REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département du **G**énie **E**lectrique

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : électronique
Spécialité : électronique des systèmes embarqués

Conception et réalisation d'un système de surveillance et d'analyse de la qualité de l'eau potable base sur l'IoT

Présentés par :

MEFTAHI IMENE

Proposés et Dirigés par :

Dr. BENYEZZA HAMZA

Promotion 2024



Dédicaces

Du profond de mon cœur, je dédie ce travail a ceux qui me sont chers

A ma chère maman

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien êtres.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

A mon précieux père

Ce travail est dédié pour toi qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

Merci pour tout ce que vous avez fait pour m'amener où je suis maintenant.

À ma défunte grand-mère.

Tu as toujours voulu me voir réussir dans mes études, et c'est là que j'ai réalisé ton souhait. Combien je voulais si tu étais à mes côtés pour partager mes joies avec moi.

A toute ma famille

Mes sœurs, mon frère bien-aimé Yousef, mes grands-parents, mes oncles et mes tantes à tous ceux qui m'ont soutenu pour arriver où je suis. Merci beaucoup pour votre amour durable.

Dédicace spéciale à ma sœur Soumaya

Merci d'être à mes côtés dans mes moments difficiles, de supporter les difficultés avec moi et de tout.



Imene



Remerciement

- Tout d'abord ce travail est le résultat des années de souffrances et de scarifications et des efforts à j'ai fait des connaissances et des découvertes. Dans ce contexte je remercie ALLAH qui m'a aidé et ma donnée la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

- Tout spécialement je remercie mes parents et tous ma famille dont l'affection l'ingéniosité la patience et les encouragements de toutes qualités ont permis dans le bon sens d'avancement de mes travaux de recherches et d'études.

- À mon encadreur Dr. Benyezza qui m'a aidé à terminer mon travail avec succès. Et à tous les enseignants qui m'ont aidé tout au long de ma carrière scolaire et qui m'ont donné de connaissances.

- Je tiens également à exprimer ma gratitude envers les membres du jury qui ont accepté de me faire l'honneur de leur présence lors de ma soutenance, dans le but d'évaluer mon travail.

- Je souhaite adresser mes remerciements aussi tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail

- Enfin et surtout, je veux me remercier. Je veux me remercier de croire en moi, je veux me remercier de faire tout ce travail. Je veux me remercier de ne pas avoir de jours de congé, je veux me remercier de ne jamais démissionner, je veux me remercier d'être toujours un donateur et d'essayer de donner plus que je reçois. Je veux me remercier d'avoir essayé de faire plus de bien que de mal, je veux me remercier d'être moi en tout temps.





الملخص

الهدف من مشروعنا هو تصميم نظام ذكي واقتصادي وفعال، باستخدام الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، للمراقبة المستمرة لجودة المياه. يعتمد نهجنا على تركيب أجهزة استشعار مختلفة في خزان مياه لمراقبة العديد من مؤشرات الجودة مثل الأس الهيدروجيني والتعكر والتوصيل. ثم يتم نقل هذه البيانات إلى نظام ذكي يعتمد على الشبكات العصبية الاصطناعية لتصنيف نتائج جودة المياه. بالإضافة إلى ذلك، تتيح واجهة آلة تم تطويرها باستخدام NODE RED مراقبة جودة المياه عن بُعد، مما يوفر حلاً مبتكرًا وعمليًا لإدارة المياه.

الكلمات المفتاحية: الماء الشروب، الجودة، شبكات عصبية اصطناعية، انترنت الاشياء Jupiter notebook, Node Red

Résume

Le but de notre projet est de concevoir un système intelligent, économique et performant, utilisant l'intelligence artificielle et l'Internet des Objets (IoT), pour une surveillance continuelle de la qualité de l'eau. Notre approche repose sur l'installation de divers capteurs dans un réservoir d'eau afin de suivre plusieurs indicateurs de qualité tels que le pH, la turbidité et la conductivité. Ces données sont ensuite transmises à un système intelligent basé sur les réseaux de neurones artificiels (RNA) pour classer les résultats relatifs à la qualité de l'eau. De plus, une interface machine développée avec NODE RED permet de contrôler la qualité de l'eau à distance, offrant une solution à la fois innovante et pratique pour la gestion de l'eau.

Mots clés : Eau potable, Qualité, RNA, IoT, Jupiter notebook, Node Red.

Abstract

The aim of our project is to design an intelligent, economical and efficient system, using artificial intelligence and Internet (IoT) of Things, for continuous monitoring of water quality. Our approach is based on the installation of various sensors in a water tank to monitor several quality indicators such as pH, turbidity and conductivity. This data is then transmitted to an intelligent system based on artificial neural networks (ANN) to classify water quality results. In addition, a machine interface developed with NODE RED enables remote water quality control, offering an innovative and practical solution for water management.

Key words: Potable water, Quality, RNA, IoT, Jupiter notebook, Node Red.

Table des matières

Dédicaces II
Remerciement III
Résume IV
Liste de abréviations IX
Liste de figures XI
Liste des tableaux XIV
Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur l'eau

1. Introduction 4
2. Structure de l'eau : 4
3. Etats de l'eau 5
   3.1 Etat liquide 5
   3.2 Etat gazeux 5
   3.3 Etat solide 5
4 Cycle de l'eau 6
   4.1 Evaporation 6
   4.2 Transpiration 6
   4.3 Condensation 7
   4.4 Précipitations 7
   4.5 Ruissellement 7
   4.6 Infiltration 7
   4.7 Circulation souterraine 7
5 Sources de l'eau 8
   5.1 Eaux de mer 8
   5.2 Eaux Souterraines 8
   5.3 Eaux de surface 8
6 Propriétés de l'eau 8
7 Qualités de l'eau 9
   7.1 Définition de l'eau potable 9
   7.2 Normes de potabilités 10
      7.2.1 Définitions d'une norme 10
      7.2.2 Normes de potabilité 10
   7.3 Caractéristiques de l'eau potable 10

7.3.1 Paramètres physiques 10
7.3.2 Paramètres chimiques 12
7.3.3 Paramètres organoleptiques 16
7.3.4 Paramètres biologiques 17
8 Pollutions des eaux 17
8.1 Définitions de la pollution de l'eau 17
8.2 Types de pollution 17
8.2.1 Pollution chimique 17
8.2.2 Pollution physique 18
8.2.3 Pollution biologique 18
8.3 Conséquences de la pollution 18
9 Traitement des eaux 18
9.1 Normes de traitement 19
9.1.1 Union européenne 19
9.1.2 Organisation Mondiale de la Santé 19
9.1.3 Normes Algériennes : 19
9.2 Importance de traitement des eaux 21
9.3 Chaine de traitement 21
9.4 Etapes du traitement 22
9.4.1 Prétraitement 22
9.4.2 Pré chloration 22
9.4.3 Coagulation-Floculation 23
9.4.4 Décantation 23
9.4.5 Filtration sur sable 23
9.4.6 Désinfection 23
9.4.7 Stockage de l'eau 24
9.5 Surveillance de la qualité de l'eau 24
9.5.1 Indicateurs de qualité 24
9.5.2 Contrôle de qualité de l'eau 24
10. Conclusion 25

Chapitre II : Réseaux de neurones artificiels et IoT

1. Introduction 27
2. Intelligence artificielle 27
2.1 Définition 27
2.2 Domaines de l'intelligence artificielle 28
3 Réseaux de neurones artificiels (RNA) 29
5. Généralités sur les réseaux de neurones 31

5.1 Neurone formel (artificiel) 31
5.2 Principe du neurone artificiel 31
5.3 Caractérisation d'un RNA 32
5.4 Fonctionnement des réseaux neuronaux 32
5.4.1 Fonction d'activation 33
5.5 Architectures des réseaux de neurones artificiels 35
5.5.1 Réseaux statiques "Feed-Forward" 35
5.5.2 Réseaux récurrents "Feedback" 35
5.6 Types des réseaux de neurones 36
5.6.1 Perceptron monocouche : 36
5.6.2 Perceptron multicouche (MLP) : 37
5.6.3 Réseaux à fonction radiale « RBF » 39
5.6.4 Cartes auto-organisatrice de Kohonen : 40
5.6.5 Réseaux de hopfield 40
5.6.6 ART 41
5.7 Apprentissage des réseaux de neurones 41
5.7.1 Apprentissage supervise 42
5.7.2 Apprentissage non-supervise 43
5.7.3 Apprentissage semi-supervise 43
5.7.4 Apprentissage par renforcement 43
5.8 Application des réseaux de neurones artificiels 44
6 Internet des objets (Internet of Things) 44
6.1 Définition de l'objet 44
6.2 Définition de l'IoT 45
6.3 Principes des IoT 46
6.4 Fonctionnement de l'IoT 46
6.5 Composants de l'IoT 47
6.6 Domaine d'application de l'IoT 47
6.7 Architecture d'IoT 51
.7 Conclusion 54

Chapitre III : Conception et implémentation

1. Introduction 56
2. Système propose 56
3. Implémentation 57
3.1 Système de classification à base d'un RNA 57
3.1.1 Outils utilisés 58
3.1.2 Importation des bibliothèques 60

3.1.3 Programmation 62
3.2 Node-Red 65
3.2.1 Installation de Node-Red 66
3.2.2 L'Interface de Node-RED 67
3.2.3 Nodes de base 68
3.2.4 Programmation de Node Red 72
4. Résultats et discutions 79
4.1 Python 79
4.2 Node-RED 83
5. Conclusion 85
Conclusion générale 86
Références 87

Liste de abréviations

ART : Adaptative Resonnance Theory

API : Automate Programmable Industrielle

ANN : Artificiel neural network

Ca2+ : Calcium

CO2 : Dioxyde de carbone

C : langage de programmation

CL^- : Chlorures

CLI : Command line interface

DBO : Demande biochimique en oxygène

DCO : Demande chimique en oxygène

GUI : Graphical user interface

H2O : Eau

H : Hydrogène

IoT : Internet of Things

IA : Intelligence artificielle

IU : user interface

JS : JavaScript

K^+ : Potassium

Mg2+ : Magnésium

MES : Matières en suspension

MLP : Multilayer perceptron

MQTT : MQ Telemetry Transport

NTU : Nephelometry turbidity unit

NumPy : Numerical Python

O : Oxygène

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PH : Potentiel Hydrogène

ppm : Partie par million

PMC : Perceptron multicouches

RNA : Réseaux de neurones artificiels

RBF : Réseaux à fonction radiale

RFID : Radio Frequency Identification

RP : Retro propagation

$SO4\,2^-$: Sulfates

SOM : Self Organised Maps

T : Température

TDS : Taux des Solides Dissous

TA : Titre Alcalimétrique Simple

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

TH : Titre hydrotimétrique

UE : Union européenne

URL : Uniform Resource Locator

UI : User interface

VM: Virtual machine

WHO: World Organisation Health

Liste de figures

Figure (I.1) : Structure de la molécule d'eau 5
Figure (I.2) : Cycle de l'eau 6
Figure (I.3) : Différentes étapes du traitement de l'eau 22
Figure (II.1) : Intelligence artificiel 28
Figure (II.2) : Neurone biologique 30
Figure (II.3): Neurone formel et neurone biologique. 31
Figure (II.4) : Neurone formel 32
Figure (II.5) : Structure d'un réseau non récurrent. 35
Figure (II.6) : Structure d'un réseau récurrent. 36
Figure (II.7) : Types de RNA 36
Figure (II.8) : Schéma d'un réseau de neurones monocouche. 37
Figure (II.9) : Schéma d'un réseau de neurones multicouche. 38
Figure (II.10) : Structure d'un réseau RBF 39
Figure (II.11) : Carte de kohonen 40
Figure (II.12) : Réseaux de hopfield 41
Figure (II.13) : Différents types d'apprentissage 42
Figure (II.14) : Apprentissage supervise 42
Figure (II.15) : Apprentissage non-supervise 43
Figure (II.16) : Apprentissage par renforcement 44
Figure (II.17) : Diffèrent objets connectes à l'IoT 45
Figure (II.18) : Nouvelle dimension pour l'IoT 46
Figure (II.19) : Différents domaines d'application de l'IoT. 47
Figure (II.20) : Domaine de l'IoT dans les transports 48
Figure (II.21) : Domaine de l'IoT dans la sante. 48
Figure (II.22) : Domaine de l'IoT dans la domotique. 49
Figure (II.23) : Domaine de l'IoT dans l'agriculture. 49
Figure (II.24): Domaine de l'IoT dans l'industrie. 50
Figure (II.25) : Domaine de l'IoT dans l'industrie. 51
Figure (II.26) : Architecture d'IoT 51
Figure (III.1) : Système proposé 57
Figure (III.2) : Logo de langage python 58
Figure (III.3) : Logo jupyter 59
Figure (III.4) : Page d'accueil de jupyter notebook 59
Figure (III.5) : anaconda logo 60

