodium

3.13.1 Principe :

Formation en milieu acide d'un complexe avec le Molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de Potassium. Réduction par l'acide ascorbique qu'en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 800 nm.

3.13.2 Réactifs :

Réactif mixte :

Heptamolybdate d'Ammonium.....	13 g A
Eau distillée.....	100 ml
Tartrate d'Antimoine.....	0.35 g B
Eau distillée.....	100 ml
Acide Sulfurique.....	150 ml C
Eau distillée.....	150 ml
(A + B) + C.....	500 ml

Acide Ascorbique à 10 % :

Acide Ascorbique.....	10 g
Eau distillée.....	100 ml

Solution mère à 50 mg/l PO₄³⁻

Solution fille à 2 mg/l PO₄³⁻

3.13.3 Mode opératoire :

40 ml d'eau à analyser

1 ml d'Acide Ascorbique

2 ml du réactif mixte

Attendre 10 mn le développement de la couleur

La lecture se fait à la longueur d'onde de 880 nm

3.14-Calcul de la charge massique et de la charge volumique :

Le calcul des différentes valeurs de la charge massique et la charge volumique a été fait avec les expressions suivantes : [27]

Charge massique Cm :

$$Cm = \frac{[DBO5]*QJ}{VBA*MVS} \dots\dots\dots (4)$$

Avec : Cm : Charge massique (Kg DBO₅/ Kg MVS.j) ;

VBA : volume du bassin d'aération (m³) ;

MVS : concentration en matière sèche (Kg/m³) ;

Qj : débit journalier d'eau usée à traiter (m³/j) ;

Charge volumique Cv :

$$CV(Kg..MVS.J) = \frac{[DBO5].QJ}{VBA} \dots\dots\dots (5)$$

Avec :

Qj : débit journalier d'eau usée à traiter (m³/j) ;

V_{BA} : volume du réacteur (m³) ;

[DBO₅] : la concentration en demande biologique en Oxygène de l'effluent à cinq jours (kg O₂/m³).

3.15 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons eu à décrire notre zone d'étude et énumérer quelques méthodes et matériels utilisé pour la détermination des différents paramètres.

Chapitre 4.

**Modélisation de la
consommation énergétique dans
le bassin biologique**

4.1 Introduction :

Les stations d'épuration sont des systèmes dynamiques, soumis à d'importantes variations temporelles. Rappelons que cette étude a pour objectif la construction d'un modèle de prédiction du taux d'oxygène dans le bassin biologique des eaux usées de la STEP de Guelma, avant le rejet dans le milieu naturel. Ce chapitre regroupe en un premier lieu les résultats des analyses effectuées lors du stage de fin d'études (du 06/03/2022 au 06/04/2022) dans le laboratoire d'analyses et de caractérisation des échantillons d'eau au niveau de la STEP de Guelma. La modélisation de leur fonctionnement, qui consiste à représenter mathématiquement l'évolution dans le temps des phénomènes biologiques, physiques et chimiques qui se déroulent dans les ouvrages. L'optimisation de l'aération des procédés de traitement des eaux usées est nécessaire afin de limiter la consommation énergétique des stations d'épuration tout en fiabilisant la qualité du traitement. Dans ce but, des modèles permettant de prédire les performances d'oxygénation des systèmes d'aération, installés majoritairement sur les stations d'épuration à boues activées, ont été développés à l'aide des outils d'analyse dimensionnelle ou de mécanique des fluides numérique. L'objectif est de prédire la quantité d'oxygène nécessaire dans le bassin biologique afin de proposer un calcul d'aération qui permet de consommer le moins d'énergie possible suivis de discussions et interprétations des résultats obtenus.

4.2 Analyses des résultats et discussions

La base de données provient de la station d'épuration des eaux usées de Guelma.

4.2.1 Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau et dépend de l'équilibre carbonique et de l'activité photosynthétique des écosystèmes.

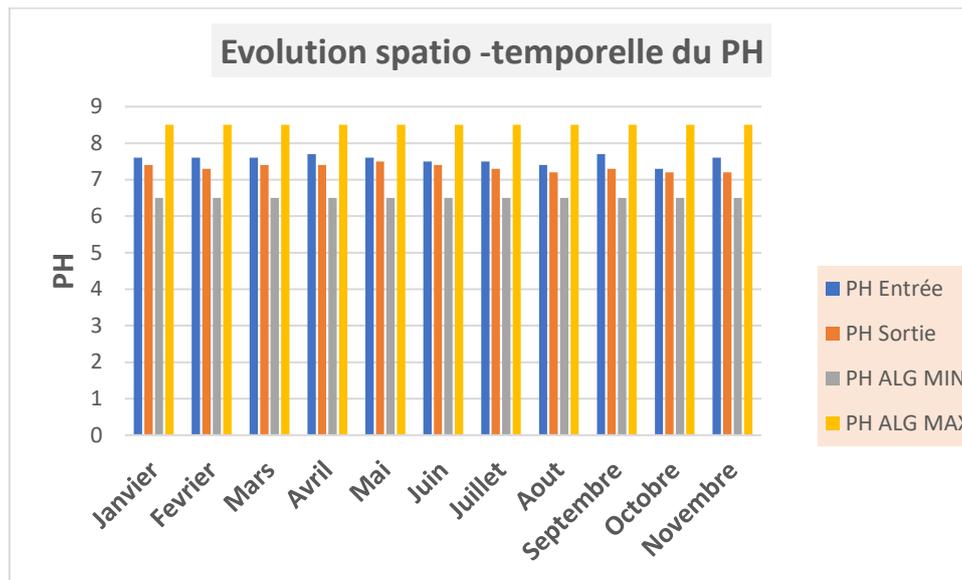


Figure 4-1 : Évolution spatio-temporelle du Ph de la STEP de Guelma.

La valeur d'entrée du ph varie de 7,3 à 7,7mg/ l et à la sortie on à une valeur de 7,2 à 7,5 mg/l et comme norme Algérienne la valeur est de 6,5 à 8,5 mg/l (Figure 4-1).

4.2.2 Température de l'eau (T°C)

En effet la température est un facteur écologique très important qui a une grande influence sur la propriété physicochimique des eaux usées, elle a tendance à augmenter avec les saisons. Un réchauffement ou bien un refroidissement peut perturber fortement le phénomène d'épuration de ces eaux usées, mais ce changement peut aussi être un facteur de croissance de la productivité microbienne.

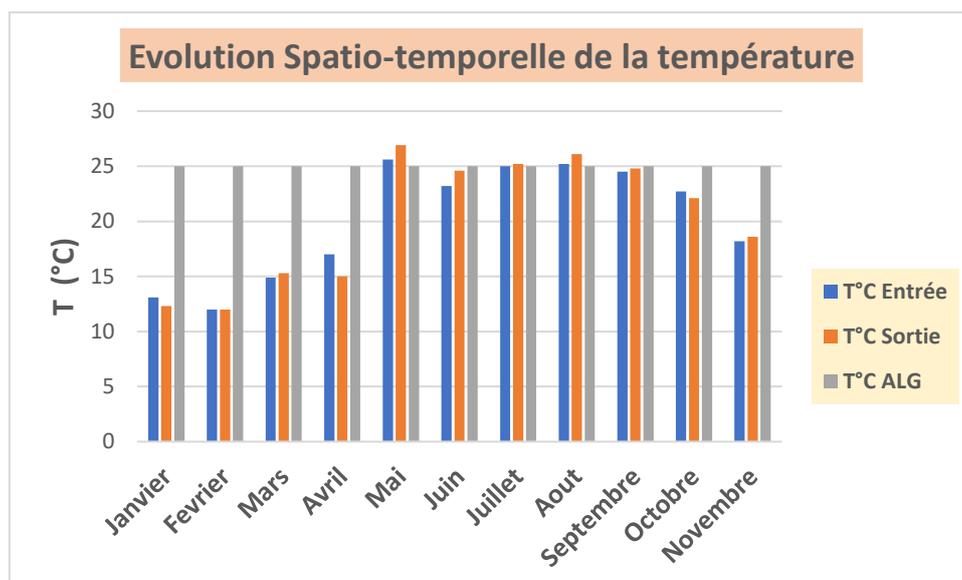


Figure 4-2 : Évolution spatio-temporelle de la température de la STEP de Guelma.

La température à une valeur d'entrée variant de 12 à 25,6°C et une valeur de 12 à 26,9°C à la sortie avec une norme Algérienne de 25°C (**Figure 4-2**).

4.2.3 La Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle représente la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (chlorures, sulfures).

