

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

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 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique et technique des eaux

Présenté par : DIANE ADAM

---

**Thème : La modélisation de la teneur en nitrates à l'aide  
des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la  
STEP de Guelma**

---

Sous la direction de : Mme BEB MESSAOUDA

---

**Juin 2014**

---

# Dédicaces

*Alhamdoulillah*

*Sans cesse mes remerciements au bon Dieu, qui dans l'accomplissement de ce modeste travail m'a permis d'écrire ces quelques lignes. Cette dédicace m'a été la partie la plus dure à faire dans ce mémoire car je savais que je ne pouvais jamais le terminer sans larmes :*

➤ *A vous mes adorables parents Anatou Toure et Bakary Nabé, dont je ne cesserai jamais de remercier de m'avoir donné la vie, je vous dédie entièrement ce modeste travail et vous témoigne ma profonde affection car malgré votre séparation j'ai pu vous rassembler dans mon cœur, vous êtes et avez été un excellent repère et soutien dans ma vie. Les mots me manquent pour vous décrire la joie que je ressens en écrivant ces quelques lignes.*

➤ *A ce futur grand homme qu'est mon unique et seul frère Ladjí, je tiens à te dire que je t'aime de tout cœur car t'es sans équivalent, malgré ton jeune âge tu te conduis comme un excellent adulte aussi, saches que si la terre et tout son contenu disparaîtront tu seras gravé quelques parts :  
« Dans mon petit cœur ».*

➤ *A ces quelques membres de ma famille :  
Malick Touré, Amadou Touré, Aminata Diallo, N'Gada Touré, Assou N'Diaye et Awa Touré je vous témoigne ici ma profonde affection et reconnaissance pour votre soutien sans fin.*

➤ *A tous ces quelques rares et précieux (es) ami(es) :  
Fatou seck cissé, Birama Touré, Djénéba Tandina, Hadizatou Touré,  
Madina, Séméga, Ada, Bakari Diakité et Bourama Guindo.*

➤ *A toutes mes connaissances algériennes (Madame Nacima, Souad,...).*

➤ *Et enfin à toute la communauté malienne et étrangère de Guelma.*

**Adam Nabé Diané**

# Remerciements

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier Allah (le clément, le sage) de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.*

*J'ai l'honneur et le plaisir de présenter ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à mon encadreur Mme BEB Messaouda, pour sa précieuse aide, ses orientations et le temps qu'elle m'a accordé pour mon encadrement : Merci du fond du cœur Madame car ce fut un immense plaisir de travailler avec vous.*

*Mes remerciements les plus sincères et les plus profonds sont adressés à Mr BOUDJEHEM Fayçal le chef de la station d'épuration de Guelma, de m'avoir ouvert les portes de la STEP et d'avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires pour la réalisation de ce travail.*

*Je remercie profondément tous les enseignants qui m'ont encouragé et soutenu pendant mon cursus : à feu Mr. Namakan Keita, Mr. mallé DR. Krouf, Madame Beb, DR. Mansouri, Madame Maizi, Madame Bouregbi, DR. Benyagla, DR. Ben Maleck, DR. Toumi, Mr. Meftah, DR. Belfarhi, Mr Maoui et tous le corps professoral de l'université de Guelma.*

*“On dit souvent qu'un parent donne la vie, mais un professeur éduque”*

*Je remercie aussi les membres de mon jury, pour avoir accepté de juger ce travail ainsi que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

## Résumé

Les stations de traitement des eaux usées ont pour objectif principal d'assurer un niveau d'épuration élevé. L'intérêt et l'originalité de ce présent travail résident dans l'élaboration d'une procédure de prédiction de la teneur en nitrates, à partir d'un jeu de données réelles (les paramètres physico-chimiques de l'eau usée), fortement non linéaires, décrivant l'état de l'eau brute à l'entrée et à la sortie de la STEP de Guelma basée sur les réseaux de neurones.

Nous avons ainsi regrouper les paramètres physico-chimiques de l'eau brute et traitée pour construire un premier modèle de réseau de neurones simple puis à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP), nous avons construit un second modèle combiné (RN+ACP).

Les résultats obtenus ont montré le meilleur modèle de prédiction de la teneur en nitrates est le MPL 3-4-1 du modèle neuronal combiné (RN+ACP), car il arrive à prévoir durant l'année 10 sur 12 mois avec de très bonnes corrélations entre les valeurs prévues et observées.

## Abstract

The treatment stations wastewaters have principal to ensure a higher level of purification objective. The interest and originality of this work resides in the development of a procedure for the prediction of nitrate, from a real data set (physico-chemical parameters of the waste water), highly nonlinear, describing the state of the untreated water to entry and the exit of the treatment station of Guelma based on neural networks. We thus combine the physico-chemical parameters of the raw and treated water to build a first network model single neurons and using a principal components analysis (PCA), we constructed a second combined model (ACP + RN). The results showed the best model for predicting nitrate is MPL 3-4-1 combined neural model (RN + ACP) because it happens to predict during the year 10 over 12 months with very good correlations between predicted and observed values.

## ملخص

هدف من محطات معالجة الصرف الصحي هو ضمان مستوى عال من العلاج. أهمية وأصالة هذا العمل الحالية الموجودة في وضع إجراء للتنبؤ بالنترات، من مجموعة من البيانات الفعلية (المعلومات الفيزيائية-الكيميائية للمياه المستعملة)، غير الخطية للغاية، واصفا حالة المياه الغير معالجة إلى مدخل ومخرج محطة معالجة مياه الصرف (قائمة) يعتمد على الشبكات العصبية. وبالتالي ندمج بين المعلومات الفيزيائية والكيميائية للمياه الخام والمعالجة لبناء أول نموذج شبكة الخلايا العصبية واحد. وبعد ذلك استخدام تحليل مكونات رئيسية (ACP)، قمنا ببناء نموذج المجمع ثنائية (ACP + RN). وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أفضل نموذج للتنبؤ بالنترات هي MPL 3-4-1 نموذج العصبية مجتمعة (ACP + RN)، لأنه يحدث من المتوقع خلال العام 10 على مدى 12 شهرا مع الارتباطات جيدة جدا بين القيم المتوقعة والمرصودة.

## La liste des tableaux

<b>Tableau 01</b> : Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel.....	05
<b>Tableau 02</b> : les fonctions d'activation.....	06
<b>Tableau 03</b> : les paramètres de rejet.....	19
<b>Tableau 04</b> : les matériels du laboratoire d'analyse de la STEP Guelma.....	34
<b>Tableau 05</b> : les résultats des analyses .....	39
<b>Tableau 06</b> : Matrice de Corrélation intermédiaire.....	49
<b>Tableau 07</b> : Corrélation entre les variables et les facteurs.....	50
<b>Tableau 08</b> : Les modèles de prédiction du taux des nitrates des RN sans ACP.....	52
<b>Tableau 09</b> : Modèles de prédiction du taux des nitrates (RN+ACP) données STEP 2012.....	54
<b>Tableau 10</b> : La courbe d'étalonnage.....	68
<b>Tableau11</b> :Coefficients de corrélation du modèle RN sans ACP. ....	70
<b>Tableau 12</b> : Modèle de prédiction du taux des nitrates MPL 9-9-1 .....	70
<b>Tableau 13</b> : Coefficients de corrélation (RN+ACP) données STEP 2012.....	71
<b>Tableau 14</b> : Modèle de prédiction combiné RN + ACP du $\text{NO}_3^-$ MPL 3-4-1.....	71
<b>Tableau 15</b> : Liste des analyses et fréquences de la STEP de Guelma.....	72

## Liste des figures

Figure 1 : Un neurone biologique et ses principaux composants.....	04
Figure 2 : le neurone formel.....	04
Figure 3 : Le réseau de neurones.....	07
Figure 4 : Le réseau statique à deux couches.....	08
Figure 5 : Le réseau statique à trois couches.....	09
Figure 6 : Le réseau récurrent ou dynamique.....	09
Figure 7 : le perceptron simple .....	11
Figure 8 : le perceptron multicouche (MPL).....	12
Figure 9: Exemple de dégrillage.....	20
Figure 10 : Bassin de dessablage-déshuilage-dégraissage .....	20
Figure 11 : Bassin décanteur.....	21
Figure 12 : bassin d'aération .....	22
Figure 13: Exemple de bassin de désinfection. ....	23
Figure 14 : Cycle de l'azote. ....	24
Figure 15 : Différentes formes de l'azote. ....	25
Figure 16: Principe du traitement biologique.....	26
Figure 17 : Le lagunage naturel.....	27
Figure 18: Le fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées. ....	28
Figure 19 : Bassin à lit bactérien. ....	29
Figure 20: Le fonctionnement d'une station à biofiltres.....	30
Figure 21: Le fonctionnement d'une station à biodisques.....	30
Figure 22 : l'image de la STEP de Guelma.....	32
Figure 23 : Spectrophotomètre. ....	36

Figure 24 : Evolution spatio-temporelle de la température de la STEP de Guelma. ....	40
Figure 25 : Evolution spatio-temporelle du Ph de la STEP de Guelma. ....	40
Figure 26 : Evolution spatio-temporelle de la CE de la STEP de Guelma.....	41
Figure 27 : Evolution spatio-temporelle de la DBO <sub>5</sub> de la STEP de Guelma. ....	42
Figure 28 : Evolution spatio-temporelle de la DCO de la STEP de Guelma. ....	43
Figure 29: Evolution spatio-temporelle des MES de la STEP de Guelma. ....	44
Figure 30 : Evolution spatio-temporelle de l'ammonium de la STEP de Guelma. ....	45
Figure 31: Evolution spatio-temporelle des Nitrites de la STEP de Guelma. ....	45
Figure 32 : Evolution des Nitrates de la STEP de Guelma. ....	46
Figure 33: Evolution des orthophosphates de la STEP de Guelma. ....	47
Figure 34: Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2. ....	50
Figure 35 : Modèles du taux des nitrates des RN sans ACP.....	53
Figure 36 : Le modèle du taux des nitrates MPL 9-9-1. ....	54
Figure 37 : les modèles (RN+ACP) données STEP 2012. ....	55
Figure 38 : Le modèle du taux des nitrates MPL 3-4-1. ....	56
Figure 39 : Etuve à 105°C.....	61
Figure 40: Conductimetre ...	62
Figure 41 : PH-mètre à électrodes.....	63
Figure 42 : Installation pour mesurer la DBO <sub>5</sub> .....	65
Figure 43 : Réacteur DCO.....	67

## Liste des schémas

<b>Schéma 1</b> : la méthode de calcul de la fonction de sortie.....	05
<b>Schéma 2</b> : Présentation du modèle avec les paramètres d'entrées.....	48
<b>Schéma 3</b> : Présentation du modèle avec les paramètres d'entrées (RN+ACP).....	51



## La liste des abréviations

**ACP** : analyses en composantes principales

**Cell body** : corps cellulaire

**CE** : conductivité électrique

**CO<sub>2</sub>**: dioxyde de carbone (gaz carbonique)

**DBO<sub>5</sub>** : La demande biologique en oxygène en 5 jours

**DCO** : La demande chimique en oxygène

**EB** : eau brute

**ET** : eau traitée

**H<sub>2</sub>O**: oxyde d'hydrogène (eau)

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>** : acide sulfurique

**MES** : matières en suspension

**MPL** : multiple layer perceptron ou perceptron multicouche

**MVS** : matières volatiles sèches

**NaOH**: hydroxyde de sodium

**NF** : norme française

**NH<sub>4</sub><sup>+</sup>** : ion ammonium

**NK**: azotes KJELDAHI

**Norme ALG** : norme algérienne

**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>** : Ions nitrites

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**: Ions nitrates

**NO<sub>3</sub>-N**: Azote global

**OPO<sub>4</sub><sup>-</sup>**: les ions orthophosphates

**OUTPUT** : la sortie ou la valeur prédite

**PH** : potentiel hydrogène

**RBF** : réseau de neurones à fonction de base radiale

**RN** : réseau de neurones

**RN+ACP** : réseau de neurones avec analyses en composantes principales

**SR1**: station de relevage 1

**SR2**: station de relevage 2

**STEP** : la station d'épuration

**Target** : la cible

**UV**: ultra violet

**[C]** : concentration.

## Les unités

**dS /m**: décimètresiemens par mètre

**m<sup>3</sup>/h**: mètre cube par heure

**m<sup>3</sup>/j** : mètre cube par jour

**mg /l**: milligramme par litre

**m/s**: mètre par seconde

**mSi** :milliSiemens

**µm**:micro-Siemens

**nm**: Nanomètre

### Introduction générale

L'urbanisation actuelle se traduit par une forte concentration d'êtres vivants avec une implantation d'entreprises agricoles et industrielles. De nombreuses substances sont alors déversées dans les eaux utilisées qui deviennent des eaux usées nécessitant une épuration car l'eau n'est pas une ressource inépuisable. Ainsi pour séparer et dégrader ces polluants des eaux usées, les eaux doivent passer par différents procédés de traitement dans les unités d'épuration, ces derniers peuvent avoir des fonctionnements différents d'une expérience à l'autre, pour les mêmes conditions en raison de la complexité des phénomènes biologiques, physiques et chimiques mis en jeu qui ne peut être mesurée, modélisée et interprétée que d'une façon partielle.

Il devient alors, très difficile de modéliser les relations qui existent entre les entrées et les sorties des procédés ; l'utilisation de techniques issues du domaine de l'intelligence artificielle telles que les réseaux de neurones apparaît comme étant la principale alternative pour aborder ces problèmes.

Cependant partant d'un souhait initial de mieux comprendre le fonctionnement du cerveau, les réseaux de neurones artificiels sont une classe de modèles ayant eu un impact important dans le domaine de l'analyse et du traitement des données. Ils ont fait l'objet d'un intérêt soutenu pour la première fois en 1943 quand, Warren McCulloch et Walter Pitts (MP), ont montré que des simples neurones, à partir des neurones biologiques, peuvent effectuer des tâches logiques et arithmétiques complexes. [1]

Le physiologiste américain Donald Hebb dans ses travaux sur l'apprentissage en 1949, a permis d'avancer les travaux de Walter Pitts en introduisant les coefficients synaptiques.

Cela resta toujours dans la théorie, jusqu'en 1957 quand, Frank Rosenblatt proposa le premier modèle pratique : le Perceptron simple, le premier système artificiel capable d'apprendre par expérience ; ainsi apparurent alors des modèles tels que le perceptron multicouche par Rumelhart en 1986 et l'Adaline de Bernard Widrow. [1]

Les réseaux de neurones sont donc des techniques de modélisation et de prévision très sophistiqués capables de modéliser des relations extrêmement complexes expérimentalement.

Notre objectif dans ce projet de fin d'études, est de trouver un modèle adéquat de prédiction de la teneur en nitrates par ces réseaux de neurones, des eaux usées de la STEP de Guelma à l'aide des paramètres physico-chimiques.

Ainsi afin de prévoir la teneur en nitrates, la première partie présentera une étude bibliographique des réseaux de neurones en chapitre I, qui sont de plus en plus utilisés dans le domaine de l'environnement plus précisément dans l'épuration des eaux du fait de la nature non stationnaire et aléatoire des phénomènes mis en jeu dans les procédés des unités d'épuration ; en chapitre II on introduira des généralités sur les différents traitements utilisés dans une station d'épuration et comme la transformation des nitrates s'accélère dans le bassin d'aération, l'étude des diverses formes de l'azote et des différents traitements biologiques sera abordée en chapitre III.

La seconde partie constitue le cœur de notre travail: il s'agit de l'étude expérimentale, elle contient la description détaillée de notre zone d'étude en chapitre IV et suite aux résultats des analyses effectués dans le laboratoire pour déterminer les paramètres d'entrées des réseaux de neurones, on construira les modèles de prédiction de la teneur en nitrates en chapitre V avec des discussions et interprétations sur les résultats des modèles obtenus pour enfin clore ce travail par une conclusion générale.

## **1.1 Introduction**

L'inspiration pour les réseaux de neurones provient de la volonté de créer des systèmes artificiels sophistiqués, voir intelligents, capables d'effectuer des opérations semblables à celle que le cerveau humain effectue de manière routinière.

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).

## **1.2 Généralités sur le neurone**

### **1.2.1 Le neurone biologique**

Les cellules nerveuses, appelées neurones sont des éléments de base du système nerveux central, qui se compose d'environ 10 puissance12 neurones (mille milliards), le neurone est une cellule composée de trois parties :

➤ **Un corps cellulaire** ou en anglais « **Cell body** »

Il contient le noyau et se charge d'effectuer les transformations biochimiques essentielles à la synthèse des éléments assurant la vie du neurone.

➤ **Les dendrites**

Ce sont des ramifications du corps cellulaire qui permettent au neurone de capter les signaux lui provenant de l'extérieur.

➤ **L'axone** ou en anglais **Axon**

Il est plus long que les dendrites, il se ramifie à son extrémité où il communique avec les autres neurones. Il sert de moyen de transport pour les signaux émis par le neurone. Les connexions entre neurones sont réalisées au niveau des **synapses**, lieu de proximité d'axone émetteur et dendrites réceptrices. [3]

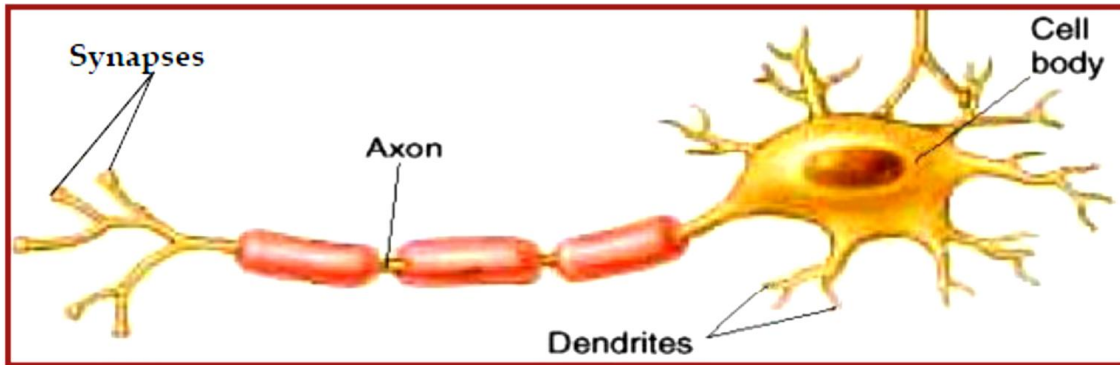


Figure 1 : Un neurone biologique et ses principaux composants. [2]

### 1.2.2 Le neurone formel

Le neurone formel est une modélisation mathématique qui reprend les principes de fonctionnement du neurone biologique ; il est constitué d'un noyau, d'une liaison synaptique de sortie et des liaisons synaptiques d'entrée et à chaque liaison d'entrée est attachée un poids appelé « poids synaptique ».

Sur le schéma suivant, le neurone a trois connexions en entrée le reliant à trois autres neurones, il reçoit de l'information provenant de chacun de ces trois neurones.