Figure (III.6) : Fenêtre d'accueil de l'environnement Anaconda 60
Figure (III.7) : Organigramme de programmation 63
Figure (III.8) : Chargement des bibliothèques 64
Figure (III.9) : Appel de base de données 64
Figure (III.10) : Architecture de RNA 65
Figure (III.11) : Commande Node-Red 66
Figure (III.12) : Exécution de Node-Red dans le terminal 67
Figure (III.13) : L'Interface de Node-RED 67
Figure (III.14) : Nœuds d'entrées de Node-Red 69
Figure (III.15) : Nœuds de sorties de Node-Red 69
Figure (III.16) : Nœuds de traitement de Node-Red 70
Figure (III.17) : Accéder au gestionnaire de palette 71
Figure (III.18) : Ajouter Dashboard à la palette 71
Figure (III.19) : Node-Red dashboard 72
Figure (III.20) : Eléments de dashboard 72
Figure (III.21) : Programme Node Red 73
Figure (III.22) : Connexion entre Arduino et Node-RED 74
Figure (III.23) : programme Arduino 75
Figure (III.24) : Nœud serial in 77
Figure (III.25) : Paramétrage du nœud Série 77
Figure (III.26) : Réception et visualisation des données en flux 78
Figure (III.27) : Sortie de nœud pythonshell 78
Figure (III.28) : Séparation des donnees utilisant JSON 79
Figure (III.29) : Configuration du nœud JSON 79
Figure (III.30) : Différentes formes de données 80
Figure (III.31) : Flux d'affichage des fonctions 81
Figure (III.32) : Extraction d'une variable 81
Figure (III.33) : Courbes de précisions (**A**: Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6). 83
Figure (III.34) : : courbe d'erreur (**A**: Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6). 84
Figure (III.35) : courbe de ROC (**A**: Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6). 85
Figure (III.36) : Matrice de confusion (**A** : Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6). 86

Figure (III.37) : Visualisation Dashboard.....88

Liste des tableaux

Tableau (I.1) : Relation entre la conductivité et la minéralisation. 11
Tableau (I.2) : Classes de turbidité de l'eau. 12
Tableau (I.3) : Classification de l'eau selon le pH 12
Tableau (I.4) : Classes de dureté de l'eau. 15
Tableau (I.5) : Grille normative pour estimer la qualité de l'eau en Algérie 20
Tableau (II .1) : Fonctions d'activation des réseaux de neurones artificiels 34
Tableau (III .7) : Différents modèles proposés 80

Introduction générale

L'eau, ce précieux liquide transparent et inodore, est l'essence même de la vie sur Terre. Son importance ne peut être exagéré, étant donné qu'elle est essentielle à la préservation de notre écosystème et à la survie de tous les êtres vivants.
Depuis les océans immenses jusqu'aux la simple goutte de pluie, l'eau occupe une place centrale dans notre quotidien, tant sur le plan physique que symbolique.

L'eau destinée à la consommation humaine est dite potable. C'est un facteur important pour prévenir les maladies associées à l'eau car elle est exemptée d'éléments chimiques et biologiques, à plus ou moins long terme, que l'on peut donc l'utiliser sans restriction pour boire ou préparer la nourriture. Par conséquent, il est nécessaire de lui accorder une attention particulière afin de maintenir sa qualité.

Malheureusement, la qualité de cette eau naturelle a été détériorée par les activités humaines, c'est pourquoi des normes de qualité ont été définies pour déterminer la qualité des eaux de consommation. Donc nous nous demandons : Comment assurer un accès à une eau potable de qualité, sécurisée et en quantité suffisante ?

L'eau propre est actuellement l'un des produits alimentaires les plus surveillés au monde qui nécessite une analyse et un traitement quotidien avant d'être constatée comme potable, pour garantir que l'eau que nous utilisons et buvons au quotidien est sûre pour notre santé, les écosystèmes aquatiques, et de préserver la biodiversité et prévenir les dommages environnementaux.

La surveillance de l'eau consiste à surveiller son état en continu en fonction de divers paramètres, lié à sa qualité.
D'autre part, l'eau est considérée comme une entrée de processus et a plusieurs paramètres descripteurs à contrôler et à surveiller. Dans la surveillance de la qualité de l'eau, comme dans d'autres domaines similaires, un contrôle efficace dépend principalement de la précision et de la fiabilité des capteurs de mesure utilisés.

À ce propos, nous avons proposé un modèle de prédiction de la qualité de l'eau qui est basé sur l'internet des objets (IoT). Ce modèle se compose de différents capteurs physiques et chimiques ayant trait à sa qualité qui seront capter les informations et les relient aux réseaux de neurones artificiels (RNA), qui est à son tour fera des calculs nécessaires pour déterminer la qualité de l'eau.

Trois chapitres composent ce mémoire :

Dans le premier chapitre nous introduirons des généralités et propriétés sur l'eau. Ainsi que des normes de qualité de l'eau propre et des divers processus impliqués dans une chaîne de traitement d'eau potable.

Le deuxième chapitre aborde deux sujets. Le premier sujet sur les réseaux de neurones artificiels. Il fournit une description générale de ces réseaux et de leurs différents types, architectures, aussi l'apprentissage avec ses types. Et le deuxième sujet était l'Internet des objets (IoT) avec ses généralités, fonctionnement, architecture et son domaine d'application.

Dans le dernier chapitre, c'était l'implémentation de notre modelé de prédiction de la qualité de l'eau potable et la discussion des résultats obtenus.

À la fin, nous conclurons avec une conclusion générale qui résumera le travail effectué et les perspectives.

CHAPITRE 1:



GÉNÉRALITÉS SUR L'EAU

1. Introduction

L'eau est une ressource précieuse et indispensable à la vie sur notre planète, elle est la substance minérale la plus répandue a la surface du globe et elle joue un rôle essentiel dans de nombreux aspects de notre existence, de la santé humaine à l'agriculture, en passant par l'industrie et l'écosystème, donc sa qualité est d'une importance primordiale car L'eau peut être contaminée par divers facteurs, tels que les polluants chimiques les bactéries et les virus, Ces contaminants peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et les écosystèmes aquatiques, de ce fait il est essentiel de surveiller et de protéger la qualité de l'eau pour garantir son utilisation sécurisée et durable.

La consommation d'une eau potable est un facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau. Elle doit donc bénéficier attention particulière, cependant la disponibilité d'une eau potable de qualité est une préoccupation majeure dans de nombreuses régions du monde. La fourniture d'eau potable nécessite donc des mesures de traitement et de contrôle stricte pour éliminer ou diminuer ces contaminants et garantir la sécurité de l'eau pour la consommation humaine.

Dans ce chapitre, nous discutons généralement de l'eau, et en particulier de l'eau potable, sa qualité, sa surveillance et comment traiter cette source indispensable.

2. Structure de l'eau :

L'eau est source de vie, c'est un liquide très stable qui est parfois considéré comme ubiquitaire sur la Terre. C'est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante), composé de molécules faites d'un atome d'oxygène **O** et de deux atomes d'hydrogène **H**. H2O est la formule de la molécule d'eau comme le montre la figure [1].

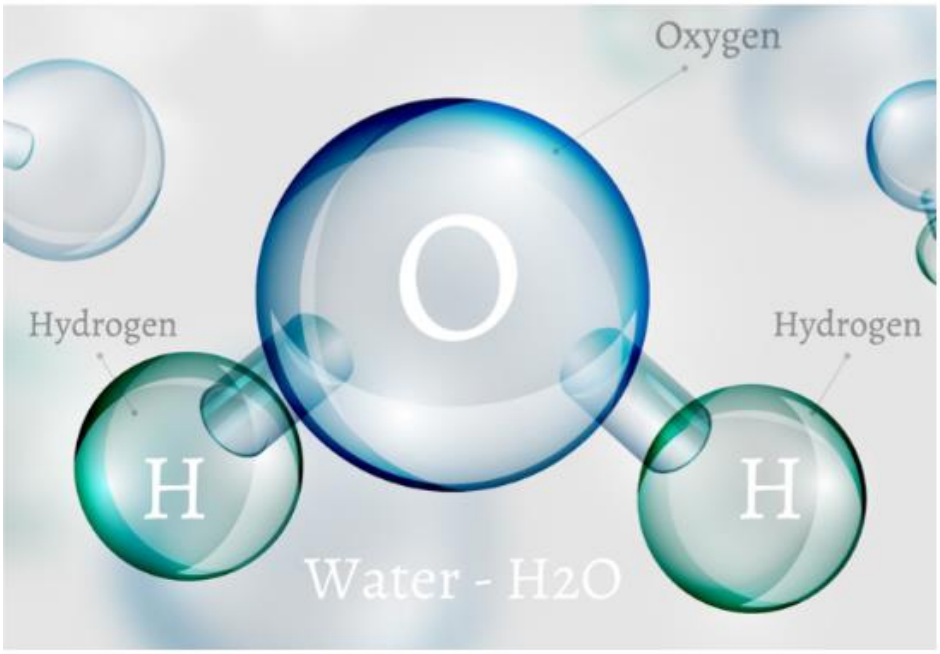


Figure I.1 : Structure de la molécule d'eau

3. Etats de l'eau

Sur notre planète l'eau existe sous trois états différents : liquide, gazeux et solide, comme suit [2] :

3.1 Etat liquide

L'eau sous forme liquide est l'état le plus courant de l'eau que nous rencontrons dans notre vie quotidienne. À température et pression normales, l'eau se présente généralement comme un liquide incolore, transparent et sans odeur.

C'est l'eau des rivières, de l'océan, du robinet, même des nuages, Les molécules d'eau sont un peu dans tous les sens, mais assez proches les unes des autres.

3.2 Etat gazeux

C'est de l'eau qui ne peut être vu à l'œil nu, elle peut également exister sous forme de gaz, connue sous le nom de vapeur d'eau ou de gaz d'eau. Lorsque l'eau est chauffée, les molécules d'eau acquièrent suffisamment d'énergie cinétique pour surmonter les forces intermoléculaires et s'échapper de l'état liquide, passant à l'état gazeux.

3.3 Etat solide

Lorsque l'eau est suffisamment refroidie, quand la température est inférieure à 0 °C, elle passe de l'état liquide à l'état solide et se transforme en glace. L'eau sous forme solide est

constituée de molécules d'eau qui sont arrangées de manière ordonnée et régulière. C'est la neige, les glaciers, les glaçons…

4 Cycle de l'eau

L'eau opère un circuit fermé qui est le même depuis des milliards d'années. Ce cycle également appelé cycle hydrologique, est le phénomène naturel du parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou de vapeur d'eau présents sur Terre (les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes d'eaux souterraines et les glaciers). Ce cycle a lieu grâce à l'énergie solaire qui permet l'évaporation de l'eau. Comme le montre la figure ci-dessous [3].