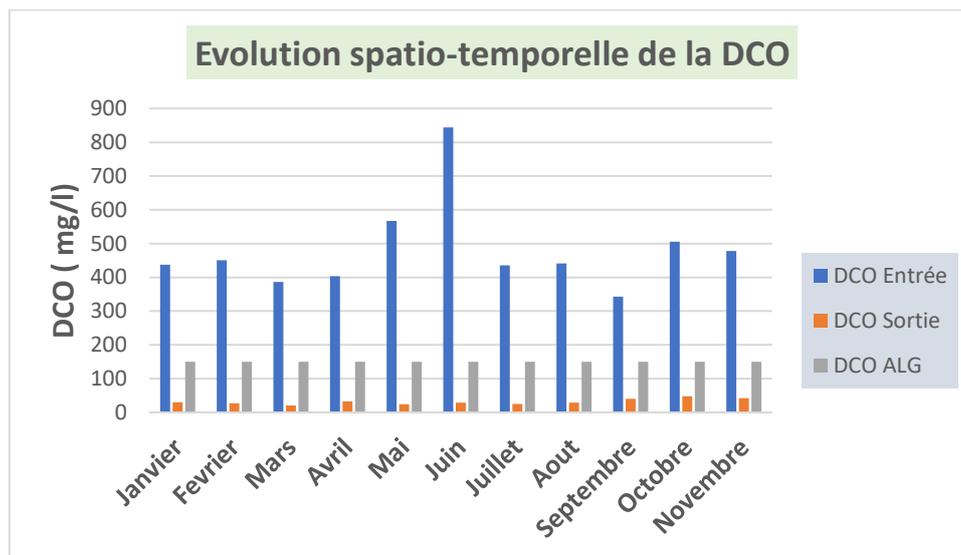


Figure 4-3 : Évolution spatio-temporelle de la DCO de la STEP de Guelma.

Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 343 mg/l et 844 mg/l à l'entrée et cela probablement dû à la surcharge des effluents par la matière organique et minérale (**Figure 4-3**).

4.2.4 La Demande biochimique en Oxygène (DBO₅)

La Demande biochimique en Oxygène DBO₅ est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C à l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

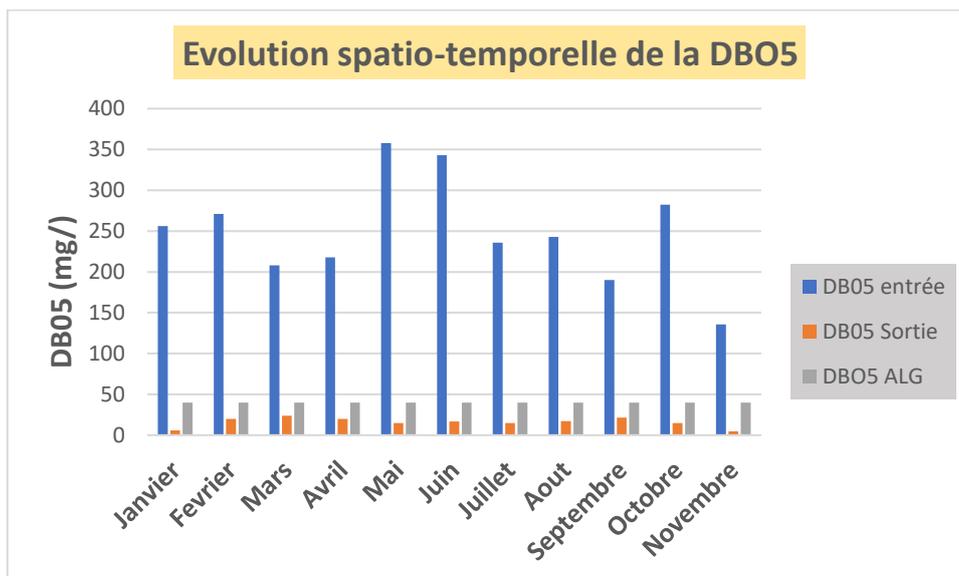


Figure 4-4 : Évolution spatio-temporelle de la DBO₅ de la STEP de Guelma.

La Figure 4-4 montre une augmentation de la DBO₅ des eaux. En effet les valeurs moyennes de DBO₅ varient entre 136mg/l et 358 mg/l à l'entrée, et 6 mg/l à 24 mg/l à la sortie cette augmentation est due à la charge de la matière organique et les substances nutritives dans les effluents.

4.2.5 Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la station, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc.

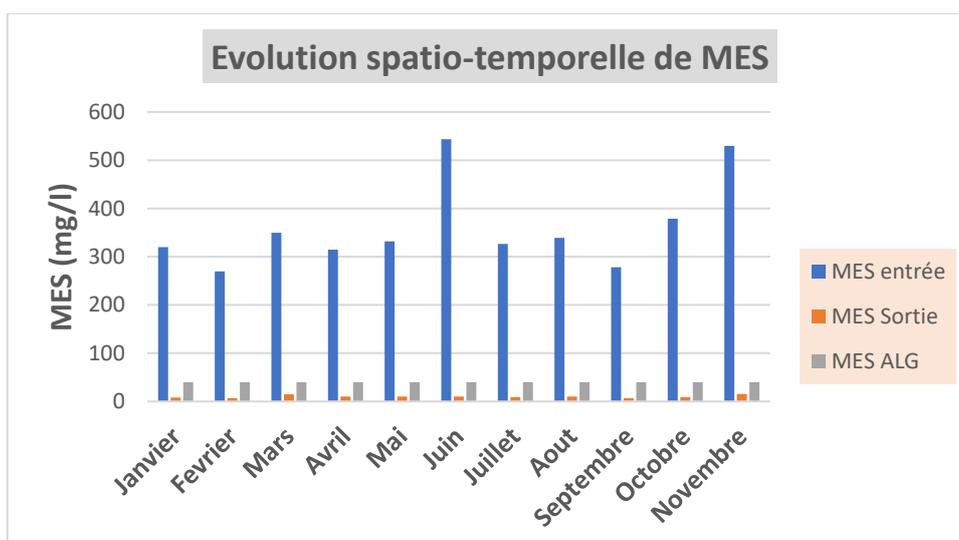


Figure 4-5 : Évolution spatio-temporelle de MES de la STEP de Guelma.

On observe que les valeurs de MES diminuent toujours de l'entrée à la sortie de la station avec une valeur maximale de 538 mg/l à l'entrée et 7mg/l à la sortie (Figure 4-5).

Par ailleurs, la comparaison des valeurs de MES dans la station d'épuration de la ville de Guelma par rapport aux normes algériennes du rejet naturel ; fixé à 40 mg/l place ces eaux dans de très bonne grille.

4.2.6 La conductivité électrique

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité.

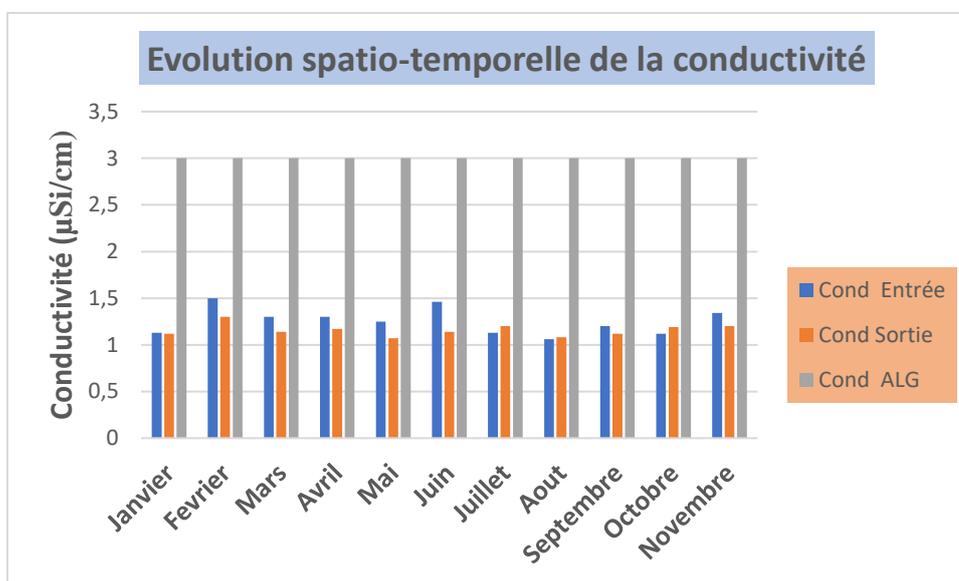


Figure 4-6 : Évolution spatio-temporelle de la conductivité électrique de la STEP de Guelma.

Les teneurs en conductivité enregistrées au niveau des eaux étudiées, sont comprises entre 1,03 µS et 1,5 µS à l'entrée, et entre 1,71 µS et 1,2 µS à la sortie qui sont inférieures à 3 µS (Figure 4-6).