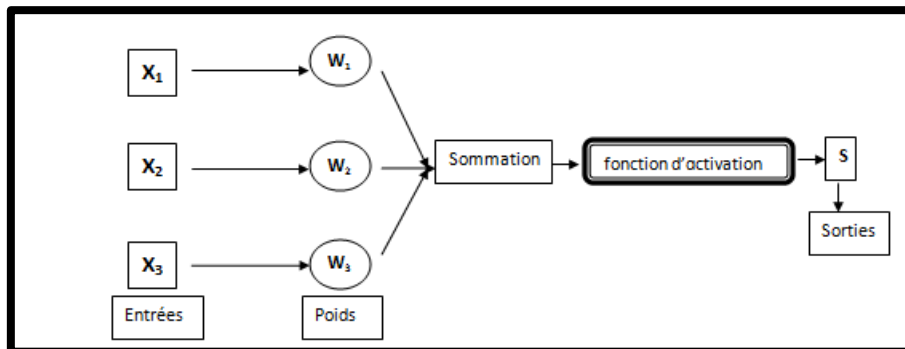
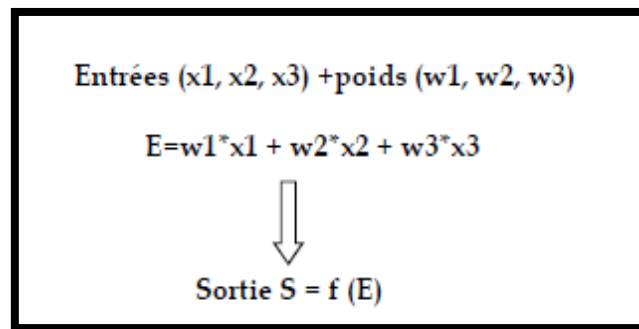


Figure 2 : le neurone formel. [2]

En effet, tout se passe comme si le neurone ne recevait qu'une entrée  $E$  et que celle-ci prenait la valeur une fois l'entrée connue, le neurone effectue une opération qui dépend de  $E$ . cela revient à dire qu'il applique une fonction  $f$  à la valeur  $E$ , cette fonction  $f$  est appelée fonction d'activation (fonction de traitement des entrées fournissant la sortie du neurone) selon le schéma suivant :



**Schéma 1 : la méthode de calcul de la fonction de sortie. [2]**

Ainsi donc, la modélisation mathématique consiste à mettre en œuvre un système de réseau neurones sous un aspect non pas biologique mais artificiel, cela suppose que d'après le principe biologique on aura une correspondance pour chaque élément composant le neurone biologique, donc une modélisation pour chacun d'entre eux. On pourra résumer cette modélisation par le tableau 1 ci-dessous, qui nous permettra de voir clairement la transition entre le neurone biologique et le neurone formel. [3]

**Tableau1 : Analogie entre le neurone biologique et le neurone formel. [3]**

Neurone biologique	Neurone artificiel
Synapses	Poids de connexions
Axone	Signal de sortie
Dendrites	Signal d'entrée
Somma	Fonction d'activation

### 1.3 Les propriétés du neurone formel

D'une façon générale, on peut caractériser un neurone formel par les trois paramètres suivants:

➤ **La nature des entrées**

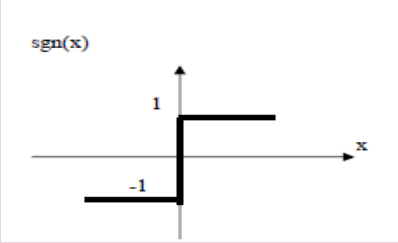
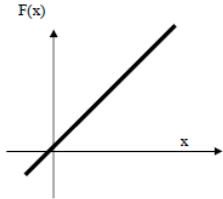
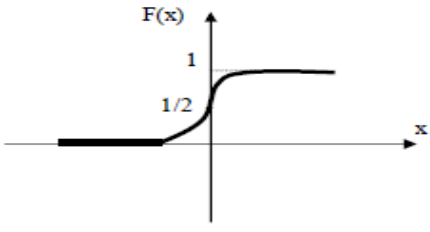
Elles peuvent être : Booléennes, Binaires (0, 1) ou bipolaires (-1, 1) et Réelles. Une sommation des entrées doit être effectuée pour pouvoir appliquer la fonction.



➤ **Fonction d'activation**

Cette fonction permet de définir l'état interne du neurone en fonction de son entrée totale, citons à titre d'exemple quelques fonctions souvent utilisées dans le tableau 2 ci-dessous :

**Tableau 2 : les fonctions d'activation. [3]**

L'expression de la fonction	La représentation graphique
<p><b>Fonction Signe</b></p> $S_{gr}(x) = \begin{cases} +1 & \text{si } x \text{ est positif} \\ -1 & \text{sinon} \end{cases}$	
<p><b>Fonction linéaire</b></p> $F(x) = x$	
<p><b>Fonction sigmoïde</b></p> $F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	

➤ **Fonction de sortie**

Elle calcule la sortie d'un neurone en fonction de son état d'activation. En général, elle est considérée comme la fonction identité qui peut être : Binaire (0, 1) ou bipolaire (-1, 1) et Réelle etc.

## 1.4 Les réseaux de neurones

### 1.4.1 Définition

Un réseau de neurones est un assemblage de neurones formels associés en couches fonctionnant en parallèle. Dans un réseau, chaque sous-groupe fait un traitement indépendant des autres et transmet le résultat de son analyse au sous-groupe suivant ; l'information donnée au réseau va donc se propager couche par couche, de la couche d'entrée (vecteur d'entrée) à la couche de sortie (vecteur de sortie), en passant soit par aucune, une ou plusieurs couches intermédiaires (couches cachées). Excepter les couches d'entrées et les couches de sorties, chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante et de la couche précédente. [2]

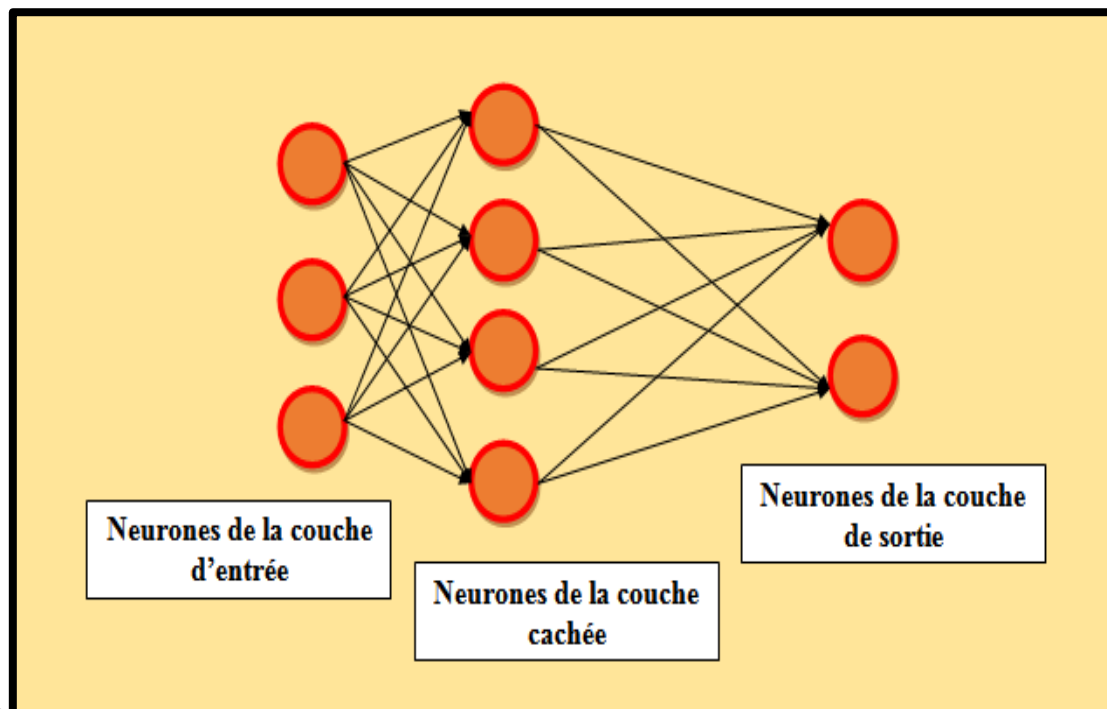


Figure 3 : Le réseau de neurones.

### 1.4.2 Architecture des réseaux de neurones

Définir l'architecture d'un réseau de neurones revient à faire un choix judicieux du vecteur d'entrée, de la taille du réseau (ou nombre total de couches et de neurones), de la structure du réseau (le type d'interconnexion entre les couches de neurones) et des fonctions de transfert, sans disposer de procédure standard. Il n'existe pas dans la littérature d'éléments suffisants pour déterminer objectivement le nombre de neurones requis pour résoudre un

problème donné. Les approches heuristiques proposées par les différents auteurs sont toutes expérimentales et ne s'appliquent qu'à des cas particuliers.

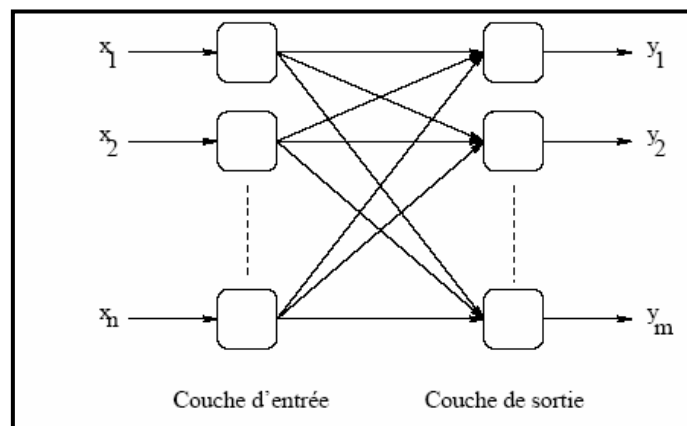
La définition de la taille du réseau et sa structure sont deux étapes difficiles de sa construction [4]. Selon leur structure, on peut classer les réseaux de neurones en deux grandes catégories :

- ❖ Les réseaux statiques ;
- ❖ Et les réseaux dynamiques ou récurrents ;

➤ **Les réseaux statiques**

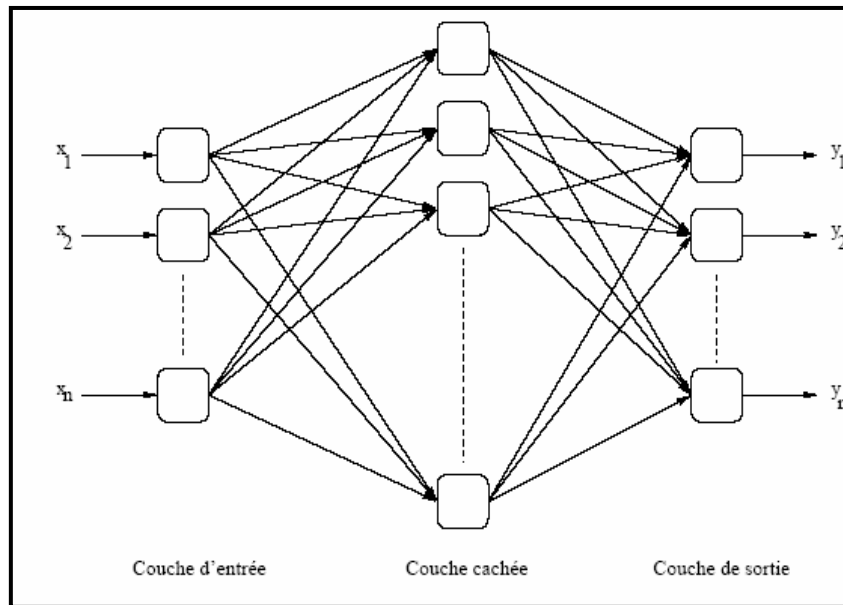
On dit d'un réseau qu'il est statique ou encore à sens unique, lorsqu'il ne contient pas de boucle interne, c'est à dire que l'information qui le traverse ne circule que de l'entrée vers la sortie. Les neurones sont organisés en couches successives, les neurones d'une couche étant reliés à ceux de la suivante. Parmi ce type de réseaux, il existe les réseaux à deux couches. Ils sont composés d'un ensemble de neurones répartis sur deux couches distinctes appelées couche d'entrée et de sortie, les neurones de la première étant connectés à ceux de la seconde.

[1]



**Figure 4 : Le réseau statique à deux couches. [1]**

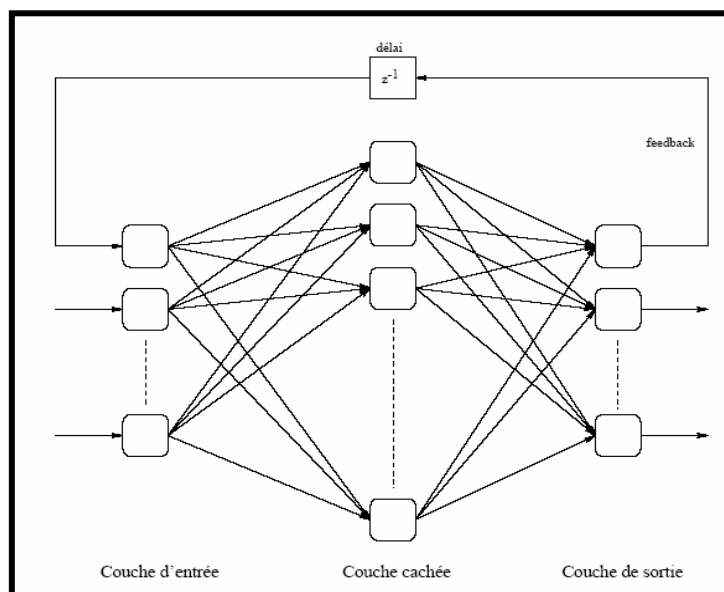
Si l'on intercale entre la sortie et l'entrée une ou plusieurs couches (qui seront alors appelées couches cachées), on parle alors de réseau statique multicouche. L'intérêt de rajouter au moins une couche cachée est d'augmenter le nombre de connexions, ce qui accroît la capacité d'un réseau à extraire l'information des données fournies en entrée.



**Figure 5 : Le réseau statique à trois couches. [1]**

➤ **Les réseaux dynamiques ou récurrents**

On parle de réseau de neurones récurrent lorsqu'il existe une boucle au moins dans l'ensemble des connexions. Il y a alors au minimum un retour d'information d'une couche sur la précédente. La figure 6 présente un exemple très simple : un neurone de la couche de sortie renvoie sa sortie sur la couche d'entrée avec un délai. Cela permet d'utiliser une des sorties à l'instant  $t$  comme entrée à l'instant  $(t + 1)$ . Les réseaux récurrents sont souvent utilisés pour la modélisation et la prévision des systèmes dynamiques. [1]



**Figure 6 : Le réseau récurrent ou dynamique.[1]**

### 1.4.3 Les différentes procédures et les lois d'apprentissage d'un réseau de neurones

#### A. les différentes procédures d'apprentissage

Une caractéristique des réseaux de neurones est leur capacité à apprendre (par exemple à reconnaître une lettre, un son...), mais cette connaissance n'est pas acquise dès le départ. La plupart des réseaux de neurones apprennent en suivant un algorithme d'apprentissage. Il y a deux algorithmes principaux : l'apprentissage supervisé et non supervisé.

- Lors d'un **apprentissage supervisé**, les résultats corrects (c'est-à-dire les valeurs que l'on désire que le réseau obtienne en sortie) sont fournis au réseau, si bien que celui-ci peut ajuster ses poids de connexions pour les obtenir. Après l'apprentissage, le réseau est testé en lui donnant seulement les valeurs d'entrée mais pas les sorties désirées, et en regardant si le résultat obtenu est proche de la sortie désirée.
- Lors d'un **apprentissage non supervisé**, on ne fournit pas au réseau les sorties que l'on désire obtenir. On le laisse évoluer librement jusqu'à ce qu'il se stabilise. (Il demande plus de perspicacité informatique). [3]

#### B. les lois d'apprentissage d'un réseau de neurones

- **La loi de Hebb**

Si deux unités connectées, sont activées simultanément, le poids de leur connexion est augmenté. Le poids à l' instant (t+1) est donné par la formule :

$$W_{ij}(t+1)=W_{ij}(t)+\mu A_i A_j \quad [3]$$

$W_{ij}(t)$ : le poids de la connexion entre le neurone J et le neurone I à l' instant t ;

$W_{ij}(t+1)$ : le poids de la connexion entre le neurone J et le neurone I à l' instant t+1 ;

$\mu$  : est un paramètre d'intensité d'apprentissage ;

$A_i$  : stimulus d'activation du neurone I ;

$A_j$  : stimulus d'activation du neurone J ;

- **La loi de Widrow-Hoff**

C'est une règle d'apprentissage qui permet d'ajuster les poids d'un réseau de neurones pour diminuer à chaque étape l'erreur commise par le réseau de neurones (à condition que le facteur d'apprentissage soit bien choisi). Un poids est modifié en utilisant la formule suivante:

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \alpha \delta_k x_k \quad [1]$$

$W_{ij}(t)$  est le poids à l'instant  $t$  ;

$W_{ij}(t)$  le poids à l'instant  $t+1$  ;

$\alpha$  est le facteur d'apprentissage ;

$\delta_k$  caractérise la différence entre la sortie attendue et la sortie effective du neurone à l'instant  $t$  ;

$x_k$  la valeur de l'entrée avec laquelle le poids  $w$  est associé à l'instant  $t$ .

## 1.4.4 Quelques modèles de réseau de neurone

### 1.4.4.1 Les réseaux de neurones monocouches

#### ➤ Le perceptron simple

Le perceptron représente le premier réseau de neurones artificiel, il est très utilisé pour le classement, comme il est introduit dans les réseaux traitant la décision. Il se compose de deux couches de neurones formels appelées « rétine » et « couche de sortie ». La couche rétine est une contraction de la couche d'entrée et de la couche de traitement des informations. Cette contraction a été effectuée pour des raisons de simplification, car la couche d'entrée est une couche inerte qui ne participe pas directement au traitement de l'information. Les cellules de la rétine, lorsqu'elles sont excitées, répondent par « oui » ou par « non » (1 ou 0) à leur sortie, car elles sont régies par une fonction binaire à seuil [3]. La modification des poids du perceptron est effectuée avec un apprentissage de type supervisé en exploitant la loi d'apprentissage de Widrow-Hoff.

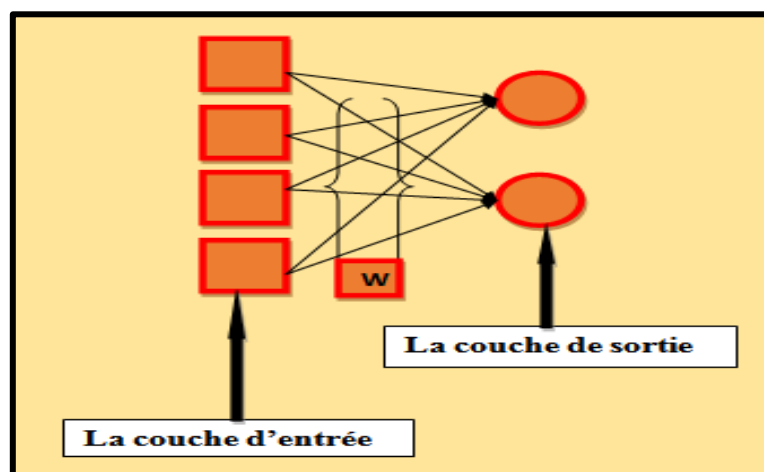


Figure 7 : le perceptron simple.