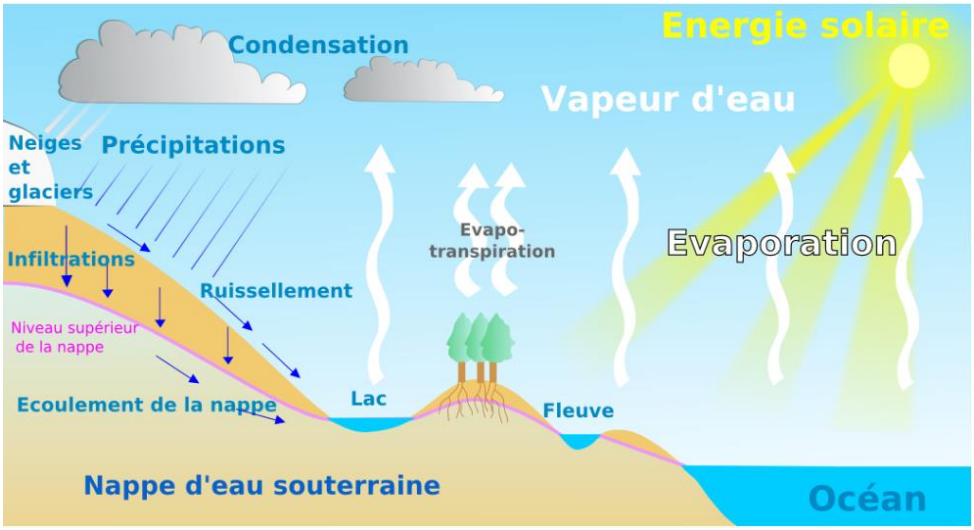


Figure I.2 : Cycle de l'eau

Le cycle de l'eau comprend plusieurs étapes clés :

4.1 Evaporation

L'évaporation est la toute première étape du cycle de l'eau, qui se transforme de l'état liquide à l'état gazeux. Ce phénomène, qui se produit essentiellement dans les océans, a lieu grâce à la chaleur du soleil et aux gaz présents dans l'atmosphère. Le vent favorise également la dispersion de la vapeur d'eau. De même, la multiplication des cours d'eau contribue à l'évaporation de l'eau.

4.2 Transpiration

Tout comme la transpiration s'évacue du corps d'humain et des animaux, l'eau qui circule dans les végétaux passe de l'état gazeux au stade d'évaporation. On parle alors, dans le cas

des végétaux, d'évapotranspiration. En effet, les racines des plantes pompent l'eau de la terre avant de la relâcher en partie dans l'atmosphère.

4.3 Condensation

L'étape de condensation est celle durant lequel la vapeur d'eau (eau gazeuse) se condense pour former les nuages. Mais, la condensation n'a pas lieu que dans le ciel. Au sol aussi. Aux beaux jours, la rosée (petites gouttelettes) et en hiver, le givre, présents sur nos plantes sont le résultat d'une condensation. L'expérience se produit également dans la salle de bain, après une bonne douche chaude, quand notre miroir est tout embué. C'est le refroidissement de la vapeur d'eau sur le miroir qui produit cet effet de condensation.

4.4 Précipitations

La condensation laisse ensuite place aux précipitations que l'on utilise le plus souvent pour désigner la pluie. Elles ont lieu quand les gouttelettes d'eau présentes dans les nuages deviennent trop pesantes. Elles s'en écoulent alors sous formes de gouttes, de neige ou de grêle, en fonction de la météo.

4.5 Ruissellement

Etape suivante du cycle de l'eau : le ruissellement. Lors de précipitations, l'eau qui s'écoule des nuages tombe en grande partie sur les océans et les mers. Le cycle de l'eau s'arrête alors ici. Concernant l'eau qui tombe sur terre, elle est absorbée par les plantes ou ruisselle dans les roches. Ensuite, elle finit par rejoindre un cours d'eau - ruisseau, rivière, lac, fleuve - puis la mer ou l'océan... et le cycle de l'eau redémarre.

4.6 Infiltration

Lorsque l'eau pénètre dans le sol, on passe à la phase d'infiltration. En effet, si le sol est poreux (perméable), l'eau peut alors s'infiltrer à l'intérieur du sol. En fonction de l'abondance des précipitations, des cours d'eau souterrains peuvent se former. Par ailleurs, l'infiltration permet aux racines des plantes de pomper l'eau dont elles ont besoin.

4.7 Circulation souterraine

Ultime étape du cycle de l'eau : La circulation souterraine, c'est-à-dire le cheminement de l'eau à l'intérieur du sol. Le plus souvent, l'eau accumulée dans les sols parvient à rejoindre un cours d'eau. Toutefois, en cas d'accumulation de cette eau souterraine, une nappe phréatique peut se former. On peut récupérer son eau par le biais de puits ou de forages et constitue une ressource d'eau propre car elle est naturellement filtrée par les roches.

5 Sources de l'eau

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer comme il est indiqué.

5.1 Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle leur salinité, la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg /l de salinité [4].

5.2 Eaux Souterraines

Lorsque l'eau superficielle pénètre dans le sol, une partie est retenue à la surface des grains ou dans les micro-interstices. Cette quantité d'eau retenue est caractéristique d'un sol donné et se définit comme sa capacité de rétention.

L'autre partie de cette eau superficielle, percole en direction de sous-sol sous l'action de la pesanteur. Ce sont les eaux des nappes phréatiques, qui correspondent à 22% des réserves d'eau douce, soit environ 1000 milliards de m3. Leur origine est représentée par l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de la porosité et de la structure géologique du sol. Les eaux souterraines sont habituellement à l'abri des sources de Chapitre 1 : Généralité sur l'eau 9 pollution, elle est donc d'excellente qualité physico-chimique et microbiologique par rapport aux eaux de surface [5].

5.3 Eaux de surface

Les eaux de surface, aussi appelées parfois eaux superficielles, sont celles qui se trouvent sur la terre et qui sont au contact de l'atmosphère (avec la surface). Pour les identifier facilement, on peut dire que les eaux de surface sont celles qu'on peut voir facilement.

Les eaux de surface regroupent ainsi les eaux des pluies, des sources et du ruissellement d'autres sources d'eau. Les eaux de surface cheminent toutes afin d'arriver à un plus grand plan d'eau, pour exemple, les rivières qui se jettent dans l'océan [6].

6 Propriétés de l'eau

L'eau est une molécule rigide à liaison hydrogène de masse volumique de 999,8 à 0°C et 958,4 à 100°C (maximale à 3,98°C ; 999,972 kg/m3). L'eau pure est inodore et sans goût. Sous une pression atmosphérique normale (760 mm de mercure), le point de congélation de

l'eau est de 0°C et son point d'ébullition est à 100 °C. Comme la plupart des autres liquides, l'eau peut se trouver dans un état surfondu, c'est-à-dire qu'elle peut rester à l'état liquide à une température inférieure à son point de congélation : elle peut facilement être refroidie à -25°C sans se congeler. L'eau surfondue se congèle lorsque sa température est abaissée ou lorsqu'un cristal de glace ou une autre particule lui est ajoutée.

L'eau a des propriétés physico-chimiques assez particulières par rapport aux autres liquides car elle est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants, elle solubilise de nombreux corps minéraux et organiques, ionise les électrolytes et disperse les colloïdes électro chargés [7].

7 Qualités de l'eau

La qualité de l'eau fait référence aux caractéristiques chimiques, physiques, biologiques et radiologiques de l'eau, des eaux de surface, des eaux profondes et des eaux souterraines. C'est une mesure de l'état de l'eau par rapport aux besoins d'une ou plusieurs espèces biotiques ou à tout besoin ou but humain. Elle est utilisée plus fréquemment en référence à un ensemble de normes permettant d'évaluer la conformité. Les normes les plus couramment utilisées pour évaluer la qualité de l'eau sont liées à la santé des écosystèmes, à la sécurité des contacts humains et à l'eau potable.

La qualité de l'eau attendue est dépendante de son usage ; les normes à respecter ne seront pas les mêmes selon que l'eau est destinée à être bue, utilisée pour l'irrigation de cultures, ou simplement à alimenter un cours d'eau naturel.

Ce concept est utilisé pour l'eau potable ou certains usages domestiques et/ou industriels nécessitant une eau aux caractéristiques particulières [8][9].

7.1 Définition de l'eau potable

L'eau potable est une eau que l'on peut boire ou utiliser à des fins domestiques et industrielles sans risque pour la santé, et qui répond aux normes de qualité établies.

Les autorités sanitaires et les organismes de réglementation établissent ces normes de qualité pour l'eau potable afin de garantir qu'elle est sûre à consommer. Ces normes fixent des limites sur la présence de contaminants chimiques, microbiologiques et physiques dans l'eau. L'eau potable est une ressource précieuse, il est important de la conserver de manière responsable. Cela peut inclure la réduction du gaspillage d'eau, la protection des sources d'eau et la gestion durable des ressources hydriques [10].

7.2 Normes de potabilités

7.2.1 Définitions d'une norme

Une norme c'est l'ensemble des règles de conduite qui s'imposent à un groupe social pour fournir des lignes directrices, des spécifications ou des critères à suivre dans un domaine spécifique.

Elle permet de comparer une situation par rapport à une valeur seuil et de définir des conditions acceptables par rapport à celle qui ne le serait pas.

7.2.2 Normes de potabilité

L'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir en quantités dangereuses, ni substances chimiques, ni germes nocifs ; elle doit être agréable à boire, c'est pour quoi elle doit répondre aux normes de qualité établis selon différents Paramètres, notamment microbiologique, des analyses sont effectuées pour vérifier le respect de ces normes.

Ces normes représentent une approche quantitative de la notion qualitative de potabilité. Pour avoir une bonne qualité de l'eau, il faut respecter plusieurs paramètres et si l'un des paramètres ne respecte pas les normes l'eau doit impérativement être traitée [11].

7.3 Caractéristiques de l'eau potable

L'eau a des caractéristiques différentes selon le type ou la région dans laquelle elle se trouve. Mais Les caractéristiques de l'eau potable comprennent plusieurs aspects importants qui garantissent sa qualité et sa sécurité pour la consommation humaine.

Elles doivent répondre aux règlements généraux d'hygiène et a toutes les mesures propres pour préserver la sante de l'homme.

7.3.1 Paramètres physiques

7.3.1.1 Température (T)

La température représente une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et de froid. La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz, ce qui fait qu'il est important de connaître la température avec une bonne précision.

La température d'une eau potable devrait être inférieure en été, et supérieur en hiver à la température de l'air. Pour qu'une eau soit désaltérante, sa température doit se situer entre 8 et 15°C [12].

7.3.1.2 Conductivité

L'eau pure n'est pas un bon conducteur de courant électrique car elle ne contient pas d'ions libres.

La conductivité désigne la capacite de l'eau à conduire un courant électrique dans une solution sur une certaine distance, s'exprime généralement en millisiemens par centimètre (ms/cm), elle permet d'apprécier la qualité des sels dissous dans l'eau et nous renseigne également sur les degrés de minéralisation de l'eau.

Elle est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 ou 25°C. Les appareils de mesure utilisés sur le terrain effectuent en générale automatiquement cette conversion [13]. Le tableau suivant montre la relation entre la conductivité et la minéralisation.

Tableau I.1: Relation entre la conductivité et la minéralisation.

Conductivité (µS/cm)	**Minéralisation**
C > 100	Très faible
100<C<200	Faible
200<Cv	Moyenne
333<C<666	Moyenne accentuée
C>1000	Elevée

7.3.1.3 Turbidité

La turbidité fait référence à la mesure de la quantité de particules en suspension dans un liquide, généralement dans l'eau. En d'autres termes c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes.