4.2.7 Les Nitrites NO₂⁻

L'ion nitrite est la principale forme d'azote inorganique, trouvée dans les eaux. Il s'oxyde facilement en ion nitrate et se retrouve ainsi rarement en concentration importante dans les eaux. Les nitrites instables ne se maintiennent que lorsque le milieu, n'est pas suffisamment oxydé, leur présence indique un état critique de pollution organique.

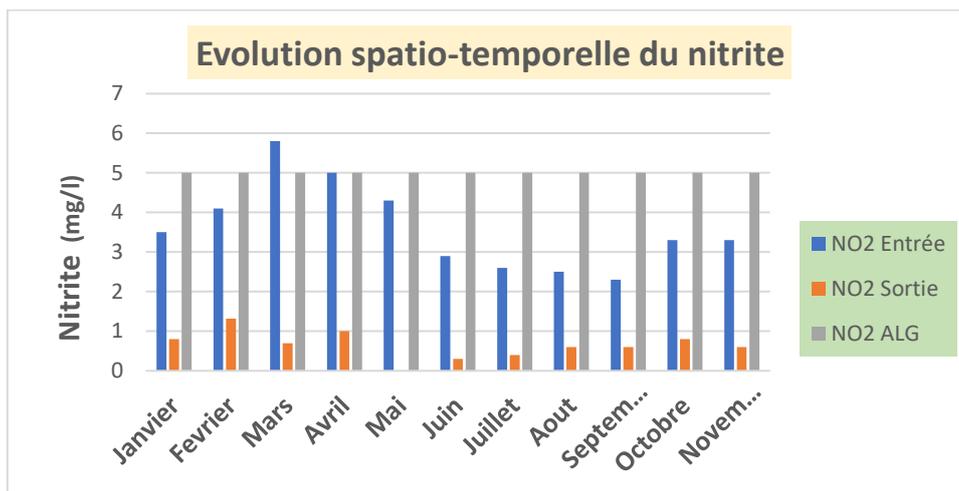


Figure 4-7 : Évolution spatio-temporelle des Nitrates de la STEP de Guelma.

Les concentrations des nitrites sont très faibles et elles varient entre 0 mg/L et 5.8 mg/l (Figure 4-7). Les faibles concentrations en nitrites rencontrées au niveau des eaux usées de l'effluent étudié, pourraient être expliquées par le fait que l'ion Nitrite (NO_2^-) est un composé intermédiaire, instable en présence de l'oxygène, dont la concentration est généralement très inférieure à celle des deux formes qui lui sont liées, les ions nitrates et ammonium.

4.2.8 Nitrates NO_3^-

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau.

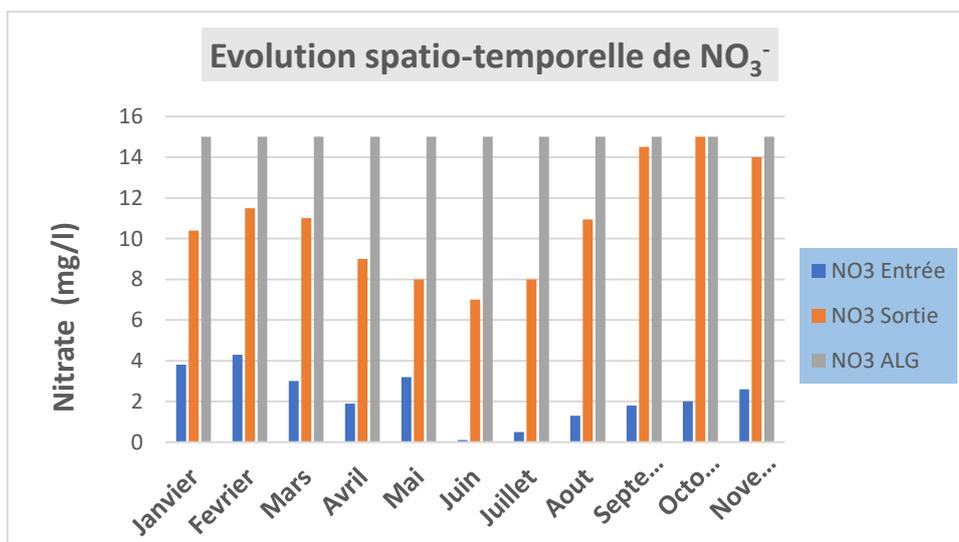


Figure 4-8 : Évolution des Nitrates de la STEP de Guelma.

Les concentrations des nitrates oscillent entre 0.1 mg/L et 14.5 mg/L à l'entrée et à la sortie de la station et contrairement à l'entrée (Figure 4-8).

4.2.9 Ammonium (NH_4^+)

L'azote ammoniacal constitue un des maillons du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieur à 0,1mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution, et provient de la dégradation des protéines animales, des effluents domestiques (urée) et des ruissellements urbains.

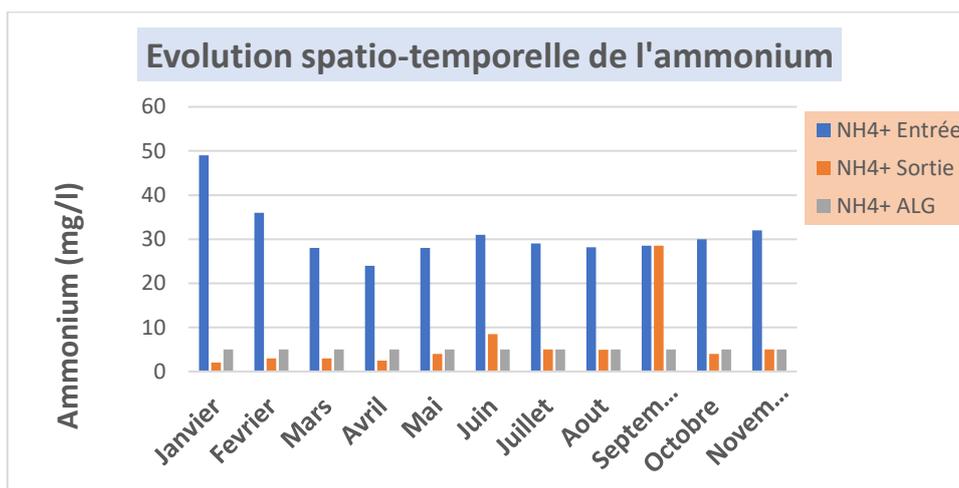


Figure 4-9 : Évolution spatio-temporelle de l'ammonium de la STEP de Guelma.

L'analyse du profil de l'ammonium montre que les teneurs varient entre 28.2mg/l et 49mg/l à l'entrée, traduisant le processus de dégradation incomplète de la matière organique. Les valeurs d'ammonium trouvées à la sortie de la station sont nettement très inférieures à celles de l'entrée qui oscillent entre 2 mg/L et 8.5 mg/L. Normes Algériennes (5 mg/l) (**Figure 4-9**).

4.2.10 Ortho phosphates (OPO_4)

Le phosphore, l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. La grande partie de ce nutriment organique provient également des déchets du métabolisme des protéines et de son élimination sous forme de phosphates dans les urines par l'homme. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux usées peuvent entraîner leur eutrophisation.

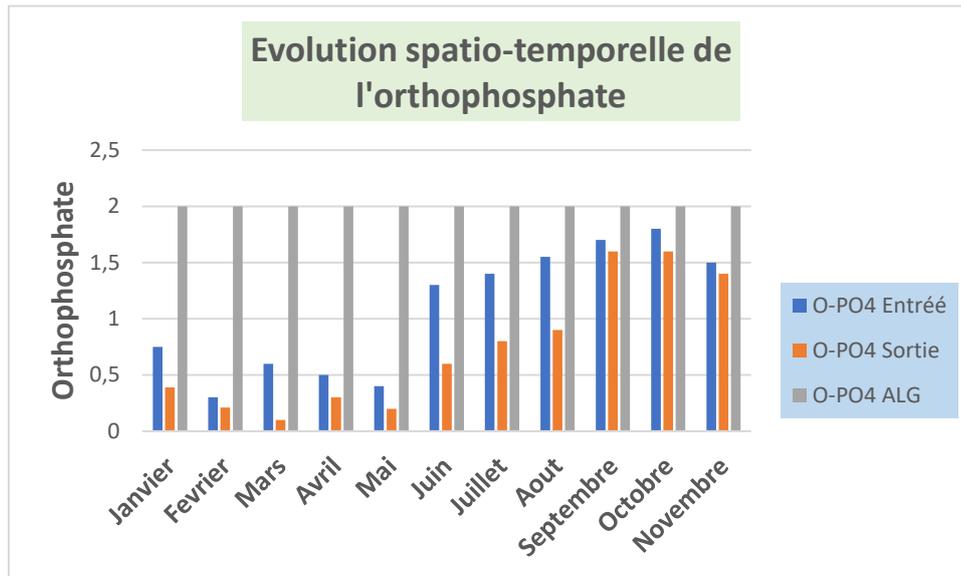


Figure 4-10 : Évolution des ortho phosphates de la STEP de Guelma.