➤ **Adaline**

Introduit par Widrow et M. Hoff en 1960, le modèle d'Adaline (Adaptive Linear Element) a la même architecture que le perceptron. Une couche d'entrée est connectée à une couche de sortie. La différence entre ce réseau et le perceptron simple est qu'il est destiné à l'approximation des fonctions, et que sa sortie est linéaire. [3]

#### 1.4.4.2 Les réseaux multicouches

Un réseau de neurones multicouche est composé d'une succession de couches dont chacune prend ses entrées sur les sorties de la précédente. On distingue généralement deux types : le perceptron multicouche (**MPL**) et les réseaux à fonction de base radiale (**RBF**)

➤ **Le perceptron multicouche**

La notion de perceptron multicouche (MPL) est définie en considérant une couche d'entrée qui correspond aux variables d'entrée, une couche de sortie, et un certain nombre de couches intermédiaires. Ainsi l'élargissement de l'architecture du MPL aux réseaux multicouches règle le problème de la propagation des erreurs dans les couches cachées, ils appartiennent à la famille des algorithmes supervisés.

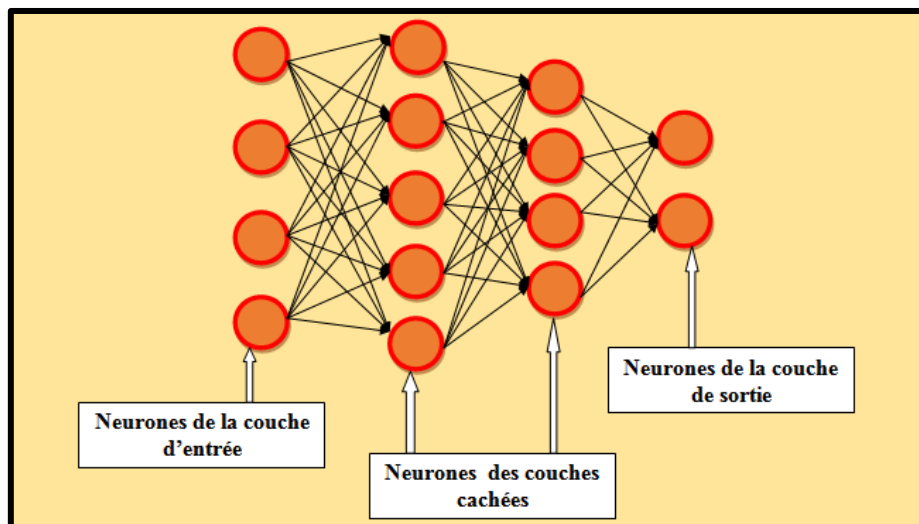


Figure 8 : le perceptron multicouche.

➤ **Les réseaux à fonction de base radiale (RBF)**

Pour des raisons de simplicité, on a décidé de faire une petite dualité entre le réseau RBF et le MPL, en précisant les ressemblances et les différences entre les deux. Ce choix est justifié par la popularité des MPL et leur vaste utilisation dans les applications industrielles.

Un réseau de neurones de type RBF est un MPL spécial, son architecture est identique à celle d'un MPL ayant une seule couche cachée donc on peut dire qu'il prend toutes les caractéristiques d'un MPL simple sauf qu'il diffère en quelques points. Nous citons quelques-uns :

**a) Le nombre des couches cachées**

Un réseau RBF ne peut contenir qu'une seule couche cachée, son architecture est fixée pour tous les problèmes à étudier.

**b) La fonction d'activation**

Le réseau RBF utilise toujours une fonction dite à base radiale centrée d'un point et munie d'un rayon.

En ce qui concerne les ressemblances entre un réseau RBF et un MPL, on peut mentionner quelques points :

- **La fonction de sortie**

Généralement une simple fonction linéaire qui renvoie une sommation pondérée des valeurs calculées par les neurones de la couche cachée. Bien sûr, ce n'est pas toujours le cas, parfois l'utilisation d'autres fonctions pourrait être plus adéquate dans un problème donné.

- **Le sens des connexions**

Les connexions entre les couches suivent le même sens, on peut dire qu'elles ne sont pas récurrentes, et chaque neurone est entièrement connecté vers les neurones de la couche suivante.

- **L'apprentissage**

Pour calculer les poids de la couche de sortie, on utilise un apprentissage supervisé pour les deux types de réseaux.

## **1.5 Les conditions d'utilisation des réseaux de neurones**

Il est avantageux de mettre en œuvre les réseaux de neurones pour toute application nécessitant de trouver, par des méthodes statistiques, une relation non linéaire entre des données numériques. Le problème posé par l'ingénieur doit satisfaire certaines conditions :

➤ **La taille de l'échantillon**



La première condition, nécessaire et non suffisante est qu'il faut disposer d'un échantillon de taille suffisamment grande, et bien représentatif. (Lors de l'apprentissage)

➤ **Le test sur des modèles simples**

En l'absence de toute connaissance à priori sur l'intérêt d'un modèle non linéaire l'ingénieur doit d'abord utiliser les méthodes simples et éprouver l'élaboration d'un modèle linéaire (qui est simple et moins coûteux en temps de calcul que celui d'un réseau de neurones). S'il s'avère que la précision du modèle est insuffisante bien que tous les facteurs pertinents soient présents dans les entrées du modèle, alors le concepteur de modèle doit envisager la mise en œuvre de modèles non linéaires tels que les réseaux de neurones.

➤ **Utilisation d'autres familles de fonctions non linéaires**

Si les données sont disponibles et s'il on s'est assuré qu'un modèle non linéaire est utile, il faut s'interroger sur l'opportunité d'utiliser un réseau de neurones de préférence à une autre famille de fonction non linéaire, les polynômes par exemple. Il est prouvé que les réseaux de neurones sont plus avantageux quand le nombre de variables est « *grand* », c'est-à-dire qu'il est supérieur ou égal à trois. [1]

## **1.6 Les avantages et limites des réseaux de neurones**

### **1.6.1 Avantages**

Un des intérêts majeurs des réseaux de neurones artificiels est qu'ils sont organisés sous la forme d'une structure massivement parallèle, on peut citer aussi les avantages suivants (similaires à ceux des réseaux de neurones biologiques) :

- Les neurones sont des composants non linéaires, ceci est une propriété très importante car cela leur permet de traiter des problèmes physiques non linéaires;
- Ils sont capables d'apprendre et de généraliser après une période d'apprentissage qui consiste à leur présenter des entrées ainsi que les sorties que l'on voudrait qu'ils trouvent, ils sont capables de produire des sorties "raisonnables" sur des cas qu'ils n'ont pas appris ;
- S'il a appris à travailler dans un environnement précis, on peut réapprendre un réseau pour qu'il s'adapte à un autre environnement semblable ;
- Dans le cas d'un problème de classification un réseau de neurones il ne se contente pas de faire un choix : il fournit aussi un niveau de confiance sur sa décision. Cela permet de rejeter des motifs ambigus et d'avoir une idée sur la précision du résultat. [1]

### **1.6.2 Les limites des réseaux de neurones**

Les réseaux de neurones artificiels ont besoin de cas réels servant d'exemples pour leur apprentissage. Par exemple, on peut utiliser un réseau de neurones pour reconnaître l'écriture d'une personne en lui fournissant plusieurs exemples d'écriture de cette personne mais, cela nécessite une masse importante de textes comme base d'apprentissage, ce qui n'est toujours pas faisable. [1]

### **1.7 Conclusion**

Ce premier chapitre a permis de présenter un schéma général sur le neurone et l'ensemble des réseaux de neurones incluant leurs modes d'apprentissage, les exigences des conditions d'utilisation, les avantages et les limites. Ils peuvent donc tous être utiles pour la modélisation des phénomènes à régression non linéaire, nous nous sommes plus intéressés suivant l'accessibilité au perceptron multicouche (MPL) à fonction d'activation sigmoïde.

Cependant dans la construction d'un modèle de prédiction de la teneur en nitrates des eaux usées comme prononcé dans l'introduction générale de ce travail nous avons besoin d'un ensemble de données (température, PH, NH<sub>4</sub>, DBO<sub>5</sub>, DCO etc.), qui sont obtenus au préalable par analyses ou mesures avant et après des procédés de traitement effectués au niveau de la STEP ,c'est pourquoi le chapitre suivant sera consacré à l'étude des aspects fondamentaux de la STEP de Guelma, Nous y verrons en détail les différentes techniques existantes pour assainir l'eau avant le rejet sur le milieu naturel .

### 2.1 Introduction

Suivant le cycle de l'eau, après divers usages dans le milieu urbain par temps sec ou pluvieux, les eaux usées sont collectées et acheminées vers la STEP grâce à un réseau souterrain de canalisations. Il en résulte donc une eau épurée que l'on rejette dans le milieu naturel sans risque d'eutrophisation.

La STEP est une reconstitution " industrielle " du phénomène d'autoépuration naturelle. Les traitements effectués sur les eaux usées se déroulent en différentes étapes comme suit :

1. d'extraire les éléments les plus gros ;
2. éliminer les matières en suspension ;
3. assurer l'élimination de la pollution carbonée ; azotée et bactérienne selon des techniques basées sur des lois de la physique, de la chimie et de la biologie.

### 2.2 La nature des eaux usées et les principaux paramètres de pollution

#### 2.2.1 La nature des eaux usées

La nature des eaux usées dépend de divers facteurs, on distingue :

➤ **Les eaux usées domestiques**

Elles proviennent d'usages domestiques et sont principalement porteuses de pollution organique et se répartissent en eaux ménagères provenant de la cuisine et de la salle de bain qui sont donc, essentiellement chargées en détergents ,graisses et débris organiques et l'autre catégorie étant ce que l'on appelle les eaux de vannes provenant des toilettes sont chargées de diverses matières organiques azotées ainsi que des germes fécaux.

➤ **Les eaux usées industrielles**

Les caractéristiques des eaux industrielles dépendent en fait de l'industrie dont elles sont issues et peuvent contenir en plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, des produits toxiques, dissolvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques ou des hydrocarbures.

➤ **Les eaux de nettoyage des espaces publics**

Elles proviennent essentiellement du nettoyage des caniveaux, trottoirs, marchés etc.

➤ **Les eaux pluviales**

Elles peuvent aussi être à l'origine de pollutions sérieuses des cours d'eau, en particulier lors des épisodes orageux. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air

(fumées industrielles) ; mais aussi surtout en ruisselant, elle se charge des déchets, les huiles de vidange, les hydrocarbures, les résidus de pneus et autres métaux lourds.

### ➤ **Les eaux d'exhaure**

Il s'agit des eaux souterraines infiltrées dans les sous-sols des bâtiments, et pompées ensuite vers les égouts. Ces eaux claires, surchargent les réseaux et réduisent l'efficacité des stations d'épuration par dilution de la pollution. [5]

### 2.2.2 Les principaux paramètres de pollution d'une eau usée

Les principaux paramètres pour caractériser une eau résiduaire et connaître son niveau de contamination, sont:

#### ❖ **Les paramètres physiques**

##### **a. La température**

La température est un paramètre dont le contrôle est indispensable surtout en présence d'effluents industriels. Elle influe beaucoup sur l'oxygène dissous.

##### **b. La conductivité**

Elle indique la salinité d'eau, influe sur le traitement biologique et la décantation.

##### **c. Les matières en suspension (MES)**

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement, qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. C'est la fraction non dissoute de la pollution qui contribue aussi à déséquilibrer le milieu aquatique en accroissant la turbidité qui peut avoir un effet néfaste direct sur l'appareil respiratoire des poissons.[6]

##### **d. Les MVS**

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension, elles constituent environ 70-80 % de MES.

##### **e. La couleur et l'odeur**

La couleur est due à la présence des matières organiques dissoutes, ou des composés chimiques qui sont colorés. L'odeur est due à une fermentation des matières organiques.

#### ❖ **Les paramètres chimiques**

##### **a. le PH (potentiel hydrogène)**

Le PH joue un rôle capital dans le traitement biologique. Il exprime le degré d'acidité ou d'alcalinité des eaux usées.

##### **b. La demande biologique en oxygène (DBO)**

C'est un paramètre global qui exprime la quantité d'oxygène qu'une biomasse épuratrice va consommer pour décomposer les matières organiques contenues dans l'effluent. Elle représente donc la somme des matières organiques biodégradables et généralement mesurée pendant 5 jours.

### c. La demande chimique en oxygène (DCO)

Elle représente de la quantité de matières organiques oxydables par voie chimique. Le rapport entre la DCO et DBO peut donner une idée de la biodégradabilité de l'effluent. La DBO et la DCO sont deux moyens qui permettent d'apprécier la teneur en matières organiques oxydables, la dégradation de celles-ci dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration d'oxygène dissous.

### d. L'azote et le phosphore

#### ❖ L'azote

Il se trouve sous forme minérale (ammoniacal, nitrate) ou organique ; la présence d'azote organique ou ammoniacal se traduit par une consommation d'oxygène dans le milieu naturel et par une entrave à la vie des poissons.

#### ❖ Le phosphore

Il se trouve sous forme minérale (en provenance des lessives ou des rejets industriels) ainsi la présence de phosphore et du nitrate entraîne un risque d'eutrophisation du cours d'eau, c'est à- dire que celui-ci peut se voir envahi par un développement excessif de la population algale.

Au final tous ces paramètres cités peuvent être identifiés dans ces trois catégories :

- la fraction décantable qui correspond à la pollution particulaire et qui pourra être enlevée par un simple traitement physique, telle la décantation ;
- la fraction colloïdale, qui correspond à la pollution pouvant flocculer par ajout de réactif et être enlevée par traitement physique ;
- la fraction soluble, qui correspond à la pollution qui sera éliminée spécifiquement par voie biologique.

## 2.3 Objectif du Traitement / Objectif de la STEP

Le rôle principal de la station de traitement des eaux usées est de réduire la pollution « en nettoyant » les eaux usées domestiques de façon à rejeter à la rivière des eaux traitées compatibles avec la qualité souhaitée et dans les normes idéales pour la faune et la flore. Le tableau 3 ci-dessous montre les valeurs limites des paramètres de rejet dans un milieu récepteur.

**Tableau 3 : les paramètres de rejet. [7]**

Paramètres	Valeurs limites	Unités
PH	6,5-8,5	mg /l
MES	30	mg /l
DBO5	30	mg /l
DCO	90	mg /l
Conductivité	3	dS/m
Azote (NO <sub>3</sub> -N)	30	mg /l

### 2.4 Le traitement des eaux usées dans la STEP

Le processus d'épuration des eaux usées comprend trois grandes étapes qui sont : le prétraitement, le traitement primaire et secondaire parfois suivis par un quatrième niveau de traitement, appelé traitement tertiaire.

#### 2.4.1 Le prétraitement

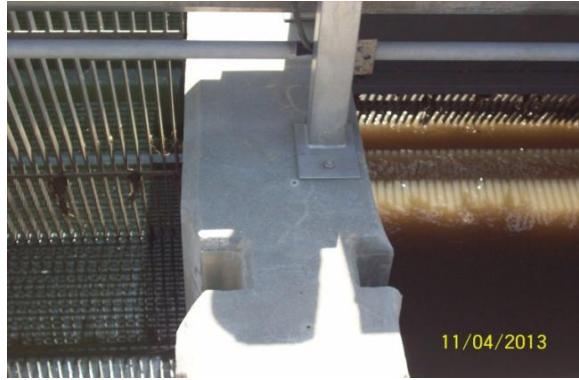
Après collecte et acheminement vers la station d'épuration, et avant chaque processus d'épuration il convient de faire appel à un « prétraitement » qui permet d'extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs (biologiques) et ouvrages de la STEP. L'objectif du prétraitement est de débarrasser les eaux usées à traiter de déchets spécifiques qui poseraient problème dans la suite du traitement :

- Les déchets de dégrillages (papiers, feuilles et autres flottants de grande dimension) ;
- Les déchets sableux (sable, noyaux, pépins, et autres particules lourdes) ;
- Les déchets graisseux, traités sur le site de plus en plus fréquemment, dont on cherche à minimiser le volume (taille des stockages et organes de traitement, transport).

Ces opérations sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage-dégraissage.

##### ➤ Le dégrillage

L'eau brute passe à travers des grilles composées de barreaux placés verticalement ou inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale. L'espacement des barreaux varie de 6 à 100 mm. La vitesse moyenne de passage entre les barreaux est comprise entre 0,6 et 1 m/s. Le nettoyage de la grille est généralement mécanique. Il est réalisé par un râteau solidaire d'un chariot qui se déplace de bas en haut le long d'une crémaillère, entraîné par deux câbles. [5]



**Figure 9: Exemple de dégrillage. (Source STEP de Guelma)**

➤ **Le dessablage**

Le dessablage s'effectue sur des particules de dimensions supérieures à 200 mm. La vitesse de sédimentation se calcule par la loi de Stokes (chute libre). On calcule la section du dessableur de manière que la vitesse de l'eau ne descende pas au-dessous de 0,30 à 0,20 m/s ; on évite ainsi que les matières organiques se déposent en même temps que les sables. Le sable est extrait soit mécaniquement par raclage vers un poste de réception, puis repris par pompage, soit directement par pompe suceuse montée sur pont roulant.

➤ **Déshuilage-dégraissage**

Le déshuilage-dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes les matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Les huiles et graisses, lorsqu'elles ne sont pas émulsionnées, sont séparées sous forme de boues flottantes dans des ouvrages comportant une zone d'aération où les bulles d'air augmentent la vitesse de montée des particules grasses et une zone de tranquillisation où s'effectue la récupération. Le plus souvent, les fonctions de dessablage et de déshuilage sont combinées dans un même ouvrage. [5]



**Figure 10 : Bassin de dessablage-déshuilage-dégraissage. (Source STEP de Guelma)**

### 2.4.2 Traitement primaire

Une fois ces étapes de dégrossissage réalisées, les eaux usées vont subir des procédés physiques visant à éliminer, par décantation la charge de matière organique et minérale en suspension. C'est ce que l'on appelle le traitement primaire, qui ne permet d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées. L'eau va alors passer au travers d'un bassin de décantation, à faible vitesse permettant ainsi la sédimentation des particules au fond du bassin, et leur enlèvement via des pompes. [6]



**Figure 11 : Bassin décanteur. (Source STEP de Guelma)**

### 2.4.3 Traitement secondaire

L'étape du traitement primaire permet l'enlèvement des matières en suspension, l'eau n'est, pour autant, pas traitée complètement. La décantation permet l'élimination des particules de grandes tailles (supérieures à 50 microns). Par contre, la séparation des matières finement dispersées et des colloïdes, qui sont à l'origine de la coloration des eaux, ne peut se faire directement par décantation [8]. Les espèces colloïdales que l'on rencontre dans une eau brute ou une eau résiduaire comprennent de l'argile, de la silice, du fer et autres métaux lourds et des solides organiques tels que des débris d'organismes morts. Elles ont une taille inférieure à 1 micron. Les colloïdes sont donc des particules impossibles à décanter naturellement. Il est alors nécessaire de faire appel à des traitements secondaires. Ceux-ci permettent d'éliminer les particules non décantables et les matières dissoutes. Ils font généralement appel à des procédés physico-chimiques ou biologiques.

#### ➤ **Le traitement physico-chimique**

Le traitement physico-chimique va permettre d'agglomérer les particules (coagulation–floculation) par adjonction d'agents flocculant (chlorure de fer). Ces amas de particules ainsi formés seront séparés de l'eau par décantation dans des clarificateurs (élimination des particules formées de taille généralement supérieure à 50  $\mu\text{m}$ ). Ce traitement peut être



effectué préalablement avant le traitement biologique et s'intégrera alors dans ce cas dans les étapes du traitement primaire. [6]

### ➤ Le traitement biologique

Le traitement biologique se fait en mettant en contact l'eau à épurer avec des microorganismes. Ceux-ci vont se nourrir des matières organiques présentes dans les eaux usées et vont transformer les polluants :

- 1) par absorption des matières polluantes sur floc bactérien (agglomérat de microorganismes) ;
- 2) par conversion en matière cellulaire ;
- 3) par oxydation en  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$  qui produit l'énergie nécessaire au fonctionnement et à la production du matériau cellulaire.