Elle résulte de la diffusion de la lumière qui est ainsi déviée dans toutes les directions. Ce sont des particules en suspension dans l'eau qui la font. Leur origine peut être extrêmement variable : érosion des roches, entrainement des matières minérales ou organiques du sol, déversement d'eaux usées domestiques ou industrielles riches en matières en suspensions grossières.

Pour la sécurité du consommateur, l'eau destinée à la consommation doit présenter une turbidité inferieure a 5 NTU (unité de turbidité néphélométrie) [14] Comme l'indique le tableau I.2.

Tableau I.3: Classes de turbidité de l'eau.

NTU<5	Eau claire
5<NTU<30	Eau légèrement trouble
NTU>50	Eau trouble

7.3.1.4 Taux des Solides Dissous (TDS) :

La TDS (Total Dissolved Solids) est la quantité totale d'ions chargés mobiles, y compris les minéraux, les sels et les métaux dissous dans un volume donné d'eau, exprimée en mg/L ou en particules par million (PPM). La TDS est directement liée à la pureté de l'eau et à la qualité des systèmes de purification d'eau. Elle affecte tout ce qui consomme, utilise ou vit dans l'eau, qu'ils soient organiques ou inorganiques, pour le meilleur ou pour le pire [15].

7.3.2 Paramètres chimiques

7.3.2.1 PH (Potentiel Hydrogène)

Le pH aussi appelé potentiel hydrogène, est une échelle de mesure allant de 0-14, permet de déterminer si une solution chimique y compris de l'eau est acide, neutre ou basique.

Dans le contexte de l'eau potable, le pH est une caractéristique physique importante qui est surveillée pour garantir la qualité de l'eau. Les normes de qualité de l'eau potable fixent généralement une plage de pH recommandée, qui se situe généralement entre 6,5 et 8,5, bien que des variations légères puissent être acceptées selon les règlementations locaux. Le tableau I.3 classifie les topologies de l'eau selon les valeurs de pH.

Tableau I.4: Classification de l'eau selon le pH

Valeur de pH	**Typologie de l'eau**
pH<7	Eau acide
7<pH<7.4	Eau équilibrée
pH>7	Eau basique

Il convient de mentionner que la santé humaine n'est généralement pas directement affectée par le pH de l'eau potable, tant qu'il reste dans une plage considérée comme sûre, qui est

généralement entre **6,5** et **8,5**. Cependant, des variations extrêmes du pH peuvent avoir des implications sur la qualité de l'eau et nécessitent une évaluation et des ajustements appropriés [16].

7.3.2.2 Magnésium (Mg2+)

Le magnésium peut avoir d'une part une origine provenant de la dissolution des roches dolomitiques, magnésites, basaltes et argiles et d'autre part une origine industrielle. Son abondance géologique et sa grande solubilité font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes allant de quelques milligrammes à quelques centaines de milligrammes par litre.

A partir d'une concentration supérieure à 100 mg/l, le magnésium donne à l'eau un goût désagréable [17].

7.3.2.3 Calcium (Ca2+)

Le calcium est un élément de la dureté de l'eau, et il est généralement l'élément dominant des eaux potables, Une forte présence en calcium dans l'eau donne des eaux dures. En plus de son origine industrielle, le calcium peut provenir d'une origine naturelle par la dissolution du gypse, sous l'attaque chimique des roches carbonatées. Le calcium est exprimé en mg/l [18].

7.3.2.4 Sodium (mg/l)

Le Sodium est un élément dont la concentration dans l'eau varie d'une région a une autre. Il n'existe pas de danger dans l'absorption des quantités relativement importantes de sodium sauf pour les malades hypertendus. Pour les doses admissibles de sodium dans l'eau il n'y a pas de valeur limitée standard. Cependant les eaux trop chargées en sodium deviennent saumâtres et prennent un goût désagréable [19].

7.3.2.5 Potassium (K+)

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à15 mg/L. A cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le seuil de perception gustative est variable suivant le consommateur, se situe aux environs de 40 mg /L pour les chlorures de potassium [19].

7.3.2.6 Matières en suspension (MES)

Ce sont des particules solides très fines et généralement visibles à l'œil nu, théoriquement elles ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Elles déterminent la turbidité de l'eau. Elles limitent la pénétration de la lumière dans l'eau, la teneur en oxygène dissous et nuisent au développement de la vie aquatique. Ces matières sont en relation avec la turbidité, leur mesure

donne une première indication sur la teneur en matière colloïdale d'origine minérale ou organique. La mesure de MES permet d'apprécier la charge solide en suspension d'une eau naturelle ou résiduaire [19].

7.3.2.7 Chlorures (Cl-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux [19].

7.3.2.8 Chloramines

La chloramine est une combinaison de chlore avec une petite quantité d'ammoniaque. La chloramination est un procédé qui ajoute de la chloramine à l'eau traitée. Plusieurs villes au Canada et ailleurs utilisent le procédé de la chloramination depuis des décennies pour purifier l'eau et éliminer les micro-organismes pathogènes transmissibles par l'eau [20]

7.3.2.9 Sulfates (SO4 2-)

Les sulfates peuvent être, d'origine naturelle à partir du gypse ou pyrite, d'origine industrielle ou à partir des produits de traitement agricole. Les eaux naturelles contiennent pratiquement toujours des sulfates en proportion très variables, le sulfate est exprimé en mg/l [19].

7.3.2.10 Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à sa capacité à réagir avec les ions hydrogène (H) qui est due à la présence des ions HCO3 -, carbonate (CO3 -2) et hydroxyde (OH-). Autrement dit, on est amené à considérer deux types d'alcalinité qui correspondent, encore une fois à deux bornes de pH :

- **Titre Alcalimétrique Simple (TA) :** elle correspond à l'alcalinité entrainée par les ions d'hydroxydes OH et à la moitié des ions de carbonates CO3 2- . Cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3.
- **Titre Alcalimétrique Complet (TAC)** : correspondant à l'alcalinité totale au pH de 4,5 ce qui revient à déterminer les ions d'hydrogénocarbonates (HCO3 -), les ions de carbonates CO3 2- et les ions d'hydroxydes OH- [21].

7.3.2.11 Organic_carbon :

Le carbone organique total est une mesure de la quantité de composés organiques contenus dans un échantillon d'eau. Les composés organiques contenant du carbone peuvent être dissous dans l'eau ou exister dans l'eau sous forme de matière non dissoute, en suspension ou liquide. Cette matière organique peut pénétrer dans l'eau naturellement et par des sources/processus artificiels.

Bien que la matière organique ne soit pas nécessairement toxique, des concentrations élevées dans l'eau peuvent avoir un impact significatif sur les écosystèmes et endommager l'équipement lorsqu'elles ne sont pas contrôlées et traitées [22].

7.3.2.12 Trihalomethanes

Les trihalométhanes (THM) sont un groupe de produits chimiques qui peuvent contaminer l'eau potable. Les THM se forment lorsque le chlore utilisé pour désinfecter l'eau réagit avec la matière organique naturelle (végétation, feuilles mortes). La contamination par les THM se produit surtout dans les réseaux d'eau potable alimentés par les eaux de surface, comme les lacs et les rivières. La concentration de THM tend à augmenter en été et au début de l'automne.

La norme pour la concentration de THM au Québec est de 80 microgrammes/litre (80 µg/L), soit la moyenne annuelle qui ne devrait pas être dépassée. Les responsables du réseau de distribution d'eau potable, y compris ceux des municipalités, sont responsables de l'application de cette norme [23].

7.3.2.13 Dureté

La dureté ou le titre hydrotimétrique (TH) d'une eau est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins (Ca++ et Mg++), elle s'exprime en ppm.

Elle est définie à l'origine comme la capacite de cette dernière à précipiter le savon cause par le calcium et le magnésium, c'est l'indicateur de minéralisation de l'eau ; comme illustre le tableau ci-dessous les classes de dureté de l'eau [24].

Tableau I.5: Classes de dureté de l'eau.

Dureté totale (°F)	**Désignation**	**Valeur**
0-7	Très douce	Assez bonne

7-14	Douce	Très bonne
14-21	Moyennement dure	Bonne
21-32	Dure	Admissible
32-53	Dureté prononcée	Encore admissible
>53	Très dure	Non appropriée

7.3.3 Paramètres organoleptiques

Correspond à l'appréciation de la qualité de l'eau par les sens, essentiellement, la vue, le gout et l'odorat. La détermination de ces paramètres est subjective car elle fait appel aux sens qui se diffèrent d'un individu à un autre [25].

7.3.3.1 Couleur :

La couleur de l'eau est due, généralement, à la présence de substances colorées provenant essentiellement de la décomposition des matières végétales, des algues, des substances minérales (en particulier le fer et le manganèse) et des rejets industriels (teintures). Une coloration de l'eau est indésirable, car elle suscite toujours un doute sur sa potabilité. Elle doit être éliminée pour rendre l'eau agréable à boire.

7.3.3.2 Odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. L'odeur peut être définie comme :

- L'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.
- La qualité de cette sensation particulière est provoquée par chacune de ces substances.

7.3.3.3 Goût et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lors de la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie, comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs.

7.3.4 Paramètres biologiques

7.3.4.1 Demande biochimique en oxygène (DBO) :

La DBO exprime la consommation naturelle d'oxygène en g/litre des corps contenus dans l'eau, dégradés par les bactéries du milieu par une oxydation. L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation de 30 (O2), L'indicateur utilisé est généralement la DBO5 qui correspond à la quantité d'oxygène (exprimée en mg/l) nécessaire aux microorganismes décomposeurs pour dégrader et minéraliser en 5 jours la matière organique présente dans un litre d'eau polluée. L'analyse de la DBO5 est surtout intéressante pour l'appréciation de la qualité des eaux brutes.

7.3.4.2 Demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg. L-1, est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelques soit leur origines organique ou minérale. La DCO étant en fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives et des possibilités de l'oxydation [26].

8 Pollutions des eaux

8.1 Définitions de la pollution de l'eau

Bien que l'eau soit un élément vital, elle peut être aussi un agent efficace de transport et de dissémination de la pollution et des maladies.

La pollution des eaux est tout changement défavorable des caractéristiques naturelles (biologiques ou physico-chimiques) dont les causes sont directement ou indirectement en relation avec les activités humaines. C'est pourquoi nous devons prendre garde avec un soin extrême et une vigilance constante, de sa qualité et de sa potabilité [27].

8.2 Types de pollution

Il existe plusieurs types de pollution qui peuvent avoir des impacts néfastes sur l'environnement, la santé humaine et les écosystèmes.

8.2.1 Pollution chimique

La pollution chimique des eaux résulte de la libération de certaines substances minérales toxiques dans les cours d'eaux (les nitrates, les phosphates, l'ammoniac et autre sels) ainsi que

des ions métalliques. Ces substances exercent un effet toxique sur les matières organiques et les rendent plus dangereuses. Les polluants chimiques sont classés en : substances chimiques dites indésirables, les pesticides, les détergents, les colorants et autres éléments toxiques.

8.2.2 Pollution physique

La pollution physique de l'eau fait référence à la présence et a l'accumulation de déchets solides et d'autres matériaux indésirables dans les cours d'eau, les lacs, les océans et les autres sources d'eau.

8.2.3 Pollution biologique

La pollution biologique se produite lorsque des organismes vivants, tel que des bactéries, des virus, des algues et d'autre microorganismes.

8.3 Conséquences de la pollution

Les conséquences de la pollution des milieux aquatiques sont multiples, sur la santé de l'homme et son milieu écologique.

Voici quelques risques de cette pollution :

Elle provoque des maladies : la consommation d'eau contaminée peut entraîner de graves problèmes de santé. De la diarrhée, du choléra, de l'hépatite A, de la typhoïde, à la mort. On estime qu'environ 5 millions de personnes meurent chaque année en buvant cette eau. Malnutrition : une alimentation insuffisante, ainsi que des maladies infectieuses et un manque d'hygiène avec de l'eau propre, entraînent des maladies, y compris la malnutrition. Une chose va de pair avec l'autre. C'est pourquoi une bonne hygiène corporelle est importante, mais aussi un bon nettoyage des aliments avant leur consommation.
Elle affecte les écosystèmes : l'eau douce contaminée altère l'habitat naturel des écosystèmes. En conséquence, la biodiversité aquatique est perdue, des algues nuisibles apparaissent et d'autres problèmes surgissent [28].