L'analyse des résultats (figure 4.10) montre que la concentration en ortho phosphate dans les eaux usées de la station de Guelma varie entre 0.3 mg/l et 1.8 mg/l à l'entrée et entre 0.1 mg/l et 1.6 mg/l à la sortie, ces concentrations sont inférieures à la norme algérienne fixée à 2 mg/l (Figure 4-10).

4.3 Calcul de la quantité d'oxygène nécessaire dans le bassin d'aération

L'estimation théorique de la consommation annuelle d'énergie électrique d'un système d'aération nécessite d'effectuer les calculs des besoins en oxygène. Les principales équations employées pour effectuer ces calculs sont présentées ci-après

4.3.1 Les besoins réels d'oxygène

Les besoins réels d'oxygène correspondent aux besoins en oxygène du procédé biologique aux conditions réelles d'exploitation. Ces besoins sont liés avec d'autres paramètres

4.3.2 La charge Polluante

La pollution des eaux usées domestiques est obligatoirement définie par leur demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO₅). Elle correspond à la DBO₅ à l'entrée du bassin d'aération noté : Le

$$Le\left(\frac{Kg}{j}\right) = DBO5 * Débit / 1000 \dots\dots\dots (6)$$

Le : La charge polluante à l'entrée du bassin d'aération (kg/j)

4.3.3 Charge massique

La charge massique est le rapport de la charge volumique par la concentration en boue. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$C_m = DBO_5 / MVS \dots\dots\dots (7)$$

4.4.4 Quantité d'oxygène nécessaire

La quantité théorique d'oxygène est la somme de celle nécessaire à la synthèse et celle nécessaire à la respiration endogène. Les **Tableaux 4-1 et 4-2** montrent les valeurs de la quantité d'oxygène calculée à l'entrée et à la sortie du bassin biologique.

Elle est donnée par la relation :

$$Q_{O_2} (Kg/j) = (a' \cdot Le) / 24 + (b' \cdot Sa) / 16 \dots\dots\dots (8)$$

a' et b' sont des coefficients à déterminer

$$a' = 0,5 \cdot (cm^{-0,12})$$

$$b' = 0,13 \cdot (cm^{-0,16})$$

Sa : le rapport de la DBO₅ sur la concentration massique C_m (kg)

$$Sa (kg) = DBO_5 / C_m \dots\dots\dots (9)$$

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

Tableau 4-1 : Estimation de la quantité d'oxygène à l'entrée du bassin biologique

Mois	DBO ₅ (mg/l)	Débit (m ³ /j)	Le (kg/j)	X _a	C _m (kg/DBO ₅)	a'	b'	Q _{O2} (kg/h)	Q _{O2} (mg/l)
Janvier	256	9024	2310,14	5775,36	0,40	0,56	0,15	128,50	14,24
Février	271	9024	2445,50	6113,76	0,40	0,56	0,15	136,03	15,07
Mars	208	9024	1876,99	4692,48	0,40	0,56	0,15	104,41	11,57
Avril	218	9024	1967,23	4918,08	0,40	0,56	0,15	109,43	12,13
Mai	358	9024	3230,59	8076,48	0,40	0,56	0,15	179,70	19,91
Juin	343	9024	3095,23	7738,08	0,40	0,56	0,15	172,17	19,08
Juillet	236	9024	2129,66	5324,16	0,40	0,56	0,15	118,46	13,13
Aout	242,75	9024	2190,58	5476,44	0,40	0,56	0,15	121,85	13,50
Septembre	190	9024	1714,56	4286,40	0,40	0,56	0,15	95,37	10,57
Octobre	282,44	9024	2548,74	6371,85	0,40	0,56	0,15	141,77	15,71
Novembre	135,75	9024	1225,01	3062,52	0,40	0,56	0,15	68,14	7,55

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

Tableau 4-2 : Estimation de la quantité d'oxygène à la sortie du bassin biologique

Mois	DBO ₅ (mg/l)	Débit (m ³ /j)	Le (kg/j)	Xa	Cm (kg/DBO ₅)	a'	b'	Q _{O2} (kg/h)	Q _{O2} (mg/l)
Janvier	6	10251	61,51	153,77	0,40	0,56	0,15	3,42	0,33
Février	20	10251	205,02	512,55	0,40	0,56	0,15	11,40	1,11
Mars	24	10251	246,02	615,06	0,40	0,56	0,15	13,69	1,34
Avril	20	10251	205,02	512,55	0,40	0,56	0,15	11,40	1,11
Mai	15	10251	153,77	384,41	0,40	0,56	0,15	8,55	0,83
Juin	17	10251	174,27	435,67	0,40	0,56	0,15	9,69	0,95
Juillet	15	10251	153,77	384,41	0,40	0,56	0,15	8,55	0,83
Aout	17,4	10251	178,37	445,92	0,40	0,56	0,15	9,92	0,97
Septembre	21,5	10251	220,40	550,99	0,40	0,56	0,15	12,26	1,20
Octobre	15	10251	153,77	384,41	0,40	0,56	0,15	8,55	0,83
Novembre	4,7	10251	48,18	120,45	0,40	0,56	0,15	2,68	0,26

4.4 Modélisation de la quantité d'oxygène

4.4.1 Schéma du modèle

Le modèle consiste en une succession de couches constituées d'unités neuronales, lesquelles possèdent une fonction d'activation (sigmoïde). La couche d'entrée collecte les variables d'entrée tandis que la couche cachée fait des séries de tests et la couche de sortie produit les résultats.

Dans la construction du modèle, nous considérerons une structure très particulière des réseaux de neurones, le perceptron multicouche (MPL). Nous disposons pour cela de (7) variables indépendantes : DBO_5 , DCO , MES , NO_2^- , NO_3^- , OPO_4^- et NH_4^+ et une variable dépendante de sortie (O_2) (Figure 4-11 et 4-12).

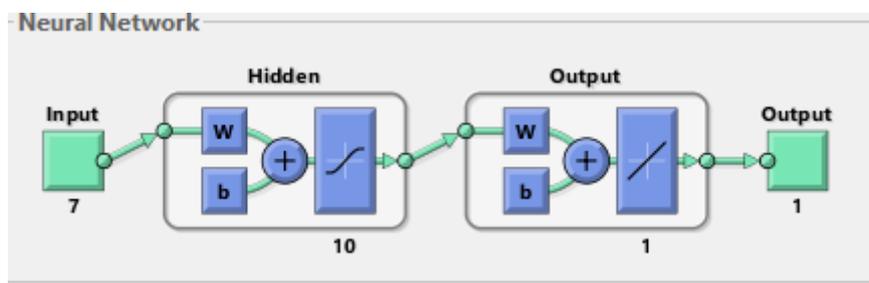


Figure. 4-11 : Schéma de l'architecture du modèle

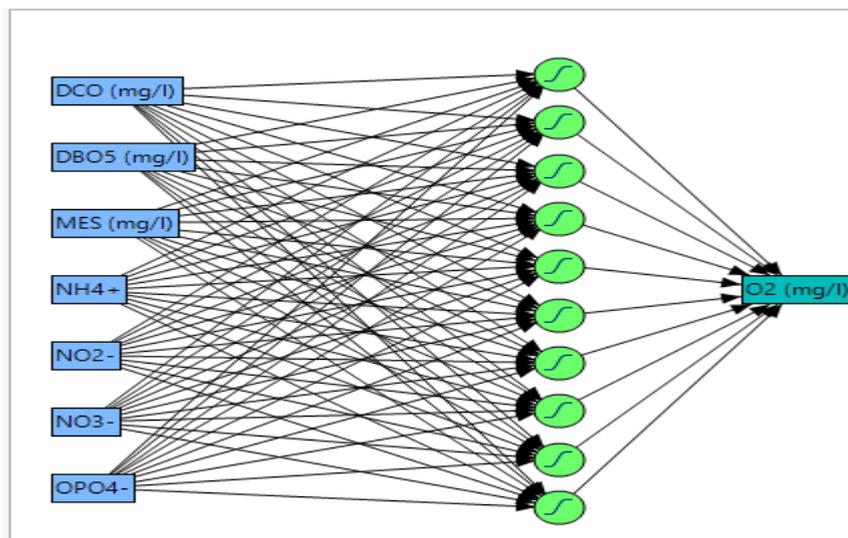


Figure 4-12 : Présentation du modèle avec les paramètres d'entrées.