Si la culture est en suspension dans un bassin aéré, il s'agit du procédé à boues activées. Dans le procédé de type lit bactérien par contre, la culture est fixée ou retenue sur un support solide. [8]



**Figure 12 : bassin d'aération. (Source STEP de Guelma)**

### 2.4.4 Traitement tertiaire

A l'issue du traitement secondaire, l'eau traitée est parfois directement rejetée en milieu naturel. Autrement, elle subit un troisième niveau de traitement, visant soit la réutilisation directe à des fins agricoles ou industrielles voir humaines, soit la protection des milieux naturels ou des systèmes de captage situés en aval. Ainsi La désinfection vient parachever le traitement en éliminant les germes potentiellement pathogènes encore présents dans l'eau. L'éventail des techniques de désinfection est assez large. On y retrouve le traitement au chlore, à l'ozone, et à l'UV pour les plus courantes.[6]



**Figure 13: Exemple de bassin de désinfection. (Source STEP de Guelma).**

### 2.5 Conclusion

Cette étude nous a permis d'avoir une idée générale sur l'ensemble des traitements qui sont effectués dans une station d'épuration pour l'élimination de la matière polluante. Nous y avons évoqué tous les paramètres physico-chimiques pouvant caractériser une eau résiduaire en général, cependant la compréhension du processus de formation de certains d'entre eux comme les nitrites/nitrates nécessite un approfondissement de l'étude du traitement biologique, car ceux-ci résultent de la transformation de l'ammoniac en présence des micro-organismes suivant le cycle de l'azote.

### 3.1 Introduction

Dans la nature la formation des nitrates résulte de la décomposition normale de la matière vivante (les protéines). Les déjections humaines et animales, ainsi que la putréfaction des plantes représentent une source de composés azotés qui par fermentation et oxydation, vont se transformer d'abord en ammoniac ( $\text{NH}_4^+$ ) puis en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et enfin en une forme plus stable et très soluble dans l'eau, les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ). Les sols contiennent souvent des quantités énormes de composés azotés qui, une fois transformés en nitrates, sont absorbés par les plantes sauvages ou cultivées bouclant ainsi un cycle naturel.

Tout pourrait être équilibré si les activités humaines ne venaient pas s'ajouter à ce cycle naturel par l'apport de fertilisants en grande quantité pour les cultures ou la concentration de déjections humaines dans les agglomérations et animales dans les élevages. [8]

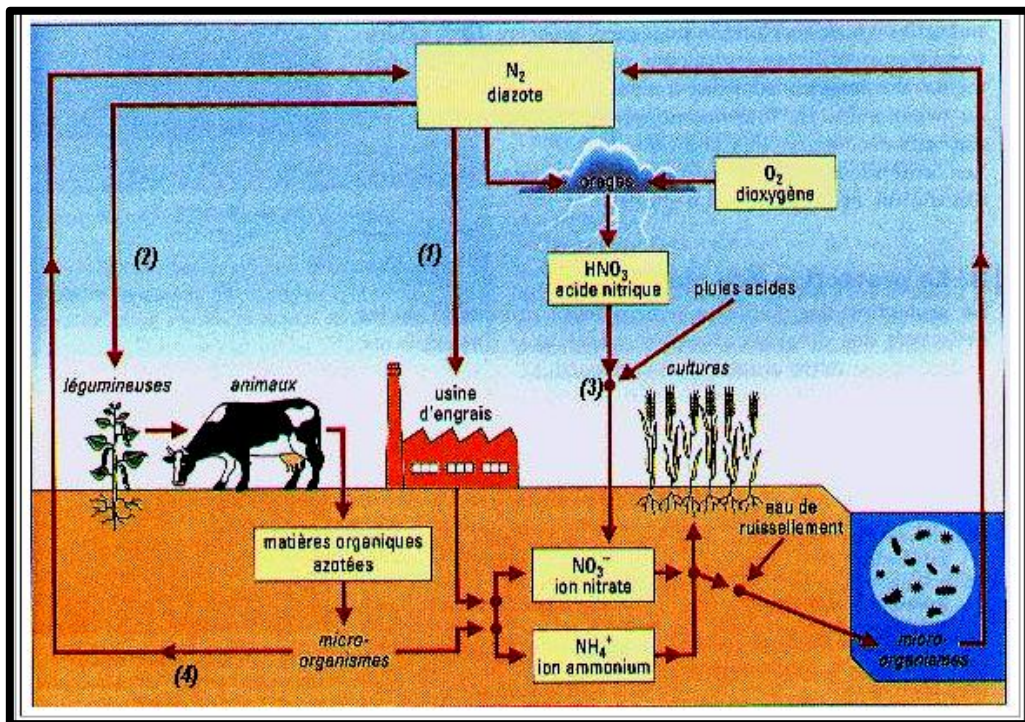


Figure 14 : Cycle de l'azote. [9]

Les ions nitrates et ammonium, présents dans le sol ont trois modes de formation en **phase 1** : la synthèse d'engrais, la transformation par les légumineuses en **phase 2** et la formation dans les orages en **phase 3**. Certaines bactéries dites nitrifiantes permettent, d'une part la transformation des ions ammonium en ions nitrate (oxydation) et d'autre part, d'autres bactéries dénitrifiantes permettent la transformation des ions nitrates (dénitrification) ou ammonium en diazote de l'air, la **phase 4**.

Par ailleurs, l'azote des eaux résiduaires provient principalement du transport des protéines comportant des acides aminés des eaux usées domestiques, du ruissellement des eaux pluviales à travers le sol et certains agents de surface (assouplissant,...) qui incluent dans leurs molécules des radicaux azotés qui par fermentation et oxydation dans ces eaux vont donner naissance à l'ammoniac puis par oxydation des nitrites / nitrates.

Ainsi, l'objectif principal de ce chapitre est de mettre en évidence la transformation des nitrates dans le bassin d'aération à travers l'étude des diverses formes de l'azote et les différents traitements biologiques.

### 3.2 Diverses formes de l'azote

L'azote global peut subir différentes transformations au cours de son cycle (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse puis nitrique et retour à la forme gazeuse et chacun des composés formés au cours de ces différentes étapes, a un poids moléculaire différent, on distingue :

- L'azote KJELDAHI (NK), du nom du chimiste qui a mis au point le dosage, représente la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal ;
- Les nitrites/nitrates qui sont de l'azote sous forme oxydés.

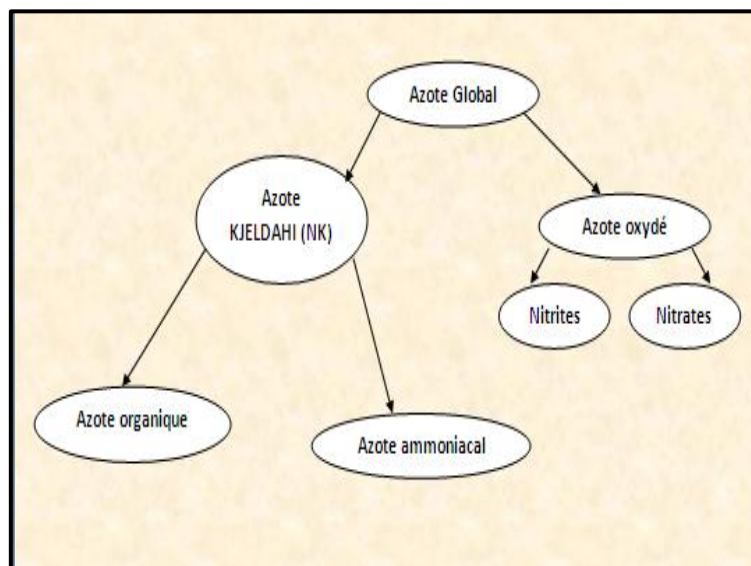


Figure 15 : Différentes formes de l'azote.

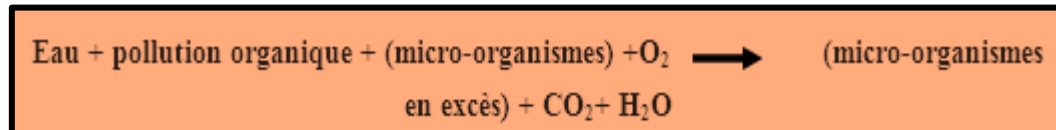
### 3.3 Processus de nitrification dans le traitement biologique

Le traitement biologique est un traitement secondaire qui a pour but d'éliminer la matière polluante biodégradable contenue dans l'eau domestique (décantée ou non) en la

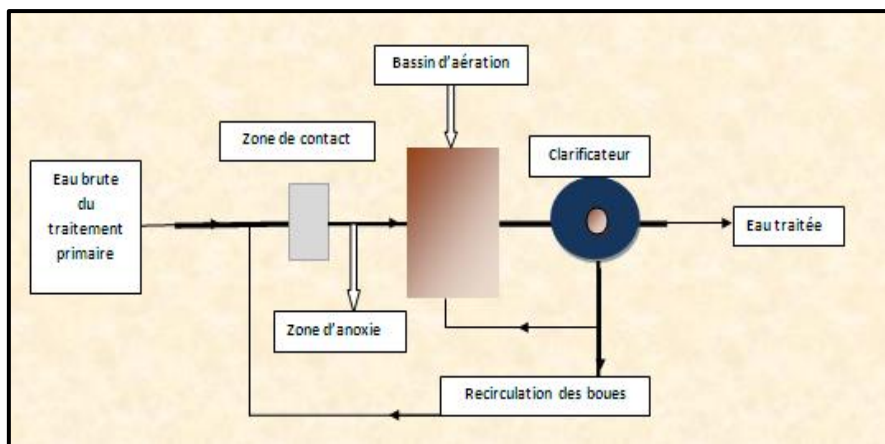


transformant en matières en suspension : micro-organismes et leurs déchets, plus facilement récupérables (les boues). En outre, il nous permet d'appréhender le processus de nitrification à travers ces différents procédés, car celle-ci résulte de l'action des bactéries nitrifiantes sur la matière organique biodégradable en présence d'oxygène. [8]

Le bilan global de la métabolisation de la matière organique est le suivant :



Cela se réalise en général dans trois zones distinctes ; la zone de contact avec une zone intermédiaire (la zone d'anoxie), le bassin d'aération et le clarificateur).



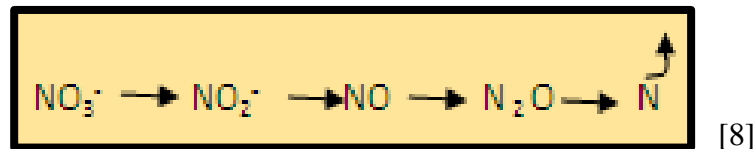
**Figure 16: Principe du traitement biologique.**

➤ **la zone de contact**

Cet ouvrage permet la création à l'amont du bassin d'aération une zone à forte charge qui favorise le développement des bactéries du floc au détriment des bactéries filamenteuses : c'est la nitrification.

➤ **le bassin d'anoxie**

Il permet la dénitrification (transformation des nitrates en azote gazeux) des nitrates formés dans le bassin d'aération et renvoyés par une recirculation interne. La dénitrification biologique repose sur l'utilisation de bactéries, qui utilisent les nitrates à la place de l'oxygène de l'air, et qui les transforment en azote gazeux. La chaîne de décomposition des nitrates ou la dénitrification peut être simplifiée de la façon suivante:



[8]

Dans la STEP de Guelma ce processus se fait par voie naturelle à l'aide d'un contrôle permanent de la vitesse d'aération.

### ➤ le bassin d'aération

Les éléments majeurs à maîtriser au niveau de ce bassin sont : les conditions d'aération et de brassage, le mode d'admission et de circulation de l'eau usée dans l'ouvrage et la bonne gestion de la concentration en boues dans l'ouvrage.

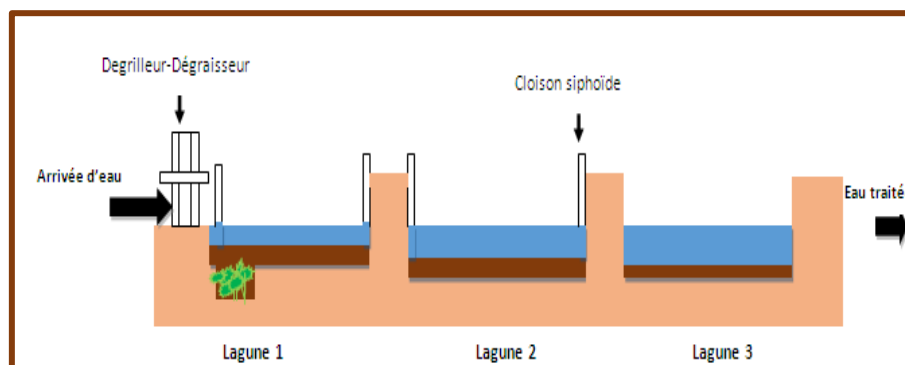
La dégradation par voie biologique peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène) cependant nous nous intéresserons plus ici à la voie d'aérobie car la nitrification y est plus observable. [8]

### 3.3.1 Procédés d'aérobie (en présence d'oxygène)

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène, on distingue dans les cultures libres :

### ➤ Le lagunage naturel

Il est constitué généralement de trois bassins de rétention ouverts, dans lesquels l'autoépuration des eaux usées est réalisée par les organismes aquatiques (bactéries, algues, végétaux) qui se développent en équilibre avec le milieu. L'oxygène dissous nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques en présence de rayonnement solaire.



**Figure 17 : Le lagunage naturel.**

Un lit d'infiltration-percolation sur sable placé à l'aval du lagunage devrait améliorer la qualité du rejet sur les MES.

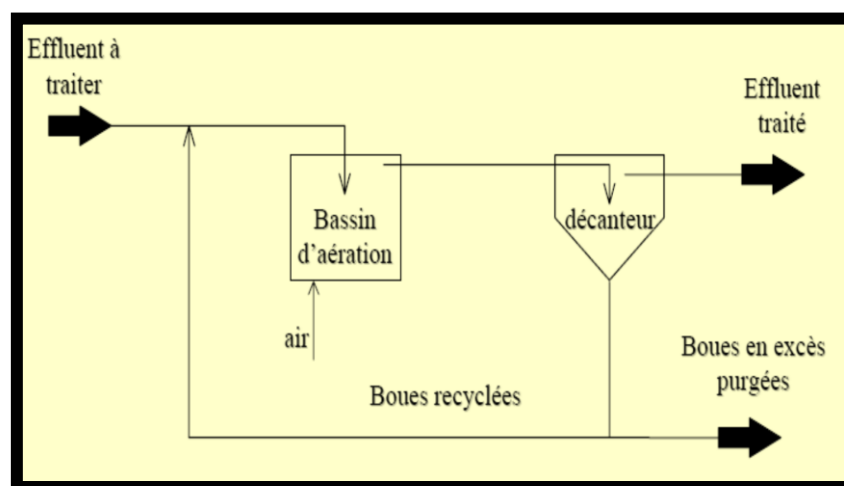
➤ **Le lagunage aéré**

À la différence du lagunage naturel dans le lagunage aéré, l'apport d'oxygène est essentiellement assuré de façon artificielle : aérateurs mécaniques flottants ou fixes, ou insufflation d'air.

➤ **Le traitement biologique par boues activées**

C'est le traitement appliqué à la STEP de Guelma ; les matières organiques polluantes vont être captées par ces floccs et former des boues activées qui sont brassées et assurent l'épuration des eaux usées dans le bassin. Il implique une aération du bassin afin d'assurer les conditions adéquates pour le développement des micro-organismes qui s'agglomèrent et forment le floc bactérien.

Le bassin d'aération est équipé d'un système d'aération fonctionnant en discontinu (une dizaine de cycles d'aération par jour) alors la nitrification s'effectue durant les phases aérobies. A l'aval de ce traitement, un clarificateur (ou décanteur secondaire) permet l'isolation des boues. Pour conserver un stock constant et suffisant de bactéries dans le bassin de boues activées, une partie des boues extraites du clarificateur est renvoyée en tête de bassin. L'autre partie est évacuée du circuit et dirigée vers les unités de traitement des boues.



**Figure 18: Le fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées.**

Par ailleurs, il existe d'autres procédés d'épuration biologique des eaux, tels que : le lit bactérien, les biofiltres etc., qui sont des procédés à cultures fixées.

➤ **Traitement biologique par lit bactérien**

Le principe du traitement par lit bactérien consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée (traitement primaire), sur un support poreux contenant les microorganismes épurateurs. L'eau à traiter est répartie uniformément à la surface du filtre (dispersion en pluie par une grille, puis suit une phase d'aération pour apporter dans toute la biomasse du lit l'oxygène nécessaire au maintien des bonnes conditions pour la microflore, l'objectif final n'étant pas de développer une biomasse, mais de restituer une eau purifiée. Une étape de séparation liquide-biomasse est assurée par un dispositif de clarification. Comme pour les boues activées, une partie de ces boues sert à réensemencer les bassins biologiques tandis que le reste est transféré vers la filière boue.



**Figure 19 : Bassin à lit bactérien. [9]**

➤ **Traitement biologique par biofiltres**

Les biofiltres constituent une technologie dont les avantages (compacité, facilité d'intégration au site, aspect modulaire, absence de clarificateur secondaire) sont bien connus. Son créneau d'application, après le traitement du carbone, s'est élargi au traitement de l'azote. Ils combinent des processus physique et biologique par l'utilisation d'un matériau filtrant millimétrique immergé, aéré ou non selon le traitement recherché et sur lequel se fixent les populations bactériennes qui vont participer à la dégradation de la charge polluante apportée par l'influent. Sous l'effet du développement de la biomasse et de l'accumulation des MES, le biofiltre se colmate et nécessite un lavage périodique (le plus souvent quotidien).



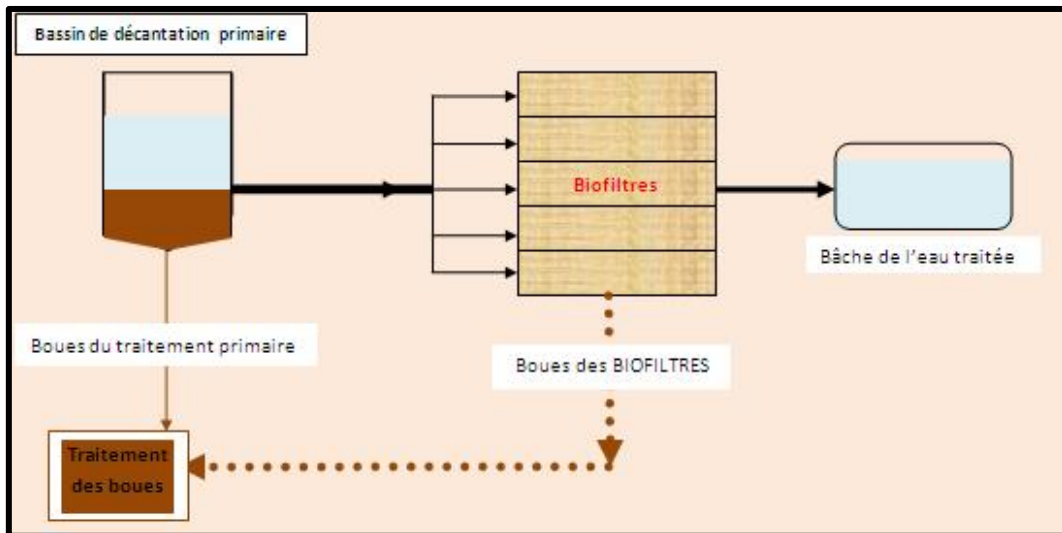


Figure 20: Le fonctionnement d'une station à biofiltres.