9 Traitement des eaux

Aucun réseau de distribution d'eau n'étant à l'abri d'un accident ou d'une pollution – tout consommateur pouvant ne pas recevoir suffisamment tôt l'information –, on peut craindre une consommation accidentelle d'eau impropre à la consommation (boisson, cuisine...), donc non potable.

En plus des incidents possibles sur le réseau d'adduction en eau, le réseau de distribution peut lui aussi être à l'origine de contamination et/ou de pollution de l'eau :

- Des contaminations par bactéries (du fait de la stagnation de l'eau ou de son passage dans des tuyaux vétustes et corrodés).
- De la pollution due à l'emport du métal des canalisations, raccords, ballons et robinets en raison d'une eau trop douce et donc corrosive.

  Outre ces possibles accidents, même alors qu'elle est régulièrement analysée, l'eau peut apparaître de mauvaise qualité, que ce soit en boisson et en cuisine, ou pour l'hygiène corporelle ou l'entretien du linge et de la maison. Le traitement de l'eau est alors utile pour éliminer le calcaire et améliorer sa qualité (goût, aspect et odeur).

  C'est pour toutes ces raisons sanitaires mais aussi pour davantage de confort que l'on va traiter l'eau de distribution, donc l'eau qualifiée de « potable » [29].

9.1 Normes de traitement

9.1.1 Union européenne

Le conseil de l'union européenne a élaboré une directive 98/83/EC sur la qualité de l'eau requise pour la consommation humaine. Elle fut mise en application le 3 Novembre 1998. Elle fut élaborée en reprenant les paramètres de la directive sur l'eau potable datant de 1980 et en y incorporant là où il était nécessaire les dernières découvertes scientifiques sur les effets des différentes substances sur l'homme (lignes directrices de l'OMS et Comité Scientifique Mondial sur la toxicologie et l'écotoxicologie). Cette nouvelle directive constitue une base solide aussi bien pour les consommateurs de l'UE que pour les fabricants d'eau potable.

9.1.2 Organisation Mondiale de la Santé

L'Organisation Mondiale de la Santé ou OMS (WHO pour World Organisation Health), a instauré quelques lignes directrices concernant la qualité requise pour que l'eau soit dite potable. Ces lignes directrices sont les références internationales qui garanties une eau saine et donc potable. Les dernières lignes directrices en date sont celles qui ont été prononcées par l'OMS à Genève en 1993.

9.1.3 Normes Algériennes :

Le tableau ci-dessous résume la grille normative de la qualité de l'eau appliquée en Algérie

Tableau I.6: Grille normative pour estimer la qualité de l'eau en Algérie

Qualité / paramètres	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Physico-chimique				
PH	6.5-8.5	6.5-8.5	>6, <9	>5, <9
T°C	25	25-30	30-35	>35
Minéralisation	300-1000	1000-1200	1200-1600	>1600
Ca^{2+} mg/l	40-100	100-200	200-300	>300
Mg^{2+} mg/l	30	30-100	100-150	>150
Na^{2+} mg/l	10-100	100-200	200-500	>500
Chlorure mg/l	10-150	150-300	300-500	>500
Sulfates mg/l	50-20	200-300	300-400	>400
Organiques				
O2 dissous%	>100	100-50	50-30	>30
DBO5 mg/l	5	5-10	10-15	>15
DCO mg/l	20	20-40	40-50	>50
Matières organiques	5	5-10	10-15	>15
Composés azotés				
Ammonium mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrites mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Nitrates mg/l	0-10	10-20	20-40	>40
Composés phosphores				
Phosphates mg/l	0-0.01	0.01-0.1	0.1-3	>3
Eléments toxiques et indésirable				
Fe mg/l	0-0.5	0.5-1	1-2	>2
Mn mg/l	0-0.1	0.1-0.3	0.3-1	>1
Cr mg/l	0	0-0.05	0.05-0.5	>0.5
Cu mg/l	0-0.02	0.02-0.05	0.05-1	>1
Zn mg/l	0	0-0.5	0.5-1	>1
Cd mg/l	0	0	0-0.01	>0.01
Pb mg/l	0	0-0.8	0.8-1.5	>0.05
F^- mg/l	0	0	0-0.02	>1.5
CN^- mg/l	0.001-0.002			

9.2 Importance de traitement des eaux

Selon l'organisation mondiale de la santé, 80% des maladies qui affectent la population sont directement liées à l'eau. Le traitement des eaux usées consiste à réduire la pollution présente dans l'eau, Cette pollution résulte d'activités humaines : à travers d'une utilisation domestique, ou dans les réseaux industriels. Le traitement des eaux usées sert à s'assurer de sa qualité. En effet, l'eau traitée, considérée comme "eau propre", va être utilisée dans les activités humaines, ou rejetée en milieu naturel. Ces milieux peuvent être de différentes natures : rivière, mer, lac, etc. Il est important de ne pas rejeter de matières nuisibles aux espèces qui vivent dans le milieu naturel. Ces rejets sont régulés par les législations et arrêtés préfectoraux [30].

9.3 Chaine de traitement

La transformation d'une eau de surface en eau potable nécessite un ensemble de divers procédés de traitement regroupé selon un ordre bien déterminé pour fournir un produit qui répond aux normes de potabilité.

Le traitement comportera en général les opérations suivantes :

- **La clarification :** permet de se débarrasser des particules colloïdales et en suspension avec une masse filtrante après un traitement approprié.
- **La désinfection :** a pour but de rendre l'eau biologiquement pure par des oxydants tels que le chlore, … etc. Elle s'applique aussi aux eaux de surface qu'aux souterraines.
- **Le traitement d'affinage :** est utilisé pour éliminer les micropolluants parmi les corps dissous.

Cependant, les techniques de traitement se développent et se perfectionnent. Cela se traduit par la recherche de nouveaux procédés. La chaine habituelle complète et la plus courante du traitement d'eaux de surface est présentée par la figure ci-dessous [31] :

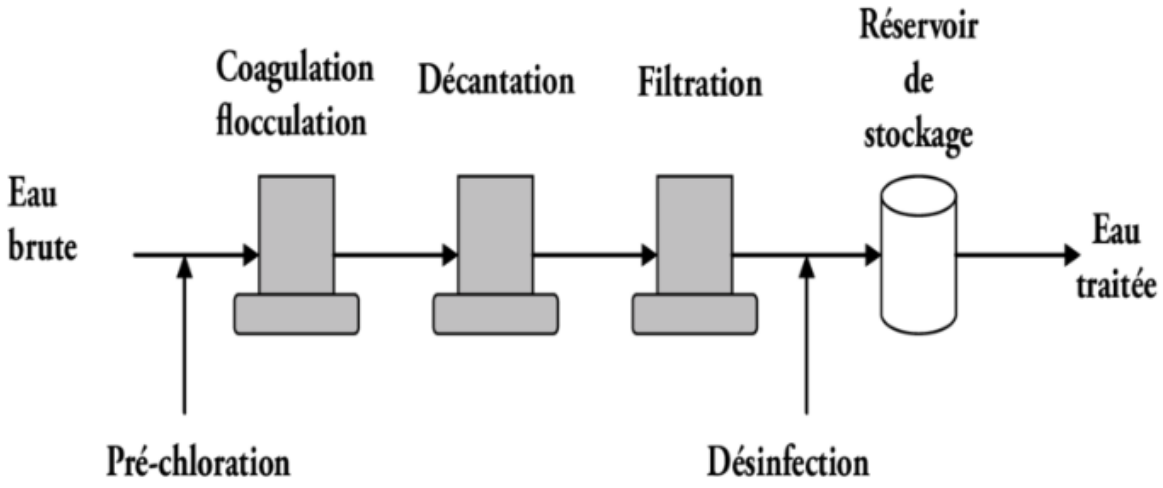


Figure I.3: Différentes étapes du traitement de l'eau

9.4 Etapes du traitement

9.4.1 Prétraitement

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface. Dans le cas d'une eau potable, le prétraitement est principalement de deux types [32] :

- -physique : le dégrillage, le tamisage
- -chimique : peroxydation.

9.4.2 Pré chloration

C'est un procédé chimique qui utilise le chlore (ou l'hypochlorite de sodium), l'ozone, le dioxyde de chlore ou le permanganate de potassium pour l'élimination du fer et du manganèse (notamment pour les eaux souterraines), de la couleur, les matières organiques et les micro-organismes (algues, plancton et bactéries), essentiellement pour les eaux superficielles.

9.4.3 Coagulation-Floculation

Dans le traitement des eaux, coagulation-Floculation est un procédé physico-chimique de clarification des eaux, il réside dans la formation par l'addition de coagulant, trames floconneuses appelées « Flocs ».

La coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico-chimique des eaux, elle consiste essentiellement à neutraliser à diminuer la charge électrique favoriser ainsi le rapprochement des particules en vue de leur agglomération.

La floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle flocs. On peut rajouter un autre réactif appelé floculent ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de flocs.

9.4.4 Décantation

La décantation a pour but d'éliminer les flocs issus de la coagulation et floculation, elle se fait grâce au bassin de décantation, le volume de ce dernier est 3400 m3. Le temps nécessaire pour la décantation des flocs est deux heures.

9.4.5 Filtration sur sable

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro- organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et Collo dalles et par des changements dans sa composition chimique. A la surface du lit se forme une mince couche appelée "membrane biologique". Cette mince couche superficielle est essentielle, car c'est là que le processus d'épuration se déroule.

9.4.6 Désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau. Il peut subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation (stérilisation = destruction de tous les germes présents dans un milieu)

9.4.7 Stockage de l'eau

Une fois traitée, l'eau potable est stockée dans des « réservoirs sur tour », plus communément appelés châteaux d'eaux, ou dans des réservoirs enterrés si la commune dispose d'une zone à topographie élevée. Ce réservoir est une zone tampon entre le débit fourni par la station de traitement et le débit demandé par les usagers. Mais c'est aussi un moyen de mettre l'eau sous pression. Lorsque l'eau sort du château d'eau, sa pression est élevée.

9.5 Surveillance de la qualité de l'eau

La surveillance de l'eau fait référence à un ensemble de mesures et d'activités visant à évaluer et à contrôler la qualité de l'eau dans les différentes sources d'eau, les cours d'eau, les lacs, les nappes souterraines, les systèmes de distribution d'eau et les zones côtières. Elle comprend la collecte d'échantillons d'eau, les analyses chimiques, les tests microbiologiques, ainsi que le suivi des paramètres physico-chimiques pour évaluer la qualité de l'eau et détecter la présence de contaminants [33].

9.5.1 Indicateurs de qualité

Les moyens disponibles sur le terrain pour estimer la qualité de l'eau sont les suivants :

- ✓ L'enquête sanitaire, complété par l'analyse bactériologique.
- ✓ Les analyses physico-chimiques.

Le choix de la méthode s'effectue en fonction de l'objectif poursuivi :

- Recherche de pollution par les matières fécales.
- Caractérisation de l'eau avant de la traiter, ou dans le but de déterminer si le traitement est efficace.
- Caractérisation du milieu : connaître la qualité d'une mare ou d'un cours d'eau avant de l'exploiter pour l'approvisionnement d'une installation, d'un camp de réfugiés ou d'un village ou encore connaître la signature chimique de l'eau des forages afin de mieux comprendre le système aquifère, ou encore pour savoir si l'eau peut être utilisée pour l'irrigation [34].