Dans l'étude actuelle, une analyse des données a été effectuée en utilisant les statistiques ANN. Le Tableau 4-3 montre le coefficient de détermination (R^2) pendant l'apprentissage, la

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

validation, le test et toutes les valeurs prédites (sortie) par rapport aux valeurs réelles (cible), c'est-à-dire (99,05%, 99,99% et 99,99%) correspondant à toutes les valeurs prédites par la DBO₅ respectivement. On a observé une bonne corrélation entre les valeurs R² mesurées de la réponse expérimentale et la réponse ANN prédite ; par conséquent, les résultats du modèle ANN développé sur la base des données expérimentales ont parfaitement prédit les réponses testées pour la DBO₅ en fonction des neurones cachées parmi les différents modèles comme le montre le **Tableau 4-4** et l'équation suivante :

Tableau.4-3 : Le coefficient de détermination et l'erreur quadratique moyenne pendant l'apprentissage, validation et test.

	Échantillons	MSE	R²
Apprentissage	77	1.90070e-3	99.05
Validation	2	5.41437e-2	99.99
Test	2	2.31407e-1	99.99

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

Tableau 4-4 : Valeurs prédites de O₂

Experiment number	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	MES (mg/l)	O ₂ (mg/l)	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	OPO ⁴⁻	H _{1_1}	H _{1_2}	H _{1_3}	H _{1_4}	H _{1_5}	H _{1_6}	H _{1_7}	H _{1_8}	H _{1_9}	H _{1_10}	O ₂ (mg/l) Prévu
1	30	6	8	0.33	49,00	3,50	3,80	0,75	0,99	-0,91	-0,71	0,13	-0,90	-0,65	0,90	-0,80	-0,72	0,16	0,32
2	27	20	7	1.11	36,00	4,10	4,30	0,30	0,77	-0,07	0,94	0,77	-0,75	-0,20	0,69	0,61	-0,96	-0,74	1,10
3	21	24	15	1.34	28,00	5,80	3,00	0,60	-0,49	0,88	1,00	0,23	0,53	1,00	-0,30	0,99	0,60	0,03	1,27
4	33	20	10,5	1.11	24,00	5,00	1,90	0,50	-0,95	0,99	0,99	-0,76	0,89	0,53	0,25	0,78	0,96	0,86	1,11
5	24	15	10	0.83	28,00	4,30	3,20	0,40	0,62	0,34	0,94	-0,40	-0,46	0,74	0,61	0,88	0,80	0,44	0,84
6	29	17	10	0.95	31,00	2,90	0,10	1,30	-0,33	-0,74	0,49	-0,72	0,47	-0,66	-0,18	-0,85	0,77	0,03	0,96
7	25	15	9	0.83	29,00	2,60	0,50	1,40	0,20	-0,93	-0,07	-0,76	-0,02	-0,36	-0,04	-0,61	0,75	-0,13	0,84
8	28,75	17,4	10	0.97	28,20	2,50	1,30	1,55	0,33	-0,89	-0,63	-0,59	0,85	-0,29	-0,09	-0,70	0,54	-0,30	1,00
9	40,6	21,5	7	1.20	28,50	2,30	1,80	1,70	-0,28	-0,88	-0,95	0,09	0,97	-0,92	-0,07	-0,97	-0,95	-0,80	1,20
10	48	15	9	0.83	30,00	3,30	2,00	1,80	0,43	-0,34	-0,75	-0,30	0,89	-0,79	0,58	-0,99	-0,68	0,64	0,83
11	42	4,7	15,5	0.26	32,00	3,30	2,60	1,50	0,98	-0,81	-0,96	-0,53	0,69	-0,85	0,77	-0,99	0,70	0,74	0,26

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

En raison de la valeur élevée de R^2 , 7-10-1 a été adoptée comme architecture appropriée pour modéliser l' O_2 . Sept nœuds d'entrée, 10 nœuds pour la couche cachée et 1 nœud pour la sortie a été considérée pour DBO_5 comme indiqué dans le **tableau 4-3** et l'architecture du modèle (**Figure 4-11 et 4-12**).

Pour évaluer l'adéquation du modèle, les valeurs expérimentales ("réelles") de la DBO_5 ont été comparées aux valeurs prédites du modèle ANN, comme le montre la **Figure 4-13**, représentée par la ligne d'ajustement parfaite $y=x$, les données prédites et expérimentales présentant une corrélation élevée. La majorité des points d'intersection sont clairement observés comme étant proches de la ligne médiane.

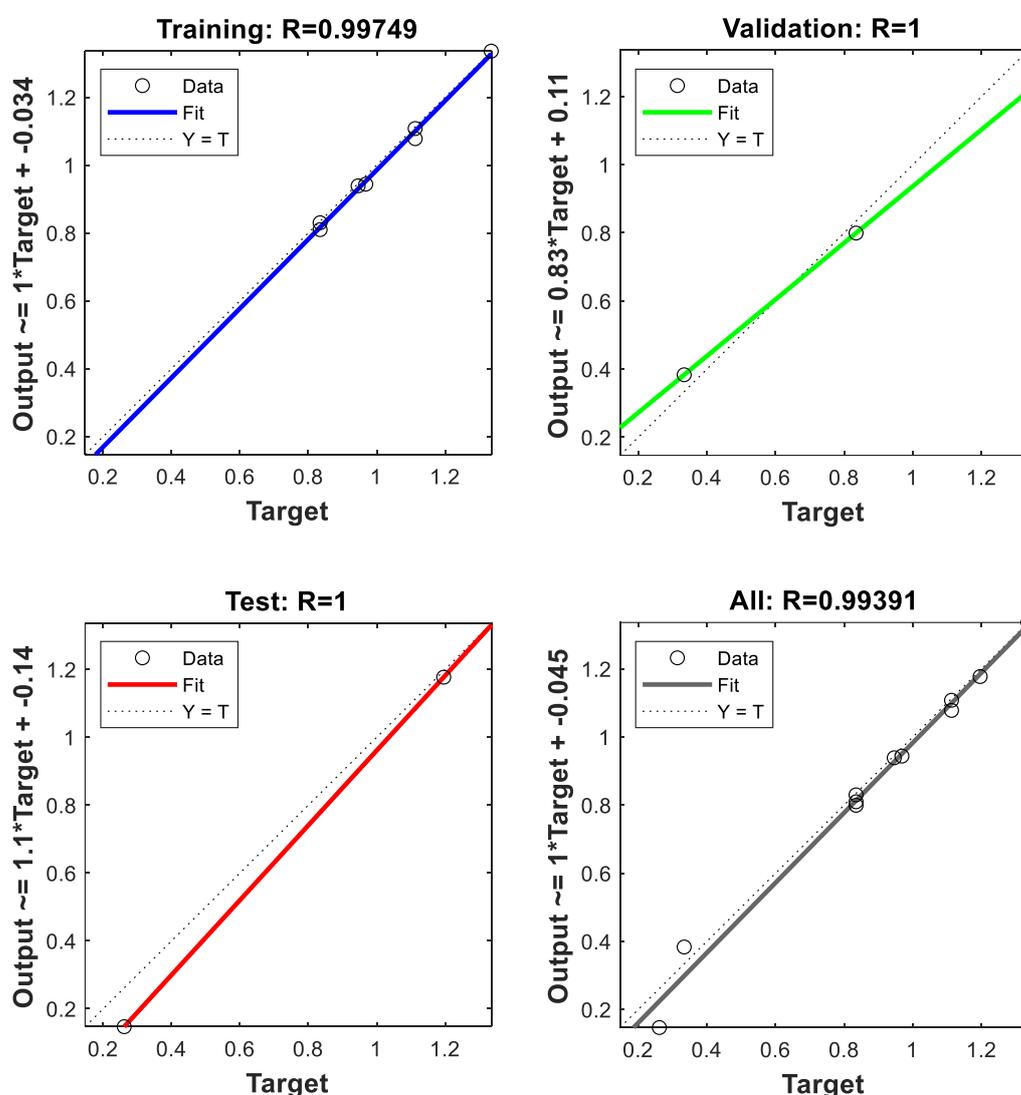


Figure. 4-13 : Valeurs actuelles en fonction des valeurs prédites de O_2

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

L'histogramme des erreurs distribuées sur un intervalle de 20 cases a été généré dans le réseau du modèle au moyen des erreurs dans la formation, la validation et le test, comme le montre la **Figure 4-14**, où l'on voit clairement que les erreurs sont situées autour de la ligne zéro. Le processus de formation et de validation ont été arrêtés à la 2ème itération (**Figure 4-15**).