➤ **Les biodisques**

Dans le procédé à biodisques le support est constitué par des parallèles disques régulièrement espacés sur un axe horizontal, tournant à faible vitesse et immergés sur la moitié de leur hauteur. Ce mouvement induit une oxygénation de la culture pendant la période d'immersion.

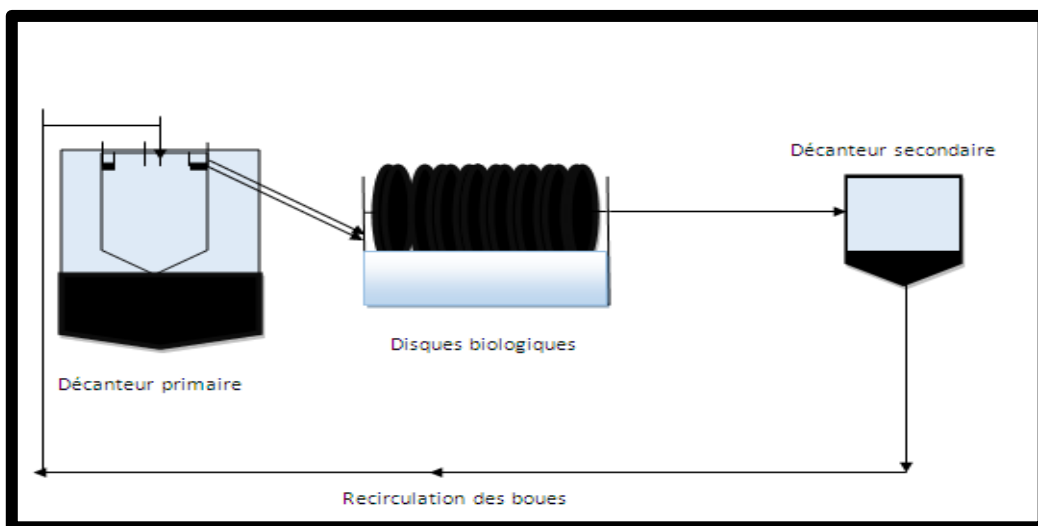


Figure 21: Le fonctionnement d'une station à biodisques.

**3.4 Conclusion**

En présentant les différents traitements biologiques, nous avons tenté d'aborder, de manière concrète le phénomène de nitrification en détail, nous pouvons alors dire que par

rapport aux autres paramètres physico-chimiques de l'eau à l'entrée, la transformation des nitrates s'accélère dans les bassins d'épuration (le bassin d'aération) due à la transformation de l'ammoniac par les micro-organismes en présence d'oxygène. Ainsi nous allons entamer la deuxième partie de ce mémoire : l'étude expérimentale.

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous nous proposons de faire une brève description de notre zone d'étude ainsi que les protocoles d'analyses des échantillons d'eau de la STEP de Guelma.

## 4.2 La présentation de la STEP de Guelma

### 4.2.1 Localisation

La STEP de Guelma est située sur la route nationale N°21, pont Héliopolis près d'Oued Seybouse. Elle est fonctionnelle depuis le 18 Février 2008. Elle a été conçue pour traiter d'environ 32000 m<sup>3</sup>/jour par temps sec et 43000 m<sup>3</sup>/jour par temps de pluie. La station est implantée sur un terrain agricole de 7.8 Hectares avec une capacité de 200 000 équivalent / habitant. Elle utilise le procédé de cultures libres « boues activées » comme procédé d'épuration.

### 4.2.2 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 m<sup>3</sup>/h.

\***SR2** : alimentée par Oued SKhoun, ces effluents sont des rejets des habitants, avec un débit de 1125 m<sup>3</sup>/h.



Figure 22: l'image de la STEP de Guelma. [10]

## 4.3 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.

#### **4.3.1 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: inférieure à 35 mg/l sur 24 h. Sans dépasser 40 mg/l sur 2 heures.

MES: inférieure à 35 mg/l sur 24 heures.

DCO: inférieure à 130 mg/l sur 24 h sans dépasser 120 mg/l sur 2 heures.

Ceci conduit aux rendements d'élimination moyens suivant:

DBO: 91,12 % ;

MES: 93,15 % ;

DCO: 82,00 % ;

##### **➤ 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 [10].

#### **4.4 La 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 (voir tableau 4).

Tableau 4 : Matériels du laboratoire d'analyse de la STEP Guelma.

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 a moufle	La calcination

#### 4.5 Les protocoles d'analyses des échantillons d'eau (STEP de Guelma)

##### 4.5.1 La température

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout du 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.

La température influence aussi directement la réaction de la dissolution de l'oxygène dans l'eau c'est-à-dire plus l'eau est froide plus la dissolution est importante.

##### ➤ Principe

Les mesures de la température de l'eau sur le lieu de prélèvement de l'échantillon sont une partie intégrante du traitement des eaux.

##### ➤ Appareillage

La température est mesurée en même temps avec le pH par le pH mètre.

##### 4.5.2 Les nitrates $\text{NO}_3^-$

###### a.Principe

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosoulylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

###### b. Matériels

On aura besoin des différents matériels :

- Bécher à 100 ml
- Balance
- Pipettes à trait de 1, 2, 5, 10 ml
- Bain marie
- Spectrophotomètre visible.

### **c. Réactifs**

Les différents réactifs utilisés sont :

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 % (on doit le renouveler à chaque analyse),  
0,05 g de salicylate de sodium de sodium dans 10 ml d'eau distillée.
- Solution d'hydroxyde de sodium 30 %,  
30 g de NaOH dans 100ml d'eau distillée.
- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré,
- Tartrate double de sodium et de potassium.

### **d. Mode opératoire**

- On met 10ml de chaque échantillon à analyser dans un bécher,
- On ajoute 1ml de salicylate de sodium,
- après on ajoute quelques gouttes (2 à 3) de NaOH à 30 %,
- Evaporer à sec dans un bain marie ou à l'étuve 75-88 °C (à ne pas surcharger, très longtemps) laisser refroidir
- On reprend le résidu sec avec 2 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré sont ajoutés, on les mélange et on les laisse reposer pendant 10 min,
- ajoute 15 ml d'eau distillée, et 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis les passer au spectrophotomètre visible à 415 nm.

### **e. Expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.



**Figure 23: Spectrophotomètre.**

#### 4.5.3 Les nitrites $\text{NO}_2^-$

##### a. Principe

Les nitrites sont considérés comme polluants très nuisibles à la santé de l'être humain et des animaux (le taux de  $\text{NO}_2$  devient nocif quand il dépasse 0.5mg/l). Le taux doit être contrôlé régulièrement, un taux important survient en général lorsque l'eau est surchargée en matières organiques, et les bactéries ne sont pas suffisantes pour les transformer en nitrates. En milieu chlorhydrique et en présence d'ion ammonium, il se forme un complexe coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

##### b. Réactifs

###### Réactif mixte

- Sulfanilamide.....40g.
- Acide phosphorique.....100 ml.
- N-1-Natphtyl éthylène diamine.....2g.
- H<sub>2</sub>O distillée.....1000ml.

##### c. Mode opératoire

- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
- Agiter la préparation et laisser reposer pendant 10 minutes.
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 min.
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2$ .

- Effectuer la lecture en utilisant le spectrophotomètre on le réglant sur une longueur d'onde =543 Nanomètre.

#### d. expression des résultats

Le résultat est donné directement en mg/l.

### 4.5.4 L'azote Ammoniacal $\text{NH}_4^+$

#### a. Principe

L'azote Ammoniacal ou ( $\text{NH}_4^+$ ) provient de dégradation des protéines animales. Les effluents domestiques (urée) représentent la plus importante source de pollution. L'azote ammoniacal peut aussi provenir de ruissèlements urbains, de l'agriculture (engrais) ou de l'industrie (pharmaceutique alimentaire, pâtes à papier, textiles). La biodégradation et l'auto épuration étant ralenties en hiver, et presque nulle en deçà de 5°C, l'azote ammoniacal remonte en hiver, de même il subit des variations au printemps et en été avec l'activité du phytoplancton qui peut se trouver dans les eaux.

#### b. Réactifs

##### Réactif I

- Acide dichloroisocyanurique.....2 g
- Hydroxyde de sodium.....32g
- H<sub>2</sub>O distillé.

##### Réactif II

- Trictrate de sodium .....130 g
- Salicylate de sodium .....130 g
- Nitropruciate de sodium.....0,97g
- H<sub>2</sub>O distillé..... 1000 ml

#### c. Mode opératoire

- Prendre 40ml d'eau à analyser.
- Ajouter 4ml du **réactif I**
- Ajouter 4ml du **réactif II** et ajuster à 50 ml avec H<sub>2</sub>O distillée et attendre 1h.30.



L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de :  $\text{NH}_4^+$  ; effectuer la lecture à 655 nanomètre.

**d. expression des résultats**

Le résultat est donné directement en mg/l.

Pour la suite des protocoles d'analyses des autres paramètres (MES, DBO, DCO .....)  
(voir annexe 2).

**4.6 Conclusion**

Toutes les méthodes utilisées pour déterminer les paramètres physico-chimiques des eaux usées sont conformes aux normes algériennes. Cependant le chapitre suivant sera consacré à la présentation des résultats d'analyses et à l'élaboration du modèle par les neurones.

## 5.1 Introduction

Rappelons que cette étude a pour objectif la construction d'un modèle de prédiction du taux des nitrates 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 16/02/2014 au 17/03/2014) dans le laboratoire d'analyses et de caractérisation des échantillons d'eau au niveau de la STEP de Guelma. En second lieu afin de prévoir la teneur en nitrates à travers les résultats des analyses, nous avons opté pour deux modèles basés sur des approches différentes : les réseaux de neurones puis, le modèle combiné réseaux de neurones avec l'analyse en composantes principales suivis de discussions et interprétations des résultats obtenus.

## 5.2 Présentation des résultats des analyses

Notre base de données provient de la station d'épuration des eaux usées de Guelma. Le Tableau 5 donne les résultats maximaux, minimaux, de quelques paramètres physico chimiques étudiés au niveau des effluents enregistrés à partir des prélèvements effectués entre janvier et Décembre 2012.

**Tableau 5 : les résultats des analyses.**

Paramètres	Eau brute				Eau traitée			
	Maximum	Moyenne	Minimum	Ecart type	Maximum	Moyenne	Minimum	Ecart type
Température (°C)	26	19,97	12,9	4,84	26,2	20,3	12,9	4,76
PH	7,8	7,65	7,5	0,12	7,4	7,23	7,1	0,11
CE (milli siemens)	1,5	1,24	1,03	0,15	1,4	1,16	1,01	0,12
MES (mg/L)	446	351,5	164	71,94	15	10,08	5,5	2,74
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	280	228,25	122	38,85	18,5	10,04	5	3,82
DCO (mg/L)	503	449,69	288	54,83	53	34,5	19	10,26
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	50	40,98	34	4,29	4	1,86	0,8	1,02
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	7	2,6	0,1	1,94	1,5	0,69	0,1	0,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	7	4,1	1,2	1,76	16	13,25	11	1,9
OPO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	2,4	1,5	0,7	0,54	1,5	0,6	0,2	0,37

### 5.2.1 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.

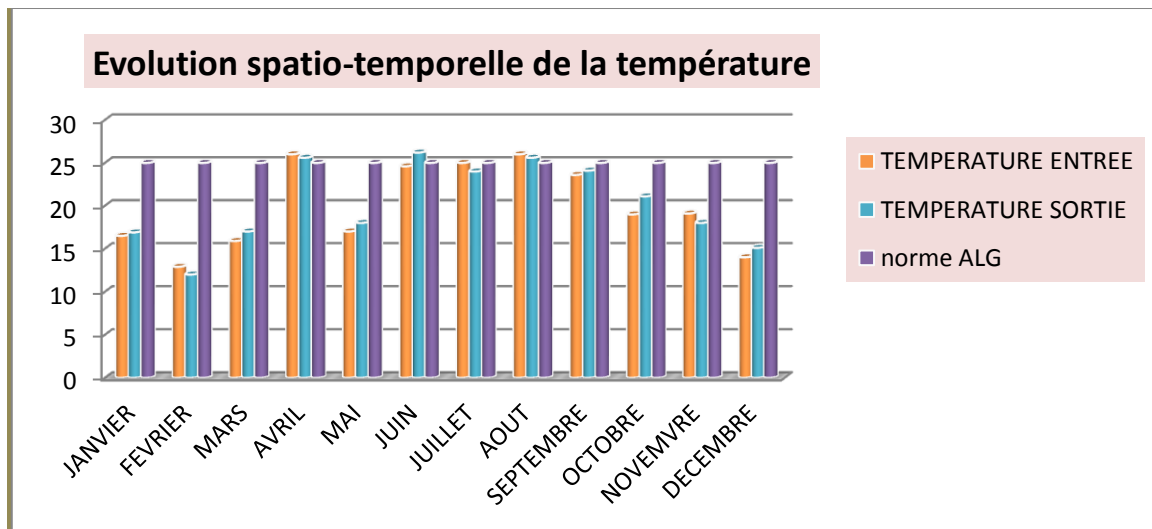


Figure 24: Evolution spatio-temporelle de la température de la STEP de Guelma.

### 5.2.2 Potentiel d'hydrogène (pH)

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

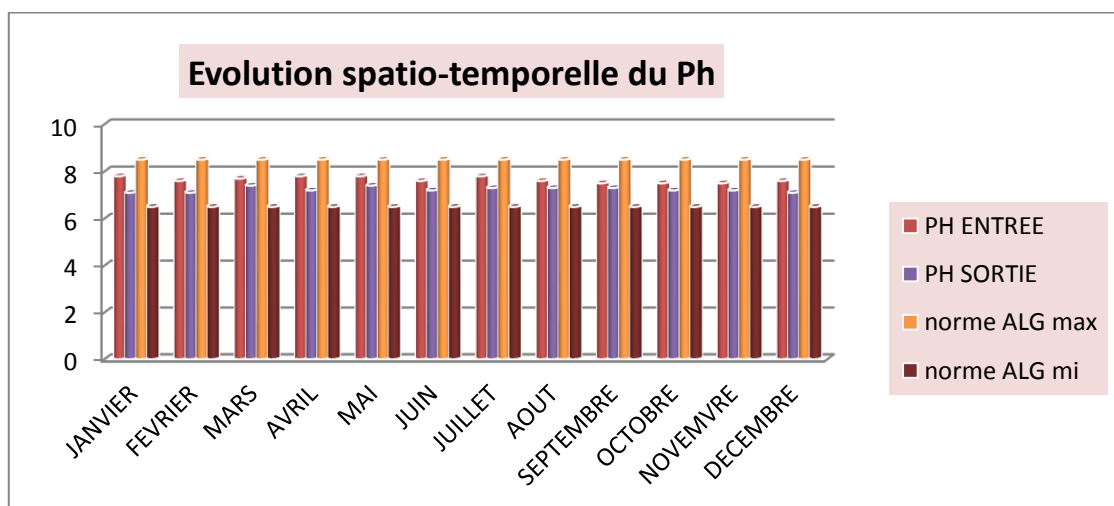
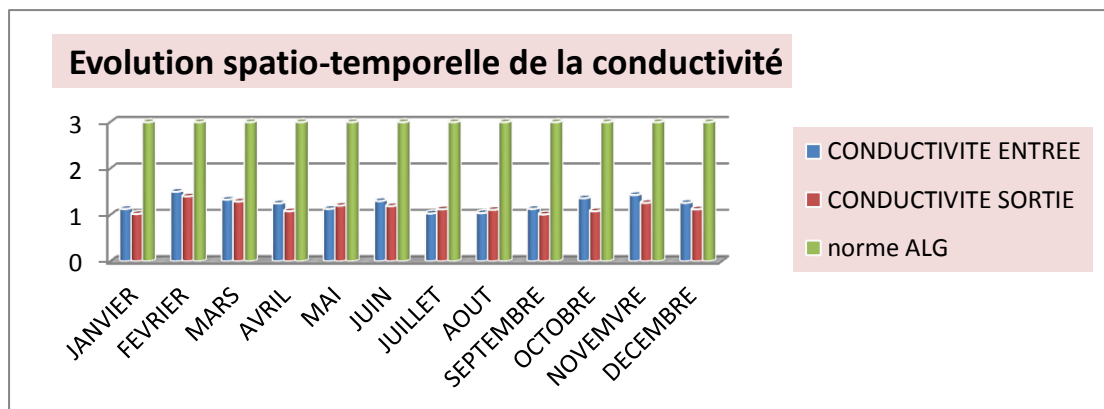


Figure 25 : Evolution spatio-temporelle du Ph de la STEP de Guelma.

### 5.2.3 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.

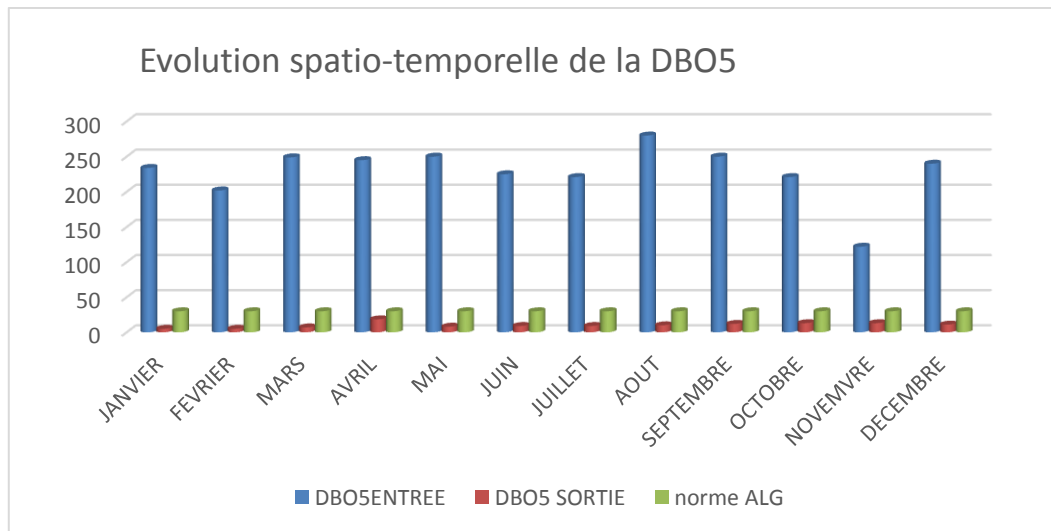


**Figure 26: Evolution spatio-temporelle de la conductivité électrique de la STEP de Guelma.**

Les teneurs en conductivité enregistrées au niveau des eaux étudiées, sont comprises entre 1,03 mSi et 1,5 mSi à l'entrée, et entre 1,01 mSi et 1,4 mSi à la sortie qui sont inférieures à 3 mSi. [7]

### 5.2.4 La Demande biochimique en Oxygène (DBO5)

La Demande biochimique en Oxygène  $DBO_5$  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.