9.5.2 Contrôle de qualité de l'eau

Dans le but d'avoir une eau de bonne qualité, les contrôles appliqués sont de plus en plus rigoureux. Avec l'introduction de nouvelles substances dangereuses dans le milieu (l'eau est vectrice de nombreux parasites, bactéries ou virus. Il faut prendre des précautions avant de consommer de l'eau dans la nature), ainsi que le développement des techniques d'analyses ; l'eau est devenue un aliment bien contrôlé et surveillé.

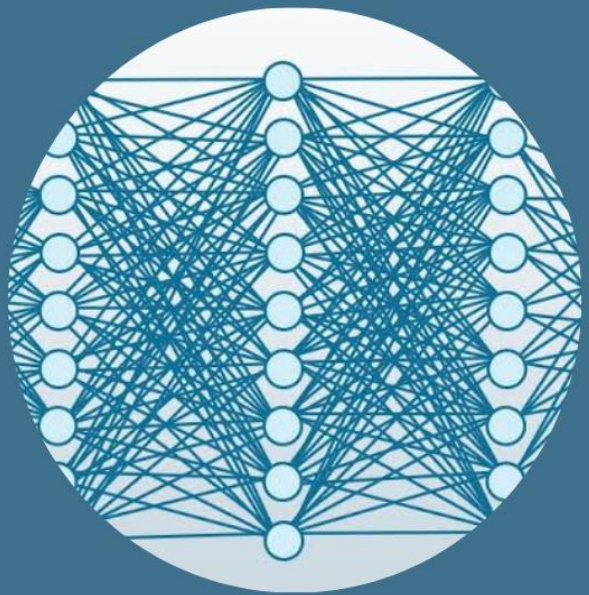
10. Conclusion

Ce chapitre aborde divers concepts et généralités liés à l'eau, à son traitement, ainsi que sa qualité qui est essentielle et nécessite une surveillance continue de cette ressource essentielle. Et d'après ce que nous avons vu, le traitement de l'eau est essentiel à la protection de l'environnement et de la santé publique. Il permet de convertir les sources d'eau brutes en eau potable, sûre et propre à la consommation humaine, pour cela un certain nombre de paramètres doivent être mesuré en permanence pour assurer le bon fonctionnement de ce dernier et pour intervenir dans le cas d'une anomalie.



CHAPITRE 2 :





RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS ET IOT

1. Introduction

Un domaine de l'informatique appelé intelligence artificielle (IA) se concentre sur la création de machines et de systèmes capables de réaliser des tâches qui nécessitent généralement l'intelligence humaine. Au service de l'IoT, l'IA ainsi que ses sous-catégories peuvent apporter une meilleure surveillance et une sécurisation des réseaux. En combinant leurs forces, l'intelligence artificielle et l'internet des objets offrent plusieurs possibilités aux applications.

L'une des approches les plus utilisées en IA sont les réseaux de neurones artificiels, c'est le souhait des chercheurs de comprendre et d'imiter les capacités du cerveau a conduit au leur développement.

Les réseaux de neurones artificiels sont des structures computationnelles constituées de couches de neurones interconnectées. Les entrées sont reçues par chaque neurone, qui effectue des calculs et transmet les résultats aux neurones suivants. Les poids et les biais sont ajustés lors de l'apprentissage du réseau pour effectuer ces connexions et calculs.

Notre chapitre se devise en deux parties, la première partie commence par une explication du neurone biologique et de son interconnexion avec le neurone artificiel, ensuite une définition de neurones artificiels est fournie. Celle-ci est suivie de l'architecture des réseaux de neurones artificiels, leur fonctionnement, et leurs types, encore on va voir l'apprentissage avec ses types. Dans la deuxième partie, nous avons également discuté des concepts de l'Internet des objets, de ses domaines d'application et de leur architecture, ainsi que de leurs avantages et inconvénients.

2. Intelligence artificielle

2.1 Définition

L'intelligence artificielle (IA) est un processus d'imitation de l'intelligence humaine qui repose sur la création et l'application d'algorithmes exécutés dans un environnement informatique dynamique. Son but est de permettre à des ordinateurs de penser et d'agir comme des êtres humains.

Pour y parvenir, trois composants sont nécessaires :

- ✓ Des systèmes informatiques
- ✓ Des données avec des systèmes de gestion
- ✓ Des algorithmes d'IA avancés (code)

Pour se rapprocher le plus possible du comportement humain, l'intelligence artificielle a besoin d'une quantité de données et d'une capacité de traitement élevées [35].



Figure II.1 : Intelligence artificiel

2.2 Domaines de l'intelligence artificielle

L'IA est considérée comme le plus grand domaine d'application : c'est le point de départ du processus de ce modèle. À la base, l'intelligence artificielle est construite sur la capacité de la machine à effectuer des tâches répétitives et simples.

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle est la grande catégorie qui contient toutes les technologies qui s'apparentent à la machine intelligente [36].

- **Machine Learning**

Le machine learning est une évolution de l'intelligence artificielle basée sur l'apprentissage automatique. En effet, là où l'intelligence artificielle était uniquement capable de reproduire des tâches répétitives selon les configurations initiales de son logiciel, le machine learning va pouvoir apprendre grâce aux données massives récoltées, afin d'affiner ses réponses et ses champs de compétences.

Ce modèle est basé sur les algorithmes d'apprentissage. Plus la machine va récolter des données et plus son utilisation pourra être précise. Ce type de logiciel est présent massivement autour de nous, que ce soit sur les réseaux sociaux ou sur les plateformes de streaming dans le but de proposer à l'utilisateur une expérience optimale grâce à la mise en avant de contenus qui pourraient lui plaire en se basant sur son historique.

❖ **Deep learning**

Le deep learning va encore plus loin dans le machine Learning. Cet apprentissage en profondeur permet d'aller encore plus loin dans l'intelligence artificielle car la machine est capable d'analyser des concepts avec plus de précision. Sa compréhension n'est pas linéaire : la machine est dotée d'un réseau de neurones construit en couches successives de données. En croisant toutes les données de ses couches successives, la machine combine les savoirs pour pouvoir proposer une réponse très précise à l'utilisateur. Le fonctionnement de cette intelligence artificielle va permettre d'analyser des données au haut niveau d'abstraction. Cette technologie est présente dans la reconnaissance faciale, par exemple, ou encore dans des logiciels très aboutis d'intelligence artificielle comme Alphago, le logiciel de Google qui a battu le champion du monde du jeu de Go avant de se battre lui-même.

3 Réseaux de neurones artificiels (RNA)

Les RNA sont des modèles d'entrées-sortie basés sur un caractère des neurones biologiques, le but initial de cette modélisation est de reproduire les capacités du cerveau humain à interpoler ou à classifier.

Historique

Le champ des réseaux neuronaux va démarrer par la présentation en 1943 par W. MCCulloch et W. Pitts du neurone formel qui est une abstraction du neurone physiologique. Le retentissement va être énorme. Par cette présentation, ils veulent démontrer que le cerveau est équivalent à une machine de Turing, la pensée devient alors purement des mécanismes matériels et logiques. Il déclara en 1955 "Plus nous apprenons de choses au sujet des organismes, plus nous sommes amenés à conclure qu'ils ne sont pas simplement analogues aux machines, mais qu'ils sont machine." Mysterium Iniquitatis of Sinful Man Aspiring into the Place of God, repris in Embodiments of mind. La démonstration de McCulloch et Pitts sera un des facteurs importants de la création de la cybernétique.

En 1949, D. Hebb présente dans son ouvrage "The Organization of Behavior" une règle d'apprentissage. De nombreux modèles de réseaux aujourd'hui s'inpirent encore de la règle de Hebb.

En 1958, F. Rosenblatt développe le modèle du Perceptron. C'est un réseau de neurones inspiré du système visuel. Il posséde deux couches de neurones : une couche de perception et une couche liée à la prise de décision. C'est le premier système artificiel capable d'apprendre par expérience

Dans la même période, Le modèle de L'Adaline (ADAptive LINar Element) a été présenté par B. Widrow, chercheur américain à Stanford. Ce modèle sera par la suite le modèle de base des réseaux multi-couches.

En 1969, M. Minsky et S. Papert publient une critique des propriétés du Perceptron. Cela va avoir une grande incidence sur la recherche dans ce domaine. Elle va fortement diminuer jusqu'en 1972, où T. Kohonen présente ses travaux sur les mémoires associatives, et propose des applications à la reconnaissance de formes.

C'est en 1982 que J. Hopfield présente son étude d'un réseau complétement rebouclé, dont il analyse la dynamique.

Aujourd'hui, les réseaux neuronaux sont utilisés dans de nombreux domaines (entre autres, vie artificielle et intelligence artificielle) à cause de leur propriété en particulier, leur capacité d'apprentissage, et qu'ils soient des systèmes dynamiques [37].

4. Neurone biologique

Définition

Un neurone est l'un des éléments de base du système nerveux et du cerveau. Cette cellule est spécialisée dans le traitement, la réception et la transmission des informations électrochimiques vers d'autres cellules nerveuses du cerveau central ou périphérique. La figure II.2 illustre le neurone biologique [38].

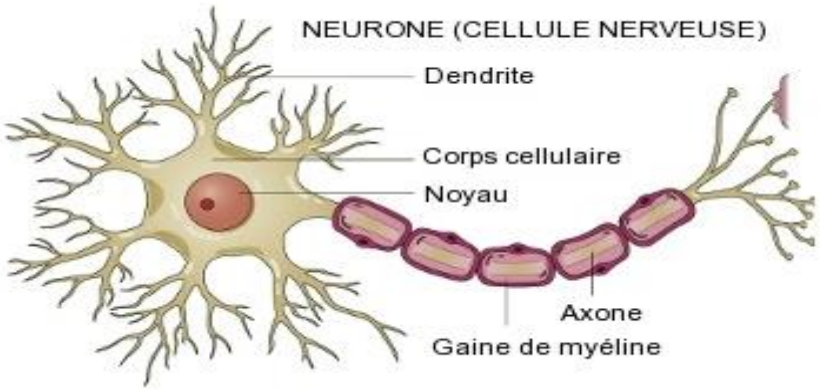


Figure II.2 : Neurone biologique

Comme le montre la figure ci-dessus chaque neurone est composé :

- D’un corps cellulaire ou péricaryon comportant le noyau.

- De très nombreuses ramifications de type dendritiques (d'où proviennent les informations).
- Et d'un axone (par ou sont diffusées les informations

5. Généralités sur les réseaux de neurones

5.1 Neurone formel (artificiel)

Le neurone artificiel désigne le nœud, l'unité de base ou l'unité de calcul élémentaire d'un réseau de neurones artificiels (neural network). Le neurone artificiel reçoit généralement plusieurs valeurs d'entrée et calcule une valeur de sortie en appliquant une fonction d'activation (transformation non linéaire) à une somme pondérée des valeurs d'entrée. C'est la représentation mathématique et informatique simplifiée du neurone biologique.

La figure suivante (II.3) illustre le parallèle entre les composantes du neurone biologique et celles du neurone formel [39].

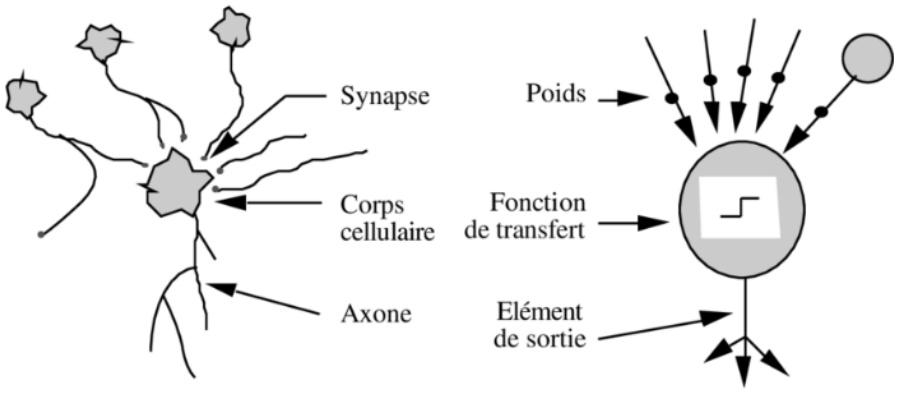


Figure II.3 : Neurone formel et neurone biologique.