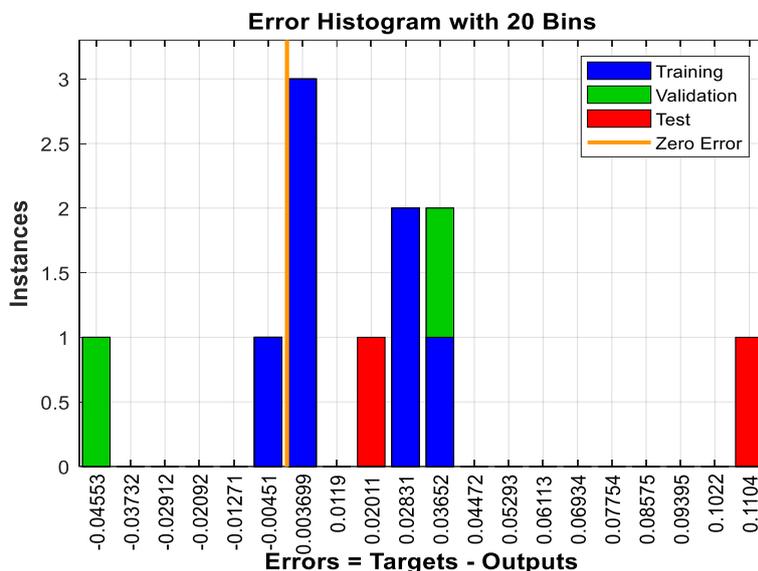


Figure. 4-14 : Histogramme des erreurs

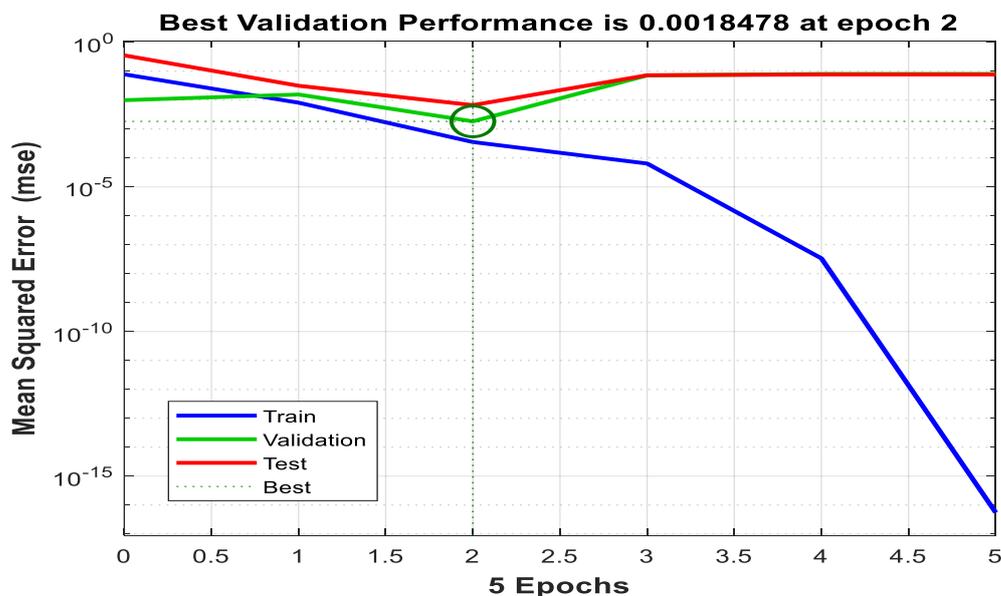


Figure. 4-15 : Apprentissage, validation et test du modèle.

Après qu'une validation optimale ait été enregistrée à $1.991E-8$ par le gradient à la 5ème itération. ANN a évalué le point d'arrêt comme étant idéal, au-delà de ce point le biais de validation a dépassé les tolérances acceptées (**Figure 4-16**). Ce qui conduit à un niveau de confiance élevé concernant le modèle de sortie.

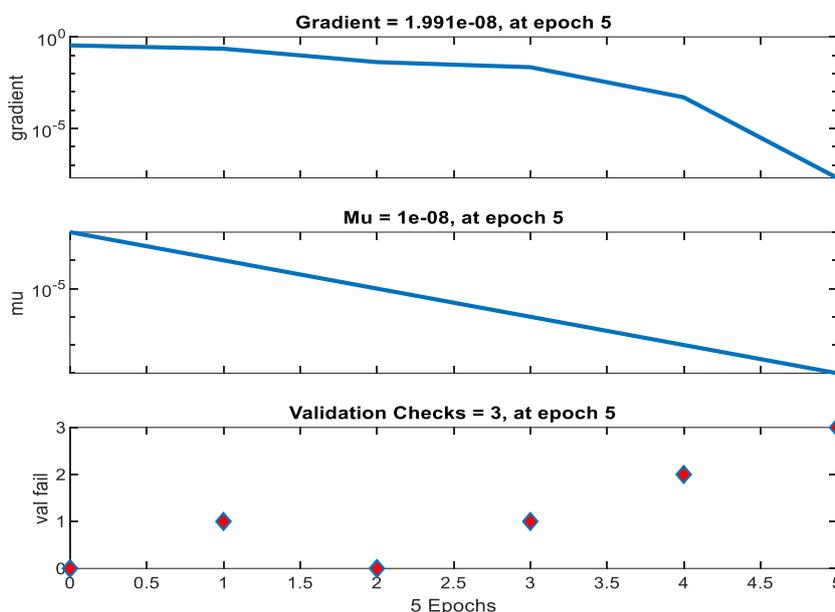


Figure. 4-16 : Validation du modèle

Les interactions combinées des effets entre les entrées et les variables de réponse peuvent également être examinées à l'aide d'autres illustrations graphiques telles que la **Figure 4-17** qui montre l'évolution de O_2 en 3D en fonction de MES, DCO et DBO5. Ces graphiques de surface ont été obtenus en faisant varier deux paramètres de la gamme d'essais expérimentaux dans le modèle. Il a été observé dans le (**Tableau 4-5**) ainsi que la (**Figure 4-18**) que La DBO₅ influe énormément sur la quantité d'oxygène consommée par les bactéries pour dégrader la matière organique présente dans l'eau comparativement à la DCO et au MES. Un effet interactif du niveau de la concentration de O_2 a été mis en évidence dans le graphique du modèle marginal et le profileur de prévision (**Figure 4-19 et 4-20**).

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

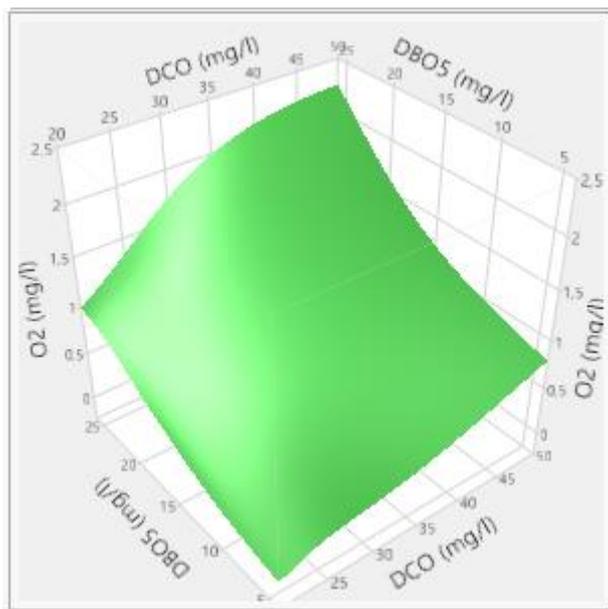


Figure. 4-17 : Contours en 3D de O₂ en fonction de la DBO₅ et la DCO.

Tableau.4-5 : L'importance des paramètres influençant la consommation d'oxygène

Colonne	Effet principal	Importance
DBO₅ (mg/l)	0.457	++++++
DCO (mg/l)	0.177	+++
NO₂⁻	0.023	++
NO₃⁻	0.05	+
NH₄	0.011	
OPO₄⁻	0.024	
MES (mg/l)	0.007	

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIEQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

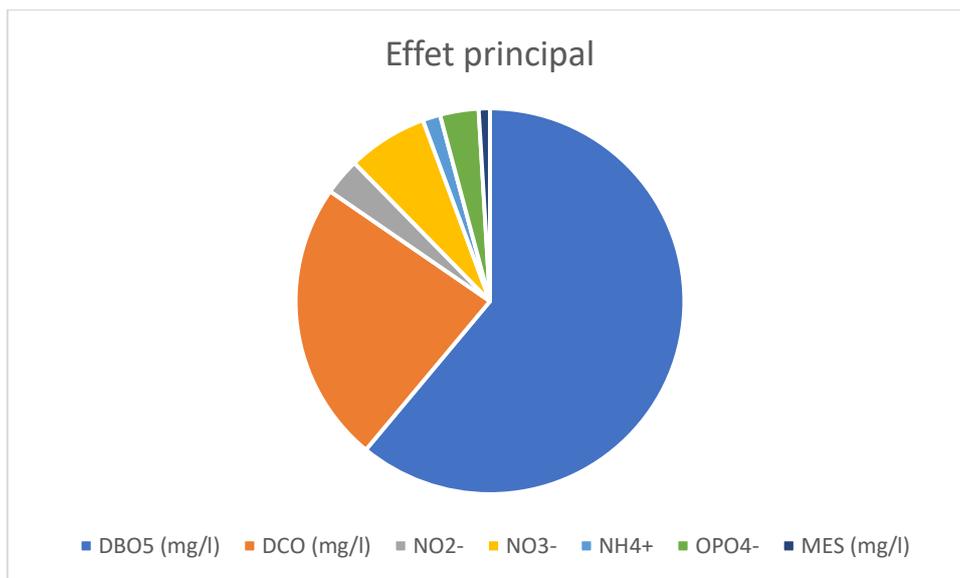


Figure. 4-18 : Paramètres influant sur la quantité d'O₂ consommée.