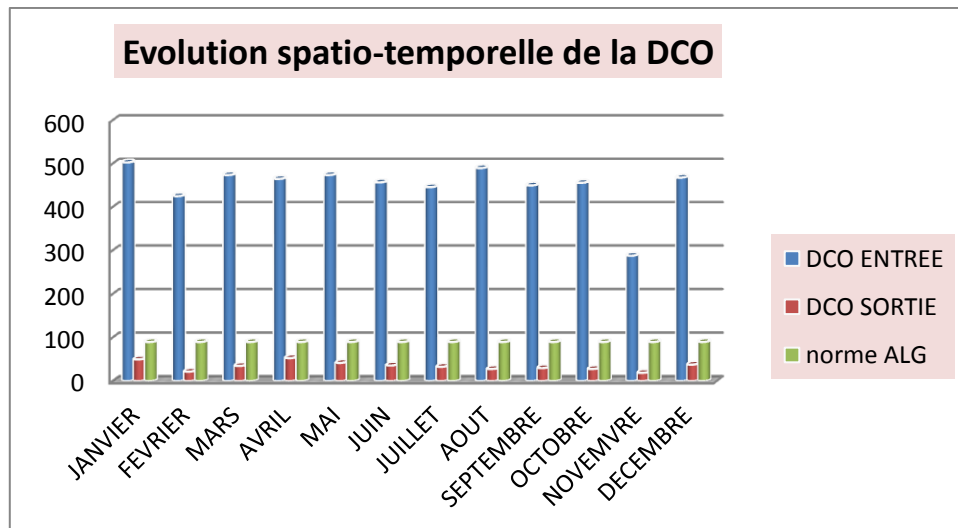
**Figure 27: Evolution spatio-temporelle de la DBO<sub>5</sub> de la STEP de Guelma.**

La figure 27 montre une augmentation de la DBO<sub>5</sub> des eaux à l'entrée. En effet les valeurs moyennes de DBO<sub>5</sub> varient entre 122 mg/l et 280 mg/l, cette augmentation est due à la charge de la matière organique et les substances nutritives dans les effluents.

Après épuration les teneurs diminuent de façon remarquable, elles sont comprises entre 5 mg/l et 18.5mg/l inférieures à 30 mg/l. Cette baisse de concentration est due à la consommation d'oxygène par les micro-organismes pour la dégradation de la matière organique.

### 5.2.5 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).

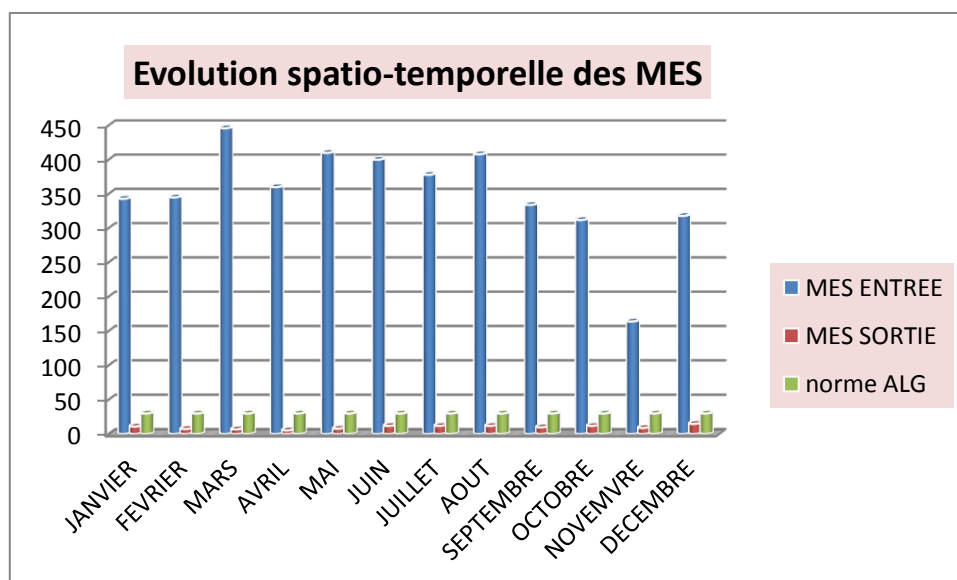


**Figure 28: Evolution spatio-temporelle de la DCO de la STEP de Guelma.**

Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées sont comprises entre 288 mg/l et 503 mg/l à l'entrée et cela probablement du à la surcharge des effluents par la matière organique et minérale. L'évolution de ce paramètre après épuration marque une chute des valeurs comprises entre 19 mg/l et 53 mg/l largement inférieure à 90 mg/l, celle-ci est causée d'une part par l'élimination de la matière minérale lors des procédés de prétraitement et d'autre part de la dégradation de la matière organique par les microorganismes. La grille des normes algériennes permet alors de classer ces eaux d'excellente qualité. [7]

### 5.2.6 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 29 : Evolution spatio-temporelle des 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 446 mg/l à l'entrée et 5,5 mg/l à la sortie.

Par ailleurs, la comparaison des valeurs des MES dans la station d'épuration de la ville de Guelma par rapport aux normes algériennes du rejet naturel ; fixé à 30 mg/l place ces eaux dans de très bonne grille. [7]

### 5.2.7 L'Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )

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 0,1 mg/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.

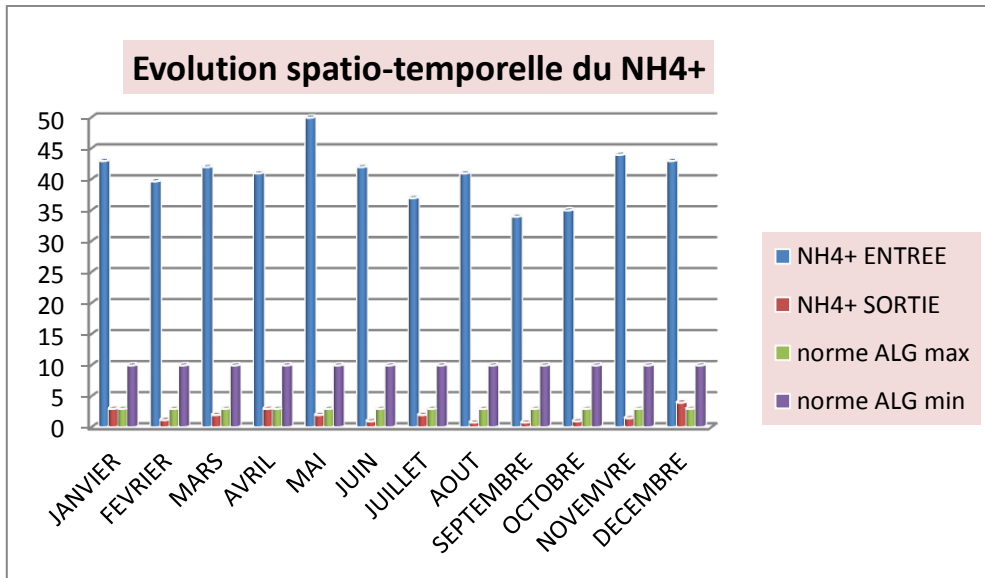


Figure 30: Evolution spatio-temporelle de l'ammonium de la STEP de Guelma.

L'analyse du profil de l'ammonium montre que les teneurs varient entre 34mg/l et 50mg/l à l'entrée, traduisent 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 0.8 mg/L et 3 mg/L. Normes Algériennes (3-10 mg/l). [7]

### 5.2.8 Les Nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

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.

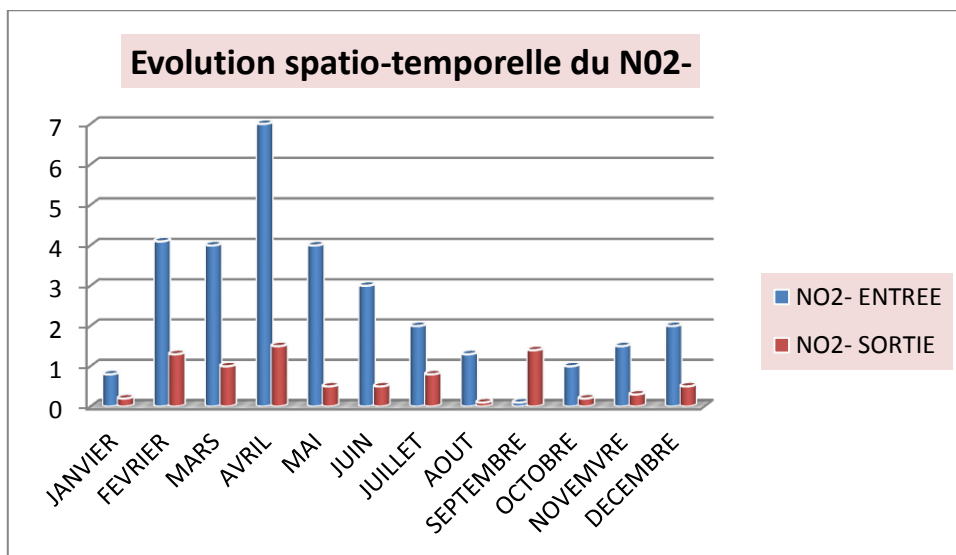


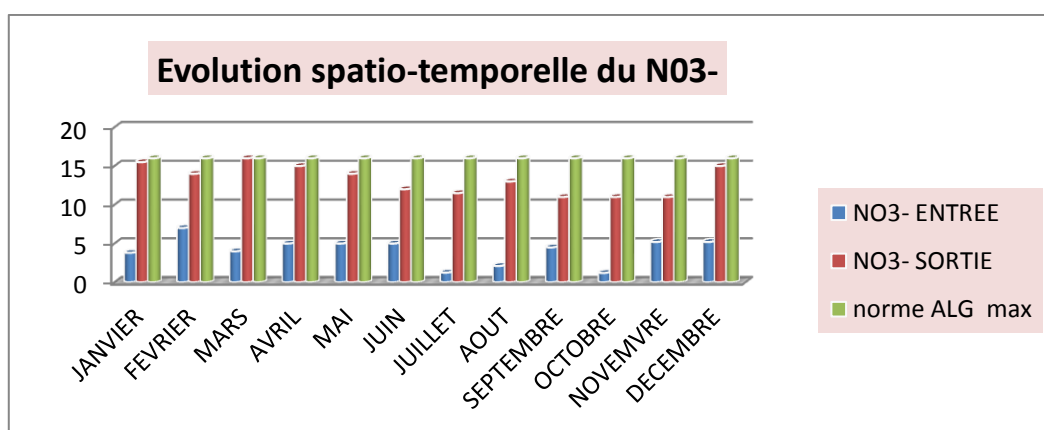
Figure 31: Evolution spatio-temporelle des Nitrites de la STEP de Guelma.



Les concentrations des nitrites sont très faibles et elles varient entre 0,1 mg/L et 1.5 mg/L. 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 ( $\text{NO}_2^-$ ) 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.

### 5.2.9 Les Nitrates $\text{NO}_3^-$

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.

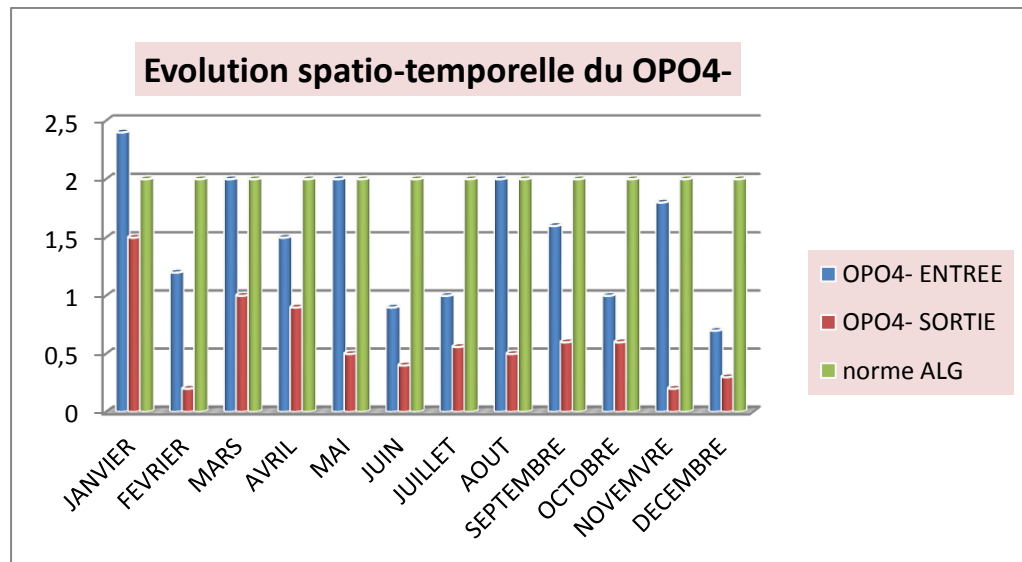


**Figure 32 : Evolution des Nitrates de la STEP de Guelma.**

Les concentrations des nitrates oscillent entre 1.2 mg/L et 7 mg/L à l'entrée, à la sortie de la station et contrairement à l'entrée (voir figure 32), les concentrations atteignent leur maximum et oscillent entre 11mg/l et 16 mg/l, ce qui est dû au phénomène de Nitrification sous l'action des micro-organismes.

### 5.2.10 L'orthophosphates ( $\text{OPO}_4^-$ )

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 33: Evolution des orthophosphates de la STEP de Guelma.**

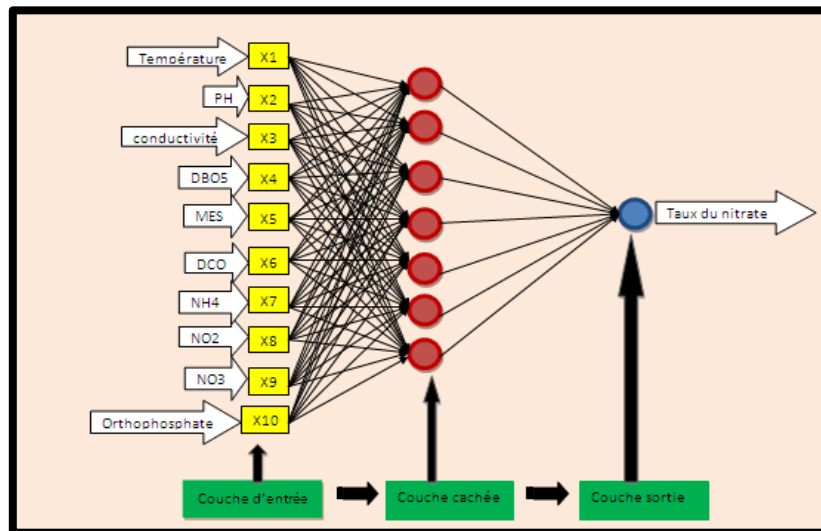
L'analyse des résultats (figure 33) montre que la concentration en orthophosphates dans les eaux usées de la station de Guelma varie entre 0.7 mg/l et 2.4 mg/l à l'entrée et entre 0.2 mg/l et 1.5 mg/l à la sortie, ces concentrations sont inférieures à la norme algérienne fixée à 2 mg/l. [7]

## 5.3 Présentation des modèles appliqués

### 5.3.1 Les réseaux de neurones

Dans la construction du modèle, nous considérerons une structure très particulière des réseaux de neurones, le perceptron multicouche (MPL et le RBF). Nous disposons pour cela de (10) variables dans un premier temps : la température, le ph, la conductivité, la DBO5, la DCO, les MES, NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> et les orthophosphates).

## ➤ la construction d'un modèle appliqué (réseaux de neurones)



**Schéma 2 : Présentation du modèle avec les paramètres d'entrées.**

Ce 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.

### 5.3.2 Analyse en composantes principales (ACP)

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physicochimiques et de réduire le nombre des variables d'entrée des réseaux de neurones, nous avons effectué un traitement statistique ACP (Analyse en Composantes Principales) sur l'ensemble des paramètres physicochimiques entre Janvier et Décembre 2012.

Ainsi pour le traitement des données par l'analyse en composantes principales, nous avons utilisé 10 variables : la température  $T^{\circ}\text{C}$ , le pH, la conductivité électrique, les nitrates, l'ammonium, les Orthophosphates et la DBO5, la DCO et comme individus les 12 prélèvements effectués entre Janvier et Décembre 2012.

L'ACP appliquée à 10 variables mesurées au niveau de la STEP a permis d'obtenir 3 composantes principales. Des corrélations positives ont été observées entre la conductivité électrique et les paramètres que sont les nitrates (0.599),  $\text{OPO}_4^-$  (0.348). On note aussi une corrélation positive entre le pH et les paramètres physicochimiques la conductivité (0.511), les nitrates (0.485). Des corrélations positives ont été observées également entre la

température et les paramètres : les nitrites (0.554), les matières en suspensions (0.328). Et une corrélation forte et positive entre la demande chimique en oxygène et orthophosphates (0.681)

**Tableau 6 : Matrice de Corrélation intermédiaire.**

Variables	Ph	T°	CE	DBO5	DCO	MES	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	OPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
pH	1									
T°	0,108	1								
CE	0,511	-0,264	1							
DBO5	-0,092	-0,171	0,062	1						
DCO	-0,404	-0,053	0,236	0,260	1					
MES	-0,764	0,328	-0,629	-0,242	0,067	1				
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,485	-0,090	0,599	0,217	0,122	-0,340	1			
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,392	0,554	-0,458	-0,063	0,054	0,436	-0,516	1		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,420	-0,454	-0,306	0,225	-0,115	0,250	-0,103	0,130	1	
OPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-0,142	-0,142	0,348	0,306	0,681	-0,014	0,426	-0,417	0,085	1

➤ **Dans le plan factoriel F<sub>1</sub> \* F<sub>2</sub>**

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 56,30 % sont exprimés. L'axe F1 possède une variance de 33,96 % est déterminé par le Ph, la conductivité électrique, les nitrates, les nitrites et les matières en suspensions (Tableau 7 et Figure 34). L'axe F2 a une variance égale à 22.34 % et est constitué par le DCO, DBO5 et les orthophosphates.

Selon l'axe F<sub>1</sub>, les eaux sont d'une part fortement minéralisées riches en nitrates, une forte conductivité et d'autre part il s'oppose aux nitrites. Cet axe définit alors un gradient de minéralisation.

Quand à l'axe F<sub>2</sub>, il définit l'axe de la pollution par les particules organiques.

Tableau 7 : Corrélations entre les variables et les facteurs.

	F1	F2
Ph	0,681	-0,667
T°	-0,364	-0,394
CE	0,842	-0,005
DBO5	0,233	0,493
DCO	0,137	0,719
MES	-0,784	0,283
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,753	0,096
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-0,755	-0,094
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,283	0,486
OPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,432	0,735

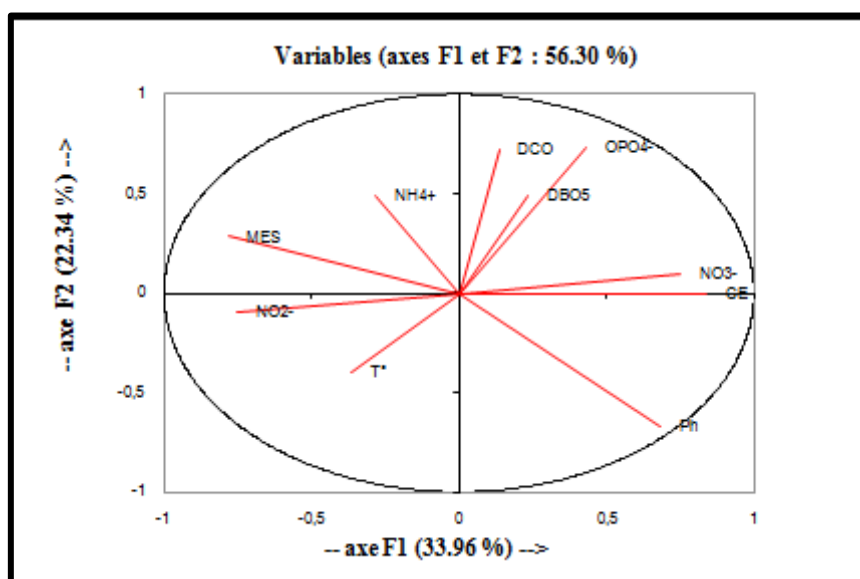


Figure 34: Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.