- Synapse représente poids de connexion.
- Corps cellulaire représente fonction de transfert.
- Axone représente l'élément de sortie.

5.2 Principe du neurone artificiel

Un neurone artificiel est constitué de couches nodales, contenant une couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées et une couche de sortie. Chaque nœud, ou neurone artificiel, se connecte à un autre et possède un poids et un seuil associés. Si la sortie d'un nœud est supérieure à la valeur de seuil spécifiée, ce nœud est activé et envoie des données à la couche suivante du

réseau. Sinon, aucune donnée n'est transmise à la couche suivante du réseau. Comme le montre la figure II.4.

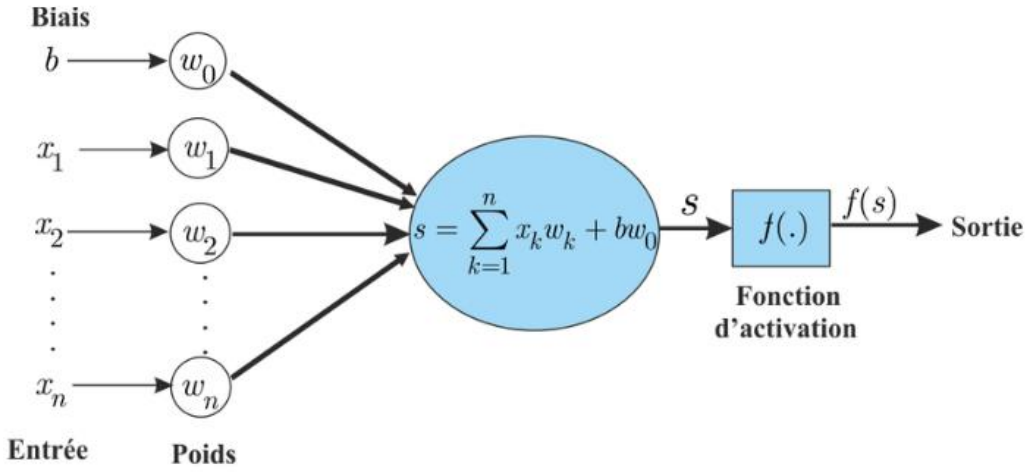


Figure II.4 : Neurone formel

Il se compose de :

- Signaux d'entrés : $x_0, x_1, x_2, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, x_n$
- Pois des connexions : $w_{i0}, w_{i1}, w_{i2}, \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, w_{in}$
- Fonction d'activation : $f(x, w)$
- Etat interne d'activation : $a = f(x, w)$
- Fonction de transition : $f(a)$
- Etat de sortie : $s = f(a)$

5.3 Caractérisation d'un RNA

Un réseau de neurone artificiel se caractérise par :

- Une architecture (topologie).
- Une méthode d'apprentissage.
- Une/des fonction(s) d'activation, ou fonction(s) de sortie, pour les neurones le composant.

5.4 Fonctionnement des réseaux neuronaux

Le réseau de neurones artificiels est basé sur plusieurs processeurs fonctionnant en parallèle. Ces processeurs sont organisés en tiers. Le premier tiers a pour fonction de recevoir les entrées de données brutes. Chacun des tiers reçoit ensuite les sorties d'informations transmises par le tiers précédent. Le dernier tiers est chargé de produire les résultats du système. Plus le problème est complexe, plus il faut de couches pour le traiter.

Chaque neurone a une valeur particulière qui détermine quelle information peut être transmise au système. La fonction d'activation permet quant à elle de calculer la valeur de sortie de chaque neurone. C'est ce calcul qui détermine combien de neurones doivent être activés pour résoudre le problème. Un algorithme est ensuite créé. Il fait correspondre un résultat à chacune des entrées [40].

5.4.1Fonction d'activation

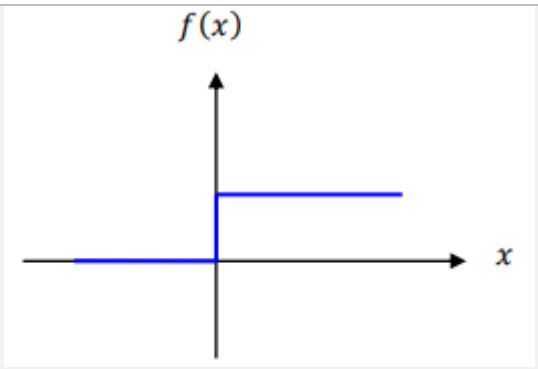
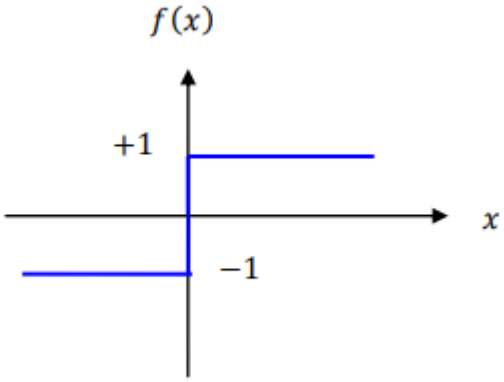
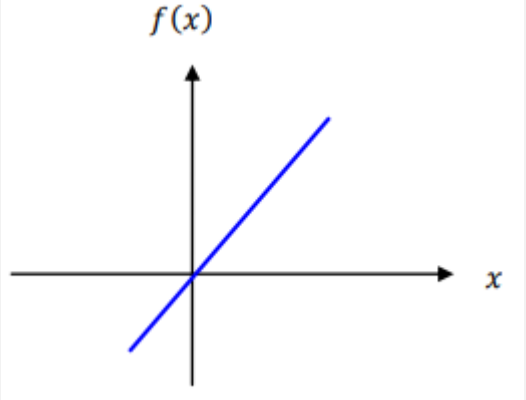
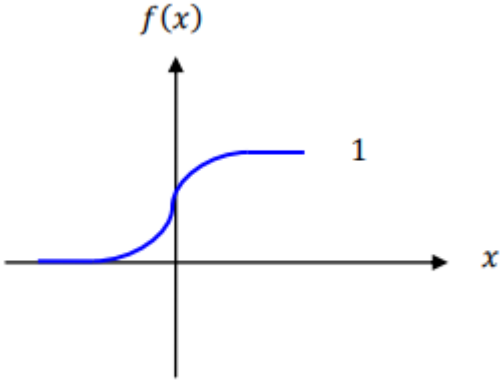
Dans le domaine des réseaux de neurones artificiels, la fonction d'activation est une fonction mathématique appliquée à un signal en sortie d'un neurone artificiel. Le terme de fonction d'activation vient de l'équivalent biologique « potentiel d'activation », seuil de stimulation qui, une fois atteint entraîne une réponse du neurone. La fonction d'activation est une fonction non-linéaire.

Un neurone ne va faire qu'appliquer la fonction suivante :

$$\mathbf{X = \sum (entrée * poids) + biais} \qquad \mathbf{(2.1)}$$

Le choix de la fonction d'activation pour les réseaux de neurones artificiels dépend de l'application car chacune est adaptée à certaines applications [41]. Voici les principales fonctions d'activations que l'on peut trouver dans le domaine des réseaux de neurones :

Tableau II.1 : Fonctions d'activation des réseaux de neurones artificiels

Nom de la fonction	*Relation entrée/sortie*	*Allure*
Seuil	$f(x) = \begin{cases} 0 \; si \; x < 0 \\ 1 \; si \; x \geq 0 \end{cases}$	
Seuil symétrique	$f(x) = \begin{cases} -1 \; si \; x < 0 \\ 1 \; si \; x \geq 0 \end{cases}$	
Linéaire	$f(x) = x$	
Sigmoïde	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	

5.4.1 Architectures des réseaux de neurones artificiels

La topologie des réseaux de neurones diffère selon la logique d'interconnexion qui relie les neurones entre eux à travers différentes couches. Cela permet de distinguer ces types d'architectures des réseaux de neurones.

5.4.2 Réseaux statiques "Feed-Forward"

Réseau statique ‘’non boucle’’ c'est un réseau qui réalise une (ou plusieurs) fonctions algébriques de ces entrées, par composition des fonctions réalisées par chacun des neurones. Il est donc représenté graphiquement par un ensemble de neurones « connectes » entre eux, l'information circulant des entrées vers les sorties sans « retour en arrière » [42] Comme le montre l'illustration II.5.

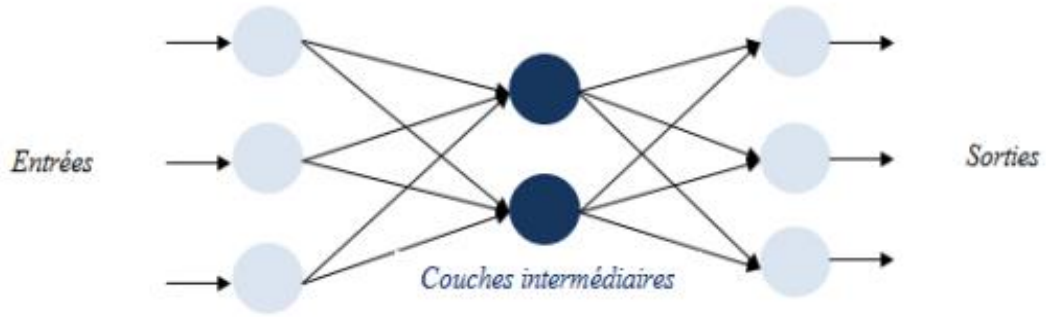


Figure II.5 : Structure d'un réseau non récurrent.

5.4.3Réseaux récurrents "Feedback"

Il s'agit d'un réseau de neurones avec un retour en arrière où sa structure est organisée d'une façon récurrente ou bien cyclique, comme la figure 05 montre. Cela suppose que chaque neurone reçoit sur ses entrées en plus des informations externes, une partie dont la totalité des sorties des autres neurones. La sortie du neurone peut être alors fonction d'elle-même si la notion de temps est prise en considération [43]. La figure II.6 nous montre ce type de réseau.

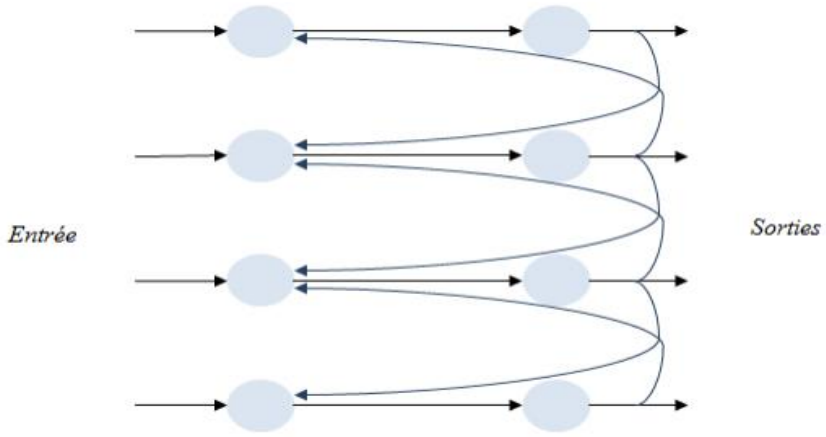


Figure II.6 : Structure d'un réseau récurrent.

5.5 Types des réseaux de neurones

Dans la figure ci-dessous (II.7), différents types de neurones artificiels sont représentés.