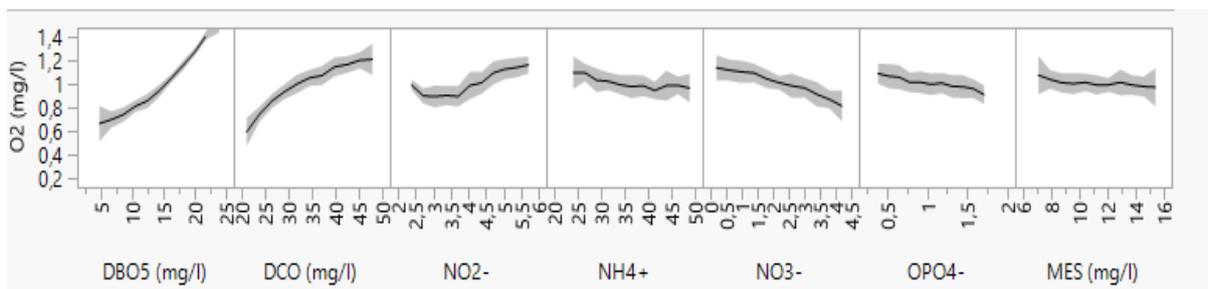


Figure .4-19 : Graphique du modèle marginal.

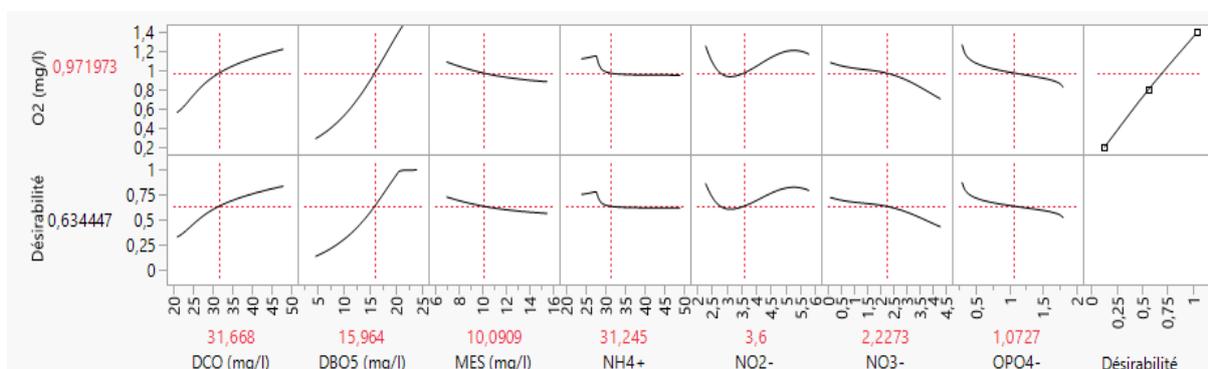


Figure. 4-20 : Profil de prévision de O₂.

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

Les valeurs prédites par le réseau ANN s'approchent du niveau de parité (**Figure 4-21**), elles s'adaptent bien aux valeurs déterminées expérimentalement. Par conséquent, une prédiction fiable de la quantité d'oxygène nécessaire dans le bassin biologique de la STEP de Guelma peut être effectuée par le modèle généré par l'approche ANN en fonction des neurones cachés ci-dessous (**Tableau.4-6**).

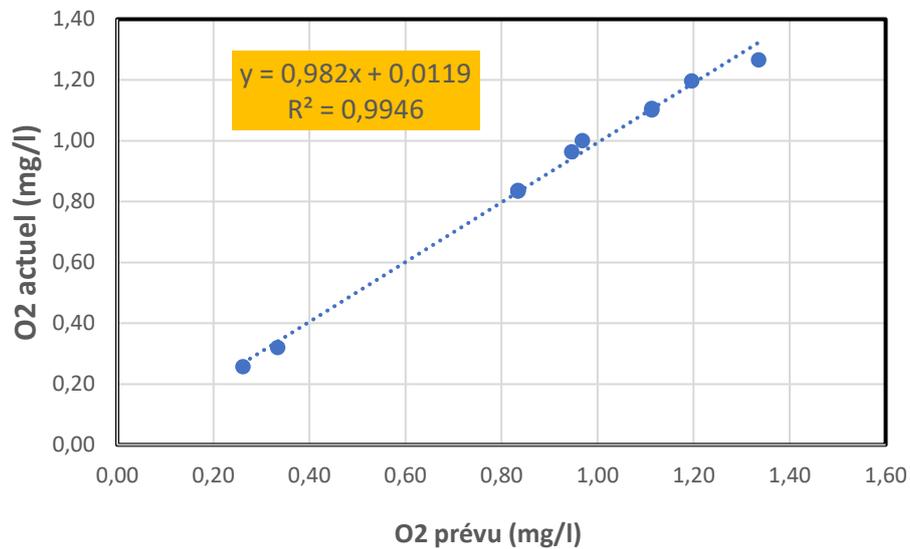


Figure. 4-21 : Les valeurs prédites en fonction des valeurs actuelles

MODELISATION DE LA CONSOMMATION ENERGIQUE DANS LE BASSIN BIOLOGIQUE

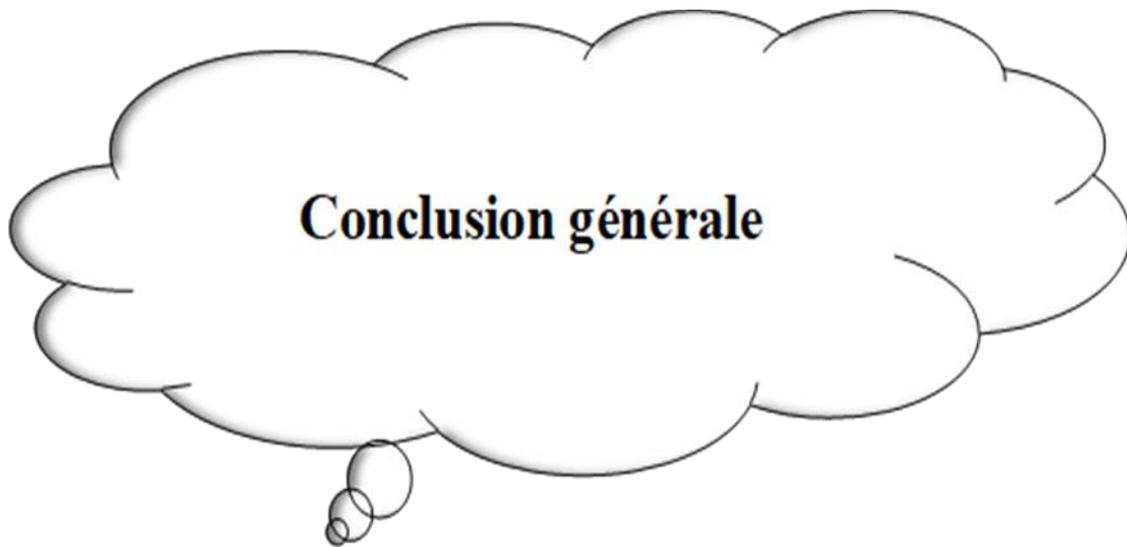
Tableau 4-6 : Modèle développé par l'ANN