L'ACP est donc un outil qui offre la possibilité de simplifier l'étude des milieux aquatiques et d'en alléger les coûts par la réduction du nombre de variables à prendre en compte. Nous avons montré au cours de cette étude qu'il est possible, dans la perspective de création d'un outil de gestion, de simplifier le modèle de réseau de neurones initialement construit à partir de 10 variables pour le ramener à la mesure de 4 variables relativement simple et moins onéreux (le pH, la conductivité électrique, les nitrates et les orthophosphates).

### 5.3.3 Construction du modèle combiné (RN+ACP)

Toujours dans la construction de notre modèle, on choisit le perceptron multicouche (MPL et le RBF). Nous disposons maintenant de (4) variables : le ph, la conductivité, NO<sub>3</sub> et les orthophosphates).

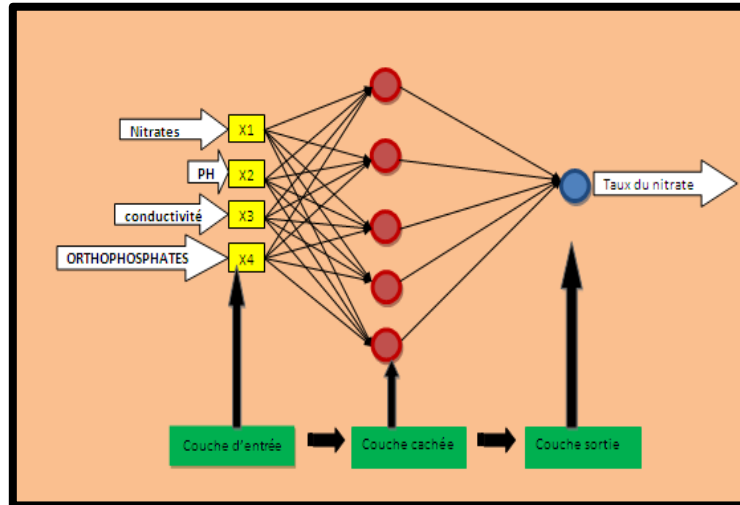


Schéma 3 : Présentation du modèle avec les paramètres d'entrées (RN+ACP).

## 5.4 Résultats et discussions

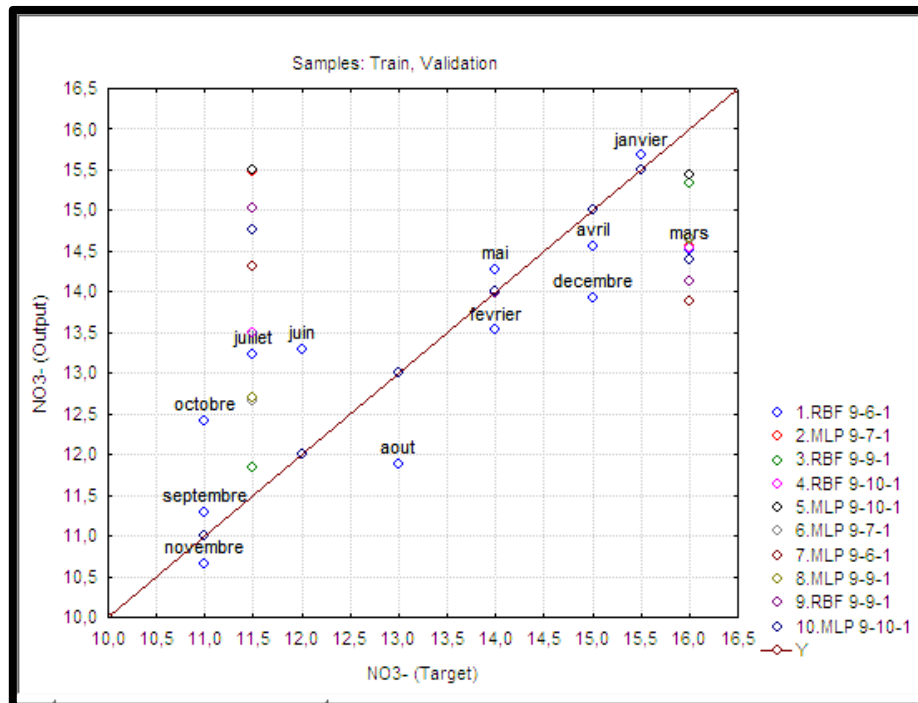
### 5.4.1 Les résultats des modèles de prédiction du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> par les RN sans ACP

Le tableau 8 regroupe les 10 modèles obtenus (4 RBF et 6 pour le MPL), et le modèle global de sortie.

**Tableau 8 : Les modèles de prédiction du taux des nitrates des réseaux de neurones sans ACP (données STEP 2012).**

Mois	Tous les modèles de prédictions du taux des nitrates des réseaux de neurones sans ACP (données STEP 2012)											
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Les valeurs de sortie du NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (prédiction par les neurones)										
	Cible	1.RBF 9-6-1	2.MPL 9-7-1	3.RBF 9-9-1	4.RBF 9-10-1	5.MPL 9-10-1	6.MPL 9-7-1	7.MPL 9-6-1	8.MPL 9-9-1	9.RBF 9-9-1	10.MP L9-9-1	l'ensem ble
<b>JAN.</b>	15,5	15,67425	15,49407	15,49996	15,5	15,49435	15,49994	15,49997	15,49993	15,50001	15,49989	15,51624
<b>FEV.</b>	14	13,52804	13,99998	14,0000	14,0	13,99998	13,99997	13,99981	13,99987	13,99414	13,99984	13,95216
<b>MAR.</b>	16	14,51437	14,55185	15,33118	14,54853	15,44226	14,6406	13,8815	14,66839	14,13162	14,39463	14,61049
<b>AV.</b>	15	14,56418	14,9999	14,99998	15	14,99996	14,99996	15,00009	15,00003	15,00071	14,99993	14,95648
<b>MAI</b>	14	14,26555	14,00012	14,0006	14	13,99994	14,00006	14,00027	14,00018	13,99995	14,00019	14,02663
<b>JUIN</b>	12	13,29969	12,00006	12	12	11,99995	12,00002	11,99988	11,99993	12,00013	11,99996	12,12996
<b>JUIL.</b>	11,5	13,23441	15,48356	11,84646	13,49995	15,49989	12,65001	14,3054	12,69161	15,03355	14,75514	13,9
<b>AOUT</b>	13	11,87557	13,00005	13	13	12,99994	12,99996	12,99993	12,99987	12,99993	12,99999	12,88752
<b>SEP.</b>	11	11,29646	11,00002	11	11	11,00392	11,00006	10,99999	11,0	10,99998	10,99994	11,02994
<b>OCT.</b>	11	12,40806	10,99996	11,0001	11,00001	11,00554	11,00015	11,00015	11,00017	11,00169	11,00024	11,1416
<b>NOV.</b>	11	10,65498	11	10,9999	11	11	11	11	11,00001	11,00198	10,99997	10,96569
<b>DEC.</b>	15	13,93321	14,999	14,9999	15	14,99995	12	14,99987	14,99994	15,00245	14,99987	14,89351

Par comparaison aux valeurs réelles de sortie des nitrates à la STEP (tableau 5) on peut affirmer que tous les modèles obtenus par les réseaux de neurones sont satisfaisants car ils ont tous un coefficient de corrélation assez proche du (1) mais avec des validations différentes (voir annexe 3 ; Tableau 11).



**Figure 35 : Modèles du taux des nitrates des réseaux de neurones sans ACP (données STEP 2012).**

La figure 35 présente tous les modèles de prédiction de la teneur en nitrates obtenus par les réseaux de neurones, ainsi on peut remarquer que toutes les valeurs prédites des mois de l'année tournent autour de la bissectrice des valeurs prédites du nitrates (OUTPUT) et des valeurs ciblées ou sortie réelles de nitrates à la STEP (Target) sauf (juillet, juin, octobre, mars); cela présente donc une bonne prédiction. Nous pouvons remarquer que les deux meilleurs modèles sont le RBF 9-10-1 et le MPL 9-9-1 (voir annexe 3 ; Tableaux 11 et 12), cependant nous avons choisi le MPL 9-9-1.



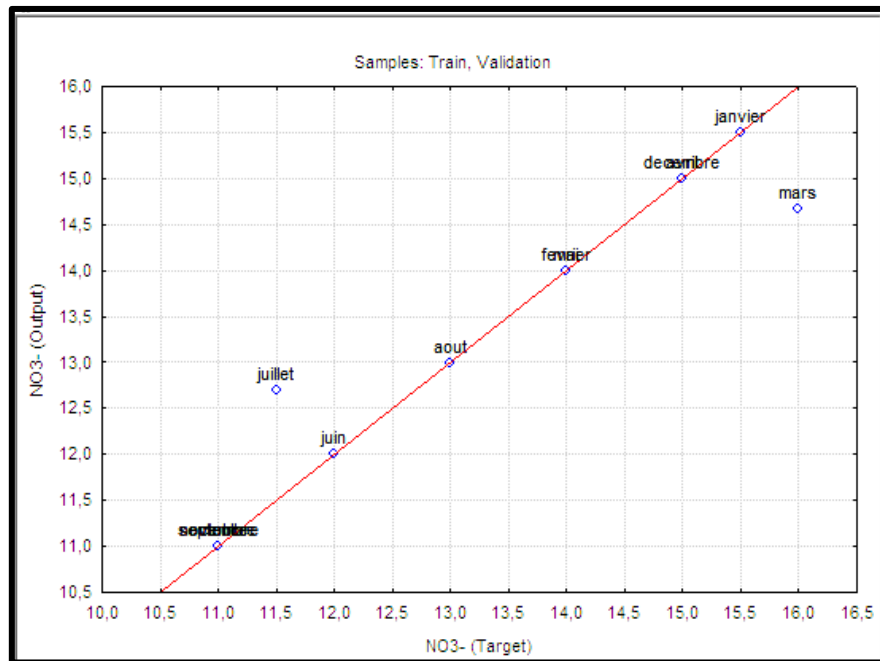


Figure 36 : Le modèle du taux des nitrates MPL 9-9-1.

Ainsi, sur ce modèle on constate donc une très bonne corrélation entre les valeurs prévues et observées, car presque tous les points sont alignés sur la bissectrice, avec une bonne prédiction des valeurs maximales pour tous les mois sauf le mois de juillet et mars qui présentent des écarts. Les coefficients de corrélations montrent que le modèle du perceptron multicouche permet une prédiction satisfaisante du taux des nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) par rapport aux autres modèles prédits (voir annexe 3 ; Tableaux 11 et 12).

#### 5.4.2 Les résultats des modèles de prédiction du $\text{NO}_3^-$ par le modèle combiné RN+ACP

Tableau 9 : Modèles de prédiction du taux des nitrates (RN+ACP) données STEP 2012.

Mois	PREDICTION DU NO3 (RN+ACP) données STEP 2012					
	CIBLE	1. RBF 3-4-1	2. MPL 3-4-1	3. MPL 3-2-1	4. MPL 3-4-1	ENSEMBLE
JANVIER	15,5	15,60042	15,04809	14,71246	15,50563	15,21665
FEVRIER	14	13,4231	13,45715	13,02229	14,00187	13,4761
MARS	16	13,91729	14,45667	13,71241	17,007	14,77334
AVRIL	15	15,5928	15,15268	15,43318	14,99287	15,29288
MAI	14	13,79347	15,09283	15,02613	14,00158	14,4785
JUIN	12	12,1544	13,50986	13,23261	12,01246	12,72733
JUILLET	11,5	17,76784	15,17954	15,79785	10,29608	14,76033
AOUT	13	12,91574	12,88942	12,3376	12,99222	12,78375
SEPTEMBRE	11	10,92481	10,91011	11,32384	11,00569	11,04111
OCTOBRE	11	11,91271	11,40383	11,82302	10,99595	11,53388
NOVEMBRE	11	12,37725	10,95037	11,2044	10,99779	11,38245
DECEMBRE	15	12,80530	13,57882	13,38446	14,99338	13,69049

Comparativement au modèle de réseau de neurones simple les valeurs de prédictions du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> du modèle combiné sont des valeurs similaires car toujours tous les mois s'alignent presque sur la bissectrice sauf (juillet, décembre, mars) d'après l'observation des tendances et les corrélations sur la figure 37 ci-dessous :

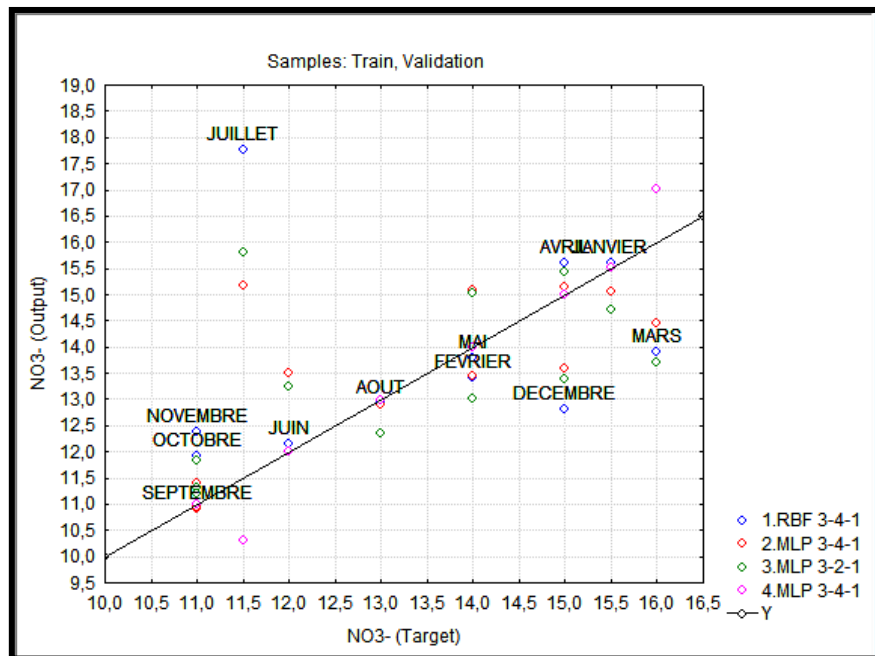


Figure 37 : les modèles (RN+ACP) données STEP 2012.

On remarque que le seul modèle qui a validé le test est le MPL 3-4-1 (voir annexe 3 ; Tableaux 13 et 14).

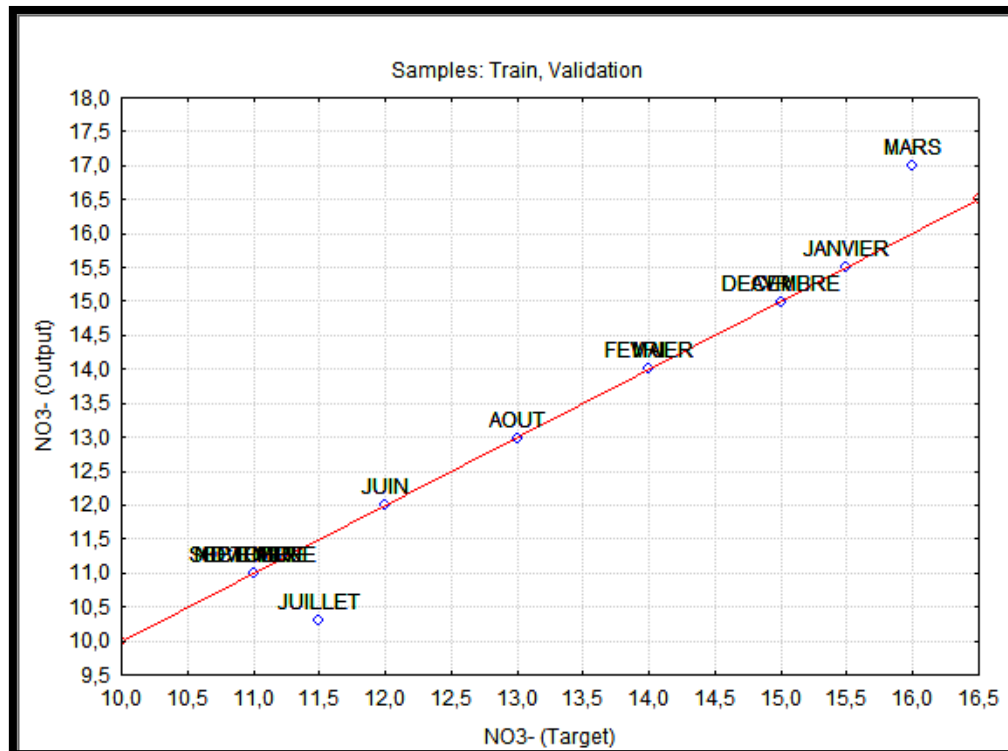


Figure 38 : Le modèle du taux des nitrates MPL 3-4-1.

On remarque aussi des similitudes entre ce dernier modèle combiné MPL 3-4-1 et le modèle du MPL 9-9-1, car toujours seuls les mois mars, juillet présentent toujours un petit écart vis-à-vis de la bissectrice. Mais les valeurs prédites pour ces deux mois sont acceptables par rapport au modèle du MPL 9-9-1. (Voir annexe 3 ; Tableaux 12 et 14).

## 5.5 Conclusion

Les résultats obtenus par analyse au laboratoire sur les différents paramètres physico-chimiques des eaux usées démontrent la conformité par rapport aux normes algériennes et la diminution de la concentration de l'ensemble de ces paramètres de l'entrée vers la sortie sauf les nitrates (phénomène de nitrification); qui croissent de l'entrée vers la sortie, ainsi nous avons utilisé deux techniques pour réaliser des prédictions de la teneur en nitrates : le modèle de réseau de neurones simple et le modèle combiné avec l'ACP qui ont conduit à des résultats presque identiques jugés très satisfaisants.

## Conclusion générale

Nous avons tenté à travers ce projet:

1. De présenter un schéma général sur le neurone et l'ensemble des réseaux et en montrant l'utilité de ces derniers pour la modélisation des phénomènes à régression non linéaire.
2. nous nous sommes ensuite penchés sur l'étude des différentes techniques existantes pour assainir l'eau et tous les paramètres physico-chimiques pouvant caractériser une eau résiduaire, en mettant l'accent sur la transformation des nitrates qui résulte de la transformation de l'ammoniac en présence des micro-organismes dans le bassin biologique(bassin d'aération) et cela suivant le cycle de l'azote.
3. Ainsi pour parvenir à notre objectif, nous avons tout d'abord choisi de regrouper un ensemble de données (température, PH, NH<sub>4</sub>, DBO<sub>5</sub>, DCO etc.) pour construire un premier modèle de réseau de neurones simple puis à l'aide d'une analyse en composantes principales (ACP), nous avons construit un second modèle combiné (RN+ACP)
4. Et à la lumière de nos deux modèles de prédictions, nous avons constaté que le modèle combiné avec l'ACP a été un moyen de validation du modèle simple de réseau de neurones, car son modèle est presque identique au modèle simple à la différence des mois de juillet et de mars qui présentent des écarts par rapport à la bissectrice cela peut être expliqué par des erreurs liées aux données (faute de lecture, erreurs de dosage dans les analyses).
5. On conclut que notre modèle de prédiction adéquat de la teneur en nitrates est le MPL 3-4-1 du modèle neuronal combiné car il arrive à prévoir durant une année 10 sur 12 mois avec de bonnes corrélations entre les valeurs prévues et observées.