$$O_2 = 0.2081 \times H_1 + 0.7143 \times H_2 + 0.1538 \times H_3 - 0.5157 \times H_4 + 0.1084 \times H_5 + 0.0354 \times H_6 - 0.2318 \times H_7 - 0.2877 \times H_8 - 0.2183 \times H_9 - 0.6409 \times H_{10} + 0.9852$$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_1 = \tanh(.5 \times (-0.8394 \times DCO - 3.0921 \times DBO5 + 1.0168 \times MES + 0.3480 \times NH4 - 0.7968 \times N02 + 6.3260 \times NO3 + 0.1430 \times OPO4 - 21.4258)) \\ H_2 = \tanh(.5 \times (1.5962 \times DCO + 1.1870 \times DBO5 - 0.5581 \times MES - 0.4482 \times NH4 + 1.7404 \times N02 - 2.1990 \times NO3 - 0.2610 \times OPO4 + 12.5466)) \\ H_3 = \tanh(.5 \times (0.0617 \times DCO + 4.2319 \times DBO5 - 0.3305 \times MES - 0.0146 \times NH4 + 2.4206 \times N02 - 2.8684 \times NO3 - 0.0478 \times OPO4 + 19.3038)) \\ H_4 = \tanh(.5 \times (0.0617 \times DCO + 2.1121 \times DBO5 - 0.0462 \times MES + 0.2346 \times NH4 - 0.1164 \times N02 + 3.5826 \times NO3 + 0.0274 \times OPO4 + 5.2663)) \\ H_5 = \tanh(.5 \times (2.2906 \times DCO + 3.7142 \times DBO5 + 1.6035 \times MES + 0.2346 \times NH4 - 0.7943 \times N02 + 0.1606 \times NO3 + 0.0672 \times OPO4 + 9.8153)) \\ H_6 = \tanh(.5 \times (-2.6599 \times DCO + 1.4902 \times DBO5 + 0.5029 \times MES - 0.2248 \times NH4 + 0.8172 \times N02 + 2.3246 \times NO3 + 0.4141 \times OPO4 - 0.9493)) \\ H_7 = \tanh(.5 \times (0.3437 \times DCO - 2.2610 \times DBO5 - 0.4672 \times MES - 0.0149 \times NH4 + 0.2678 \times N02 + 1.8321 \times NO3 - 0.0050 \times OPO4 - 5.4144)) \\ H_8 = \tanh(.5 \times (-2.8570 \times DCO + 1.4496 \times DBO5 - 0.1938 \times MES - 0.4448 \times NH4 + 0.2977 \times N02 + 1.8321 \times NO3 - 0.1749 \times OPO4 + 1.9285)) \\ H_9 = \tanh(.5 \times (-0.4559 \times DCO - 3.1215 \times DBO5 + 1.5592 \times MES - 0.4448 \times NH4 + 0.2977 \times N02 - 5.5260 \times NO3 - 0.3579 \times OPO4 - 15.7832)) \\ H_{10} = \tanh(.5 \times (0.6528 \times DCO - 2.8116 \times DBO5 - 0.0106 \times MES - 0.2456 \times NH4 + 1.0562 \times N02 - 1.9013 \times NO3 - 0.1111 \times OPO4 - 6.7530)) \end{array} \right.$$

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons estimé la quantité d'oxygène dans le bassin biologique et suite à cela, ces données ont été prédites par les réseaux de neurones artificiels.



Conclusion générale

Les travaux réalisés dans ce mémoire s'inscrivent dans le but principal d'une optimisation de la consommation énergétique des stations d'épuration à boues activées. L'épuration des eaux usées demande l'intervention de plusieurs disciplines chacune d'entre elles jouent un rôle déterminant soit pour le dimensionnement des STEP soit pour le bon fonctionnement de tous les ouvrages installés. Le choix de l'un des procédés est guidé par le type de pollution et la capacité du milieu récepteur des eaux épurées à éliminer pour assurer un rendement meilleur. La plus grande partie des eaux usées de la ville de Guelma est d'origine urbaine et la station d'épuration connaît souvent des problèmes de dysfonctionnement et des difficultés de traitement par la biomasse au niveau du bassin d'aération. Une partie de ce mémoire a été consacrée au développement d'un des domaines de l'intelligence artificielle à savoir les réseaux de neurones, après avoir décrit minutieusement leur principe de base, leurs utilités et leurs domaines d'applications. Les fonctions d'apprentissage de ANN ont fait objet de cette étude ainsi que la minimisation de l'erreur moyenne quadratique même en cas de faible quantité de données. La technique des réseaux de neurones présente l'avantage de pouvoir traiter un nombre illimité de paramètres caractéristiques du phénomène à la différence des méthodes statistiques. Pour ce faire dans un premier temps, les notions de base ont été présentées par la suite en vue d'obtenir le bon modèle fonctionnel avec une erreur quasi nulle et un coefficient de corrélation proche de 1, nous avons étudié le fonctionnement et la modélisation des réseaux de neurones. Ensuite une modélisation de la quantité d'oxygène consommée dans le bassin biologique a été effectuée par le modèle ANN. Les résultats des réponses obtenues par stimulation s'approchent de celles obtenues expérimentalement.

Références Bibliographiques

[1] : www.1h2o3.com/apprendre/parametres-des-eaux-usees/

[2] : I.N.R.S. Institut national de recherche et de sécurité. « Le traitement des eaux usées » rue Olivier-Noyer 75680 Paris cedex 14. Novembre 2004

[3] : Centre d'information de l'eau, France, C.I.EAU : « Presse. Ressource en eau/ eau potable / eau usée » 07. Mars. 2022

[4] : Soror Wahiba Dikhil. « Traitement des eaux usées urbaines par boues activées. » Mémoire de Master en chimie et microbiologie de l'eau 2012, université Mohamed El Bachir Elibrahimi de la ville de Bordj Bou Arreridj .08. Mars.2022

[5] : Kardache Loubna. « Valorisation énergétique des boues de la station d'épuration de Boumerdes ». Mémoire de Master en Énergétique et Environnement, université M'Hamed Bougera Boumerdes. 2015/2016

[6] : Djeddi Hamsa. « Utilisation des eaux d'une d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines » Mémoire de Magister en écologie végétale, université Mentouri de Constantine. 2006 / 2007

[7] : Régis Bourrie, Marc Satin, Béchir Selmi « Guide technique de l'assainissement ». 5eme édition, édition le Moniteur. Page 70

[8] : www.spi-vds.org/medias/publications/autorisation_deversement.pdf

[9] : Air liquide. 152 avenue Aristide Briand92220 Bagneux - France « traitement-des-eaux-quoi-sert-le-traitement-des-eaux-usees »

[10] : Zeghoud Mohamed Seifeddine. « Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra ». Mémoire de Master en Hydraulique, université D'el Oued. 2013/2014

[11] : Allô-prof. 2016. Science et technologie. Le traitement des eaux usées.

[12] : Senat.fr. La qualité de l'eau et assainissement en France (annexes)

[13] : Aquacorp.fr.traitement-biologique-aerobie-biomasse-fixee-biodisque

[14] : Gérard DREYFUS, « RÉSEAUX DE NEURONES », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 16/03/2022 : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/reseaux-de-neurones-formels>

- [15] : blog et updates/clevy.io « introduction aux réseaux de neurones, neurone biologique et neurone formel » Bastion 15 novembre
- [16] : Universalis.fr/encyclopédie. « Réseaux de neurones formels/quelques définitions »
- [17] F.Z. DAIKH. « Contribution des approches de l'intelligence artificielle pour la stabilisation robuste des système non linéaires » thèse de doctorat, université de Oran 2015.
- [18] : [Www.wikiversity.org](http://www.wikiversity.org)
- [19] : Mr Oulebsir Rafik. « Elaboration d'un Dashboard par data -mining pour le benchmarking des step » Thèse en Hydraulique, université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. 30/11/2020
- [20] : Article : Journaldunet.com « les-neurosciences ont inspiré l'intelligence artificielle le modèle neuronal et les concepts. [2/2] »
- [21] : Communauté MonCoachData. « Comprendre-les-réseaux-de-neurones. Réseau de neurones d'intelligence artificiel »
- [22] : <https://www.juripredis.com/fr/blog/id-19-demystifier-le-machine-learning-partie-2-les-reseaux-de-neurones-artificiels>
- [23] : Claude Touzet. « Les réseaux de neurones artificiels, introduction au connexionnisme » cours, exercices et travaux pratiques. Juillet 1992
- [24] : KHODJA FOUAD. « Conception d'un système intelligent à base de réseaux de neurones artificiels pour l'étude de la dynamique des streamers à la surface des polymères » MAGISTER en électrotechnique en Haute tension et Environnement, Université Amar Thelidji de Laghouat d'Oran, Octobre 2011
- [25] : Mr. Ali Djaidja. « Etude de la classification supervisée des données environnementales à l'aide de réseaux de neurones de fonctions à base radiales » Mémoire en Control industriel, université des sciences et technologies Mohamed Boudiaf - M'Sila
- [26] : [www. Wikipedia.fr](http://www.Wikipedia.fr)
- [27] : Mr BOUDHANE Nassim, Mlle AHMED AMMAR Ikram « Optimisation du traitement biologique dans une station d'épuration à boues activées : cas de la STEP de Batna » Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen 2015-2016
- [28] : cours Mme Bouragbi « TP épuration des eaux usées » 2021/2022