## Les perspectives

Certains volets en guise de recommandations peuvent être explorés :

- ✚ comme l'optimisation de la consommation d'énergie des aérateurs : car en absence de zone d'anoxie le suivi du phénomène de nitrification se fait à l'aide d'un contrôle permanent de la vitesse d'aération (ici à Guelma), le modèle permettra donc de jouer sur le cout de l'énergie (et cela est bénéfique pour le traitement des graisses)
- ✚ Pour une extension future de la STEP : vu la croissance des industries (eaux usées industrielles) au lieu de passer un contrôle permanent du traitement effectué au niveau

de chaque industrie, en effet un modèle de prédiction de la teneur en nitrates permettra d'établir les sorties de nitrates au niveau de chaque industrie.

- ✚ l'optimisation de la dose du coagulant : l'essai Jar-Test a l'inconvénient d'avoir un temps de réponse relativement long car, on ne modifie la dose de coagulant qu'une fois l'événement apparut. Par simple apprentissage les neurones peuvent optimiser la dose du coagulant (ceci est applicable dans le traitement de l'eau potable).

En grosso modo les neurones sont une nouvelle technique de modélisation qui ne sont qu'à leurs débuts vis-à-vis de leur aptitude à s'adapter à n'importe quels domaines : médecine, hydraulique, télécommunication, génie chimique...

## Annexe 1

### 1.1 Le préleveur automatique

Les préleveurs automatiques sont placés à l'entrée et à la sortie de la station d'épuration, et ils doivent respecter les critères d'implantations suivants :

1. Le préleveur doit être positionné le plus proche possible du point de prélèvement ;
2. La hauteur d'aspiration doit être la plus faible possible, mais toujours positive (le préleveur placé au-dessus de l'écoulement,
3. Le tuyau de prélèvement doit présenter une pente toujours ascendante sans point bas au siphon
4. L'emploi d'une crépine est à proscrire, le diamètre du tuyau sera compris entre 8 et 15 mm (vitesse entre 0,5 et 0,8 m/s)
5. Le préleveur doit être protégé des intempéries et à l'abri du soleil.

### 1.2 Le prélèvement manuel

A l'absence d'un préleveur automatique, le prélèvement est effectué au moyen de flacon ou récipient à l'aide d'une chainette ou d'une corde manuellement.

### 1.3 Types d'échantillons

On distingue deux types d'échantillons :

➤ **Echantillon ponctuel**

Echantillon prélevé de façon manuelle ou automatique, ou l'ensemble du volume constituant l'échantillon est prélevé en une seule fois,

➤ **Echantillon composite**

Echantillon est préparé par mélange de plusieurs échantillons ponctuels, ou par prélèvement d'une fraction continue de l'effluent résiduaire.

## Annexe 2

### 2.1 Les matières en suspension MES

La mesure des MES permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire.

#### a. Principe d'analyse

On évalue le poids sec des résidus, obtenu par filtration de l'échantillon d'eau après passage à l'étuve à 105 °C.

#### b. Matériels

- Dispositif de filtration (trompe à eau, fiole et entonnoir de filtration).
- Disque filtrant en fibre.
- Etuve à 105°C.
- dessiccateur.
- Balance de précision.

#### c. Protocole opératoire

##### 1. Préparation des filtres

On lave les filtres avec de l'eau distillée, et après on les sèche à l'étuve (pendant 1 heure à 105 °C), ensuite on les place en attente dans le dessiccateur.

##### 2. La méthode

- On prend le filtre et on le pèse et on marque le poids comme  $M_0$  mg.
- Ensuite on place le disque dans l'appareil de filtration et on met le système d'aspiration.
- On verse progressivement le volume d'eau (1000ml) à analyser sur le disque filtrant.
- On met le disque dans l'étuve pendant 1 heure à 105°C.
- On laisse le filtre refroidir au dessiccateur.
- Après on pèse le filtre et on marque le poids comme  $M_1$ .

##### 3. Résultat

La lecture se fait comme suit :

$$\text{MES} = \frac{M_1 - M_0}{1000} (\text{mg/l})$$



**Figure 39: Etuve à 105 °C**

## 2.2 La conductivité électrique

Toute eau est plus ou moins conductrice du courant électrique, elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ. Elle dépend de la nature de ces ions et de leur concentration.

La conductivité électrique d'une eau augmente avec la température, car la mobilité des ions augmente avec elle.

Donc la conductivité est la capacité de l'eau à conduire le courant. Elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau, c'est-à-dire qu'elle traduit la présence d'ions dans l'eau brute.

### ➤ Principe

La mesure est basée sur le principe de pont de Wheatstone en utilisant comme appareil de zéro un galvanomètre en image cathodique.

### ➤ Appareillage

- conductimètre à électrode.
- Récipient contient l'eau à examiner.

### ➤ Mode opératoire

- Rincer plusieurs fois l'électrode de l'appareil d'abord avec de l'eau distillée.
- Plonger l'électrode dans le récipient qui contient l'eau à examiner en prenant soin que l'électrode soit complètement immerger.





**Figure 40: Conductimètre utilisé.**

### 2.3 Détermination du pH

#### ➤ Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution.

Le Potentiel d'hydrogène a une échelle de valeur allant de 0 à 14 et utilisé pour mesurer le degré d'acidité. L'eau pure dite neutre a un pH égal à 7. Le pH suit un cycle circadien : maxima le jour, minima la nuit. Il est en général plus élevé l'hiver et diminue l'été.

Le pH est un facteur physique qui participe au même titre que la conductivité, l'alcalinité, la température à la répartition des organismes dans les écosystèmes aquatiques. Ainsi pour une reproduction piscicole acceptable, le pH doit être compris entre 6.5 et 8.5.

#### ➤ Intérêt de la mesure du pH

Le pH de l'eau traitée rejetée dans le milieu naturel va influencer la vie de la faune et de la flore de ce milieu.

#### ➤ Appareillage

- pH mètre à électrode.
- Récipient contient l'eau à analyser.

#### ➤ Mode opératoire

- Rincer l'électrode d'abord avec de l'eau distillée.
- Immerger l'électrode dans l'échantillon.
- Faire la lecture après la stabilisation de pH au pH mètre.



**Figure 41: PH-mètre à électrodes.**

## 2.4 La demande biochimique en oxygène DBO

La demande biochimique en oxygène exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les microorganismes du milieu. Il s'agit d'un paramètre mesurant une oxydation biologique des matières organiques qui fait intervenir des réactions enzymatiques complexes intra et extracellulaires. Il s'agit donc d'une consommation partielle de dioxygène par voie biologique.

Ce paramètre désigne un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau au cours des procédés d'autoépuration.

### ➤ Principe d'analyse

La DBO est mesurée au bout de 5 jours à 20 C° (T° favorable à l'activité des microorganismes consommateurs d'oxygène) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Deux échantillons sont nécessaires ; le 1<sup>er</sup> sert à la mesure de la concentration initiale en O<sub>2</sub>, le second échantillon sera conservé 5 jours l'obscurité et à 20 C°. La DBO<sub>5</sub> est la différence entre les deux concentrations. En effet une eau abandonnée à elle-même dans un flacon fermé consommera rapidement le dioxygène dissous. L'eau pure ne consomme effectivement pas d'oxygène.

### ➤ Matériel

- Oxymètre
- Agitateur magnétique

- Aérateur
- Flacon
- Eau ultra pure pour la dilution.

➤ **Protocole opératoire**

**1. Préparation de l'eau de dilution**

Mettre la veille du prélèvement, dans un récipient de 10 l de l'eau de robinet dans laquelle on plonge pendant 24h un aérateur pour la saturation en O<sub>2</sub> laisser reposer 12h. Le facteur de dilution pour une eau usée et de 50 à 100 (DBO moyen=300mg/l pour un effluent domestique).

**2. Préparation de flacons de mesure**

- Verser dans le flacon un peu d'eau de dilution puis la quantité prévue d'échantillon puis remplir le reste du flacon avec de l'eau de dilution.
- Fermer le flacon sans y laisser d'air pénétrer.
- Faire ainsi deux flacons identiques.

**3. Mesure de temps**

Doser l'O<sub>2</sub> dissous dans un flacon d'échantillon dilué (T° en mg/l)

**4. Incubation**

Placer les deux flacons restant à l'étuve 20 C° et à l'obscurité pendant 5 jours.

**5. mesure au temps 5 jours**

Doser l'O<sub>2</sub> dans le flacon d'échantillon dilué pendant (T5 en mg/l).

**6. Résultats**

La lecture se fait comme suit :

$$DBO = F (OD_i - OD_f)$$

Avec : OD<sub>i</sub> : Oxygène dissous initiale.

OD<sub>f</sub> : Oxygène dissous final.

F : Facteur de dilution



Figure 42: Installation pour mesurer la DBO<sub>5</sub>

## 2.5 La demande chimique en oxygène DCO

La demande chimique en oxygène qui correspond à la quantité d'oxygène (en milligramme) qui a été consommée par voie chimique pour oxyder l'ensemble des matières oxydables présentes dans l'eau. La DCO est particulièrement indiquée pour mesurer la pollution d'un effluent industriel.

### 1. Principe

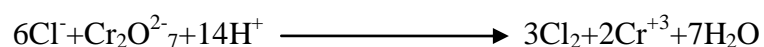
Cette détermination comprend deux étapes :

- ❖ **Etape 1** Oxydation chimique de matières réductrices contenues dans l'eau, par excès de dichromate de potassium.

Cette oxydation se réalise en milieu sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), en présence de la sulfate d'argent (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) à ébullition à reflux pendant 2 heures dans un ballon ou dans un tube muni d'un réfrigérant.

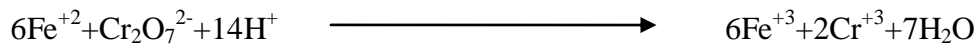
Les conditions d'oxydation à chaud et à milieu sulfurique permettant d'oxyder de nombreux constituants organiques, et elles permettent aussi l'oxydation de constituants minéraux réduits comme les sulfures, les sulfites, chlorures ...etc.

Dans le cas chlorures :



- ❖ **Etape 2** Dosage de l'excès de dichromate de potassium par le sel de Mohr après refroidissement.

La fin du dosage est détectée par la ferroïne indicateur redox. Sa forme oxydée est de couleur bleu-vert en présence de l'oxydant et la première goutte de sel de mohr en excès entraîne un changement de coloration de la ferroïne qui devient rouge brique (forme réduite). Selon la réaction suivante :



## 2. Domaine d'application

Cette norme est applicable pour toutes les eaux dont la DCO est supérieure à 30mg/l et la valeur maximale de la DCO pouvant être déterminée dans les conditions de la norme et sans dilution est de 700mg/l.

## 3. Matériels

- Réacteur DCO
- Flacon DCO+ réfrigérant
- Pipettes : 5ml, 10ml
- Pipeteur.

## 4. Mode opératoire

### 1. Etalonnage de la solution de sel de mohr à environ 0.12mol/l

La solution de sel de mohr s'oxyde facilement d'où la nécessité de la titrer quotidiennement.

- Prélever 5ml de solution de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  à 0.4mol/l et diluer à 100ml avec  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à 4mol/l.
- Titrer avec la solution de sel de mohr en présence de 2 à 3 gouttes de ferroïne.
- Déterminer la concentration molaire du sel du mohr à partir des équations des réactions.

### 2. Préparation de l'essai

Avant de prélèvement de la prise d'essai, l'échantillon doit être soigneusement homogénéisé par agitation du flacon.

- Dans un tube à fond plat de DCO introduire.
- 10ml d'eau à analyser
- 5ml d  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

- Si la valeur de la DCO est supposée excéder 700mg/l, procéder à une dilution de manière à obtenir une valeur comprise entre 350 et 700mg/l.
- Ajouter quelques granules régulateurs d'ébullition et homogénéiser.
- Ajouter lentement et avec précaution 15ml d'acide sulfurique-sulfate d'argent en agitant soigneusement le tube et en le refroidissant sous un courant d'eau froid ou dans un bain de glace de façon à éviter toute perte de substance organique volatiles .

### 3. Expression des résultats

La demande chimique en oxygène DCO exprimé en mg d'O<sub>2</sub>/l, est donnée par la formule de la norme :

$$DCO = - \frac{8000 \cdot C_{fe} (V_t - V_e)}{E}$$

C<sub>fe</sub> : c'est la concentration exprimée en moles par litre de la solution de sel de mohr déterminée par étalonnage.

E : volume prise d'essai en ml.



Figure 43: Réacteur DCO

## 2.6 Orthophosphates OPO<sub>4</sub><sup>-</sup>

### a) 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 en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700nm, l'autre plus importante à 880 nm.

Appareillage, Spectrophotomètre UV-Visible

### b) Réactifs

#### Réactif mixte

Heptamolybdate d'ammonium.....13g      A  
Eau distillée.....100ml

Tartrate d'antimoine.....0,35g      B  
Eau distillée .....100ml

Acide sulfurique pur.....150ml      C  
Eau distillé .....150ml

(A+B)+C → 500ml d'eau distillée

#### Acide ascorbique à 10%

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

#### Solution mère à 50mg/l $\text{PO}_4^{3-}$

Solution fille à 2mg/l  $\text{PO}_4^{3-}$

**Tableau 10 : La courbe d'étalonnage**

N° fiole	0	1	2	3	4	5
File à 25mg/l P	0	0,3	0,6	1,2	2,4	4,8
40ml eau distillée	40	40	40	40	40	40
[c] P	0,0	0,015	0,03	0,06	0,120	0,240
[c] en $\text{PO}_4^{3-}$	0,0	0,0459	0,0918	0,1836	0,3672	0,7340
Acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif mélangé (ml)	2	2	2	2	2	2
<b>Attendre 10mn</b>						

### c) Mode opératoire

- 40ml d'eau à analyser
- 1ml acide ascorbique
- 2ml du réactif mixte
- Attendre 10mn pour le développement de la couleur bleue

- Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880nm.  
Le résultat est donné directement en mg/l.



## Annexe 3

## 3.1 Tableau 11 : Coefficients de corrélation du modèle RN sans ACP

LES MODELES DE PREDICTIONS DU NO <sub>3</sub> -	Les coefficients de corrélation de tous les modèles de prédiction du taux des nitrates par le réseau de neurones sans ACP (données STEP 2012)	
	NO <sub>3</sub> - test	NO <sub>3</sub> - validation
1.RBF 9-6-1	0,875258	1
2.MLP 9-7-1	1	-1
3.RBF 9-9-1	1	1
4.RBF 9-10-1	1	1
5 .MLP 9-10-1	0,99999	-1
6. MLP 9-7-1	1	1
7.MLP 9-6-1	1	-1
8.MLP 9-9-1	1	1
9.RBF 9-9-1	0,99999	-1
10.MLP 9-10-1	1	-1

## 3.2 Tableau 12 : Modèle de prédiction du taux des nitrates MPL 9-9-1

Mois	Le meilleur modèle de prédiction du taux des nitrates des réseaux de neurones sans ACP (données STEP 2012) MPL 9-9-1	
	NO <sub>3</sub> - ciblé	NO <sub>3</sub> - de sortie
JANVIER	15,5	15,49993
FEVRIER	14	13,99987
MARS	16	14,66839
AVRIL	15	15,00003
MAI	14	14,00018
JUIN	12	11,99993
JUILLET	11,5	12,69161
AOUT	13	12,99987
SEPTEMBRE	11	11,0
OCTOBRE	11	11,00017
NOVEMBRE	11	11,00001
DECEMBRE	15	14,99994

3.3 Tableau 13 : Coefficients de corrélation (RN+ACP) données STEP 2012

MOIS	COEFFICIENT DE CORRELATION (RN+ACP) données STEP 2012	
	ESSAI	VALIDATION
1. RBF 3-4-1	0,844598	-1
2. MPL 3-4-1	0,88793	-1
3. MPL 3-2-1	0,846866	-1
4. MPL 3-4-1	0,9999993	1

3.4 Tableau 14 : Modèle de prédiction combiné RN + ACP du NO<sub>3</sub><sup>-</sup> MPL 3-4-1

MOIS	MEILLEURE MODELE MPL 3-4-1 (RN+ACP) données STEP 2012	
	CIBLE	4. MPL 3-4-1
JANVIER	15,5	15,50563
FEVRIER	14	14,00187
<b>MARS</b>	<b>16</b>	<b>17,007</b>
AVRIL	15	14,99287
MAI	14	14,00158
JUIN	12	12,01246
<b>JUILLET</b>	<b>11,5</b>	<b>10,29608</b>
AOUT	13	12,99222
SEPTEMBRE	11	11,00569
OCTOBRE	11	10,99595
NOVEMBRE	11	10,99779
DECEMBRE	15	14,99338

## Annexe 4

Tableau 15 : Liste des analyses et fréquences de la STEP de Guelma

Analyses des eaux (eau brute ; eau traitée)		
paramètre	norme	Fréquence d'analyse
<b>Demande biochimique en oxygène à 5 jours (DBO<sub>5</sub>)</b>	NFT90-103	2 par semaine : EB+ET
<b>Demande chimique en oxygène(DCO)</b>	NFT90-101	5 par semaine : EB+ET
<b>Matières en suspension (MES)</b>	NFT90-105	5 par semaine : EB+ET
<b>Azote ammoniacal (N-NH<sub>4</sub>)</b>	ISO N*7150	2 par semaine : EB+ET
<b>Azote nitrique (N-NO<sub>3</sub>)</b>	NFT90-012	2 par semaine : EB+ET
<b>Azote nitreux (N-NO<sub>2</sub>)</b>	ISO N*5667	2 par semaine : EB+ET
<b>Phosphate (P-PO<sub>4</sub>)</b>	ISO N*6878	2par semaine : EB+ET
<b>PH</b>	NFT90-008	5 par semaine : EB+ET
<b>conductivité</b>	NFT 90-031	5 par semaine : EB+ET
<b>température</b>	NFT90-100	5 par semaine : EB+ET
<b>Potentiel redox RH</b>		5 par semaine : EB+ET

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DREYFUS, D., Apprentissage statique des réseaux de neurones, édition Eyrolles, septembre 2008.
- [2] BILEL, B., Systèmes neuromorphiques temps réel : contribution à l'intégration de réseaux de neurones biologiquement réalistes avec fonctions de plasticité, *Juillet 2010*
- [3] DAVALO, E., et ALL, Des réseaux de Neurones, Edition Eyrolles, Paris 1991.
- [4] COULIBALY, P., et ALL, Prévission hydrologique par les réseaux de neurones artificiels, Etat de l'art. Journal of Civil Engineering Canada n° 26, pp. 293-301, 1999.
- [5] Brigitte, V., Le guide de l'eau domestique, Edition Eyrolles, 2008.
- [6] RAYMOND, D., Le traitement des eaux, édition presses internationales Polytechnique, Paris 2010.
- [7] Journal officiel de la république algérienne. Les paramètres physico-chimiques, Article 41, 15 JUILLET 2012
- [8] CLAUDE, C., les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques, édition Ellipses, pp.123-129, février 2013
- [9] GAELLE D., et ALL, Traitement de l'azote dans les stations d'épuration des petites collectivités, document technique FNDAE n°25, (*Cemagref*) 2001.
- [10] Brochure descriptive de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma (STEP), 2003.