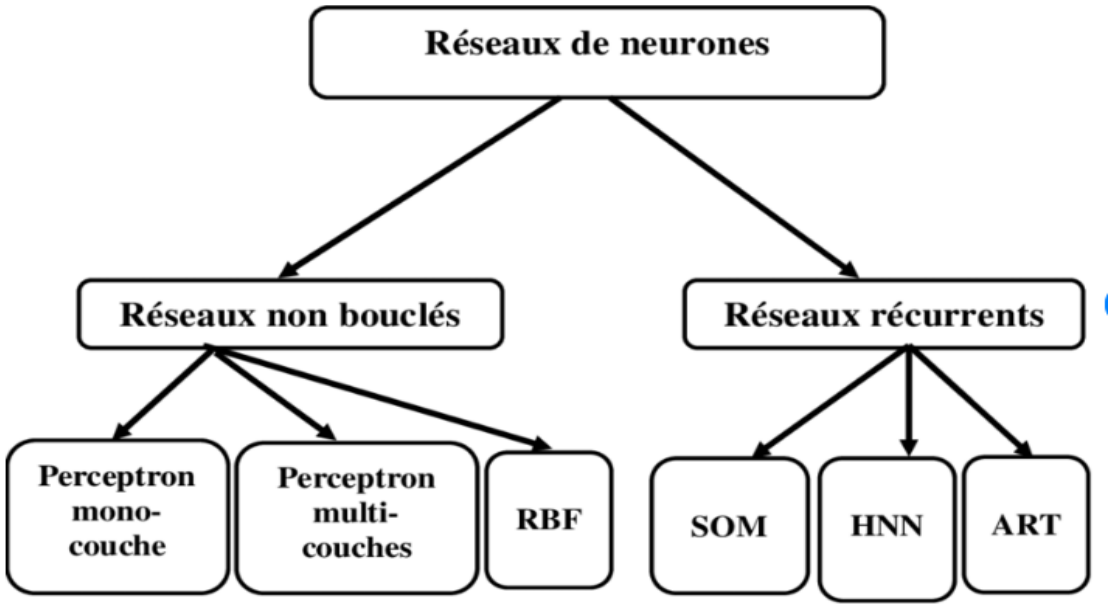


Figure II.7 : Types de RNA

5.5.1 Perceptron monocouche :

C'est historiquement le premier RNA, c'est le perceptron de Rosenblatt. C'est un réseau simple, puisqu'il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie. Il est calque, a la base, sur le système visuel et de ce fait connu en premier dans la reconnaissance des formes.

Cependant, il peut aussi être utilise pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simple (telle “ET” ou “OU”). Sa principale limite est qu’il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables. Il suit généralement un apprentissage supervise selon la règle de correction de l’erreur (ou selon la règle de Hebb) [44]. La figure II.8 illustre le schéma de ce dernier.

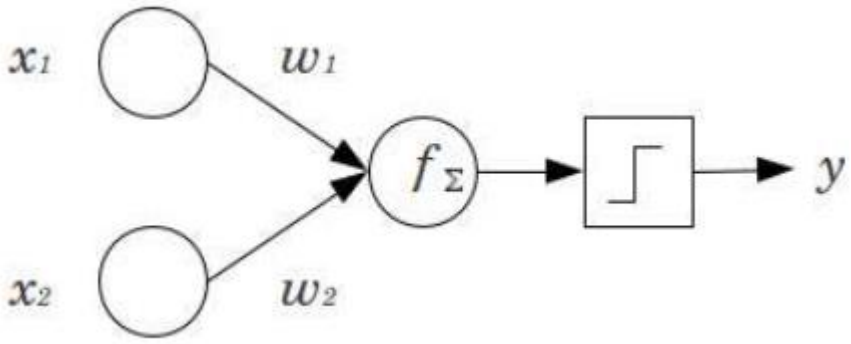


Figure II.8 : Schéma d'un réseau de neurones monocouche.

Le réseau fonctionne comme suit : la rétine est activée pour présenter une donnée au réseau. L'activation se propage vers la couche de sortie, où la réponse du système peut être notée. La formule suivante est utilisée pour cette réponse :

$$\boldsymbol{\gamma = \varphi(\sum_{i=1}^{2} w_i\ x_i\ +\ w_0)} \qquad (2.2)$$

φ : la fonction d’activation utilisee.

w_i : les poids de neurone.

x_i : les entrees.

w_0 : le seuil de neurone.

5.5.2 Perceptron multicouche (MLP) :

C’est une extension du précèdent, avec une ou plusieurs couches cachées entre l’entrée et la sortie. Chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (excepte pour les couches d’entrée et de sortie) et il n’y pas de connexions entre les cellules d’une même couche. Les fonctions d’activation utilisées dans ce type de réseaux sont principalement la fonction a seuil ou sigmoïdes. Il peut résoudre des problèmes non-linéairement séparables et des problèmes logiques plus compliques, et notamment le fameux problème du XOR. Il suit aussi un apprentissage supervise selon la règle de correction de l’erreur.

La figure II.9 représente un réseau de neurones non bouclé qui a une structure particulière, très fréquemment utilisée : il comprend des entrées, deux couches de neurones cachés et des neurones de sortie. Les neurones de la couche cachée ne sont pas connectés entre eux. Cette structure est appelée Perceptron multicouches [44].

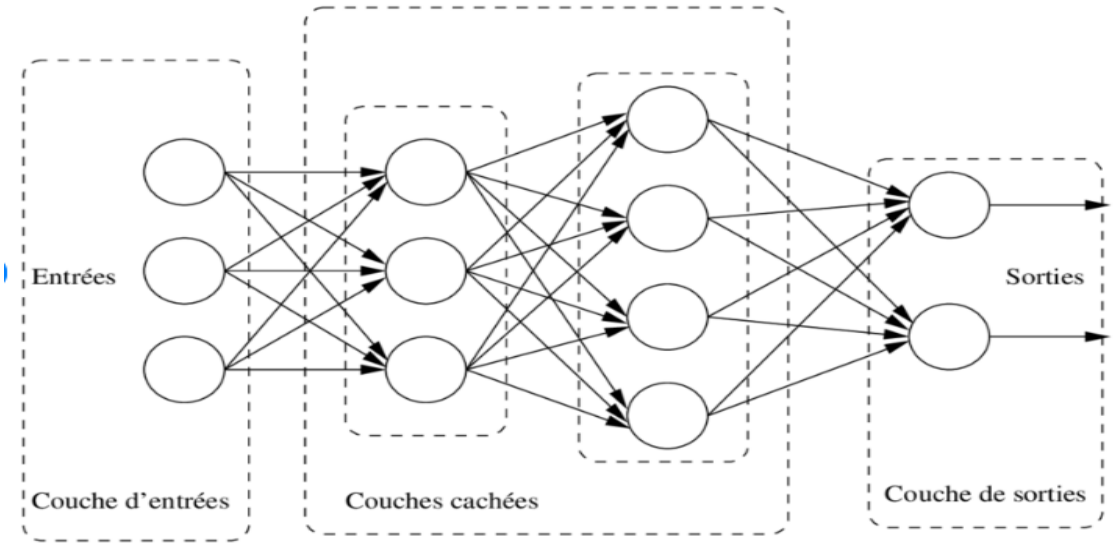


Figure II.9 : Schéma d'un réseau de neurones multicouche.

5.5.2.1 Mise En Œuvre Du Réseau De Neurones MLP

Dans le cas général, un MLP peut posséder un nombre de couches quelconque, mais en vue de perfectionner le fonctionnement du MLP d'un côté et minimiser au maximum le temps de calcul d'un autre, on doit chercher une architecture optimale du point de vue nombre de couches et nombre de neurones par couche.

A partir d'une architecture de réseau de neurones donnée et des exemples disponibles (la base d'apprentissage), on détermine les poids optimaux, par l'algorithme de la rétropropagation des erreurs, pour que la sortie du modèle s'approche le plus possible au fonctionnement désiré [45].

5.5.2.2 Apprentissage Des Réseaux MLP

L'architecture est définie, le réseau MLP passe à la phase d'apprentissage. Il suit un mode d'apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur en utilisant l'algorithme de retro propagation (RP).

C'est un algorithme puissant, facile à mettre en œuvre et simple même pour les modèles complexe. Son principe consiste à minimiser la valeur moyenne de l'erreur entre la sortie

calculée et la sortie désirée. Pour cela, il faudra une fonction non linéaire, continue et différentiable comme la fonction de transfert du neurone.

Il suit un apprentissage supervisé et utilise la règle d'apprentissage de rétro propagation. En général, les neurones du Perceptron multicouches sont animés par une fonction d'activation non linéaire (au moins dans une des couches) google favorite. Les choix classiques pour cette fonction sont [46] :

- La fonction tangente hyperbolique $\varphi(x) = tanh(x)$ (c'est le choix standard) (2.3)
- La fonction sigmoïde : $\varphi(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ (2.4)

➢ **Algorithme de rétropropagation**

L'algorithme d'apprentissage de rétropropagation consiste dans un premier temps à circuler vers l'avant les données d'entrées jusqu'à l'obtention d'une entrée calculée par le réseau, puis la seconde étape est de comparer la sortie calculée à la sortie réelle connue [47].

5.5.3 Réseaux à fonction radiale « RBF »

Les réseaux à fonction radiale RBF sont très semblables à celle des PMC mais leur particularité est qu'ils sont caractérisés par 1 'utilisation des fonctions Gaussiennes comme fonctions de base. Les RBF sont donc utilisés dans les mêmes genres de problèmes que les PMC à savoir, en classification et en prédiction. Parmi les types d'apprentissage utilisés pour les RBF on peut citer le mode hybride avec les règles de correction de l'erreur. Le schéma de celui-ci est présenté à la figure II.10 [48].

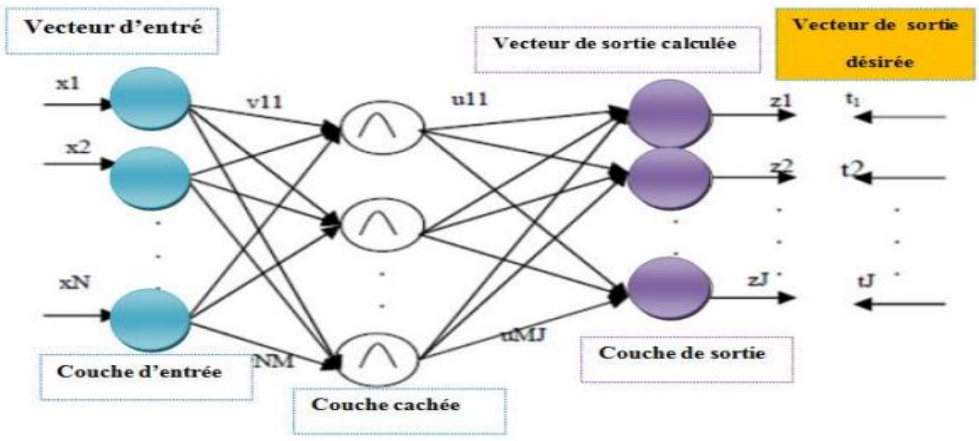


Figure II.10 : Structure d'un réseau RBF

5.5.4 Cartes auto-organisatrice de Kohonen :

Ce type de réseau, aussi appelé SOM (“Self Organised Maps”) est un réseau a apprentissage non-supervise qui établit une carte discrète, ordonnée topologiquement, en fonction de patterns d’entrée. Le réseau forme ainsi une sorte de treillis ou chaque nœud du treillis est un neurone associe à un vecteur de poids. La correspondance entre chaque vecteur de poids est calculée pour chaque entrée. Par la suite, le vecteur de poids ayant la Meilleur corrélation, ainsi que certains de ses voisins, vont être modifiés afin d’augmenter encore cette corrélation. La figure II.11 montre la carte auto-organisatrice de Kohonen [44]**.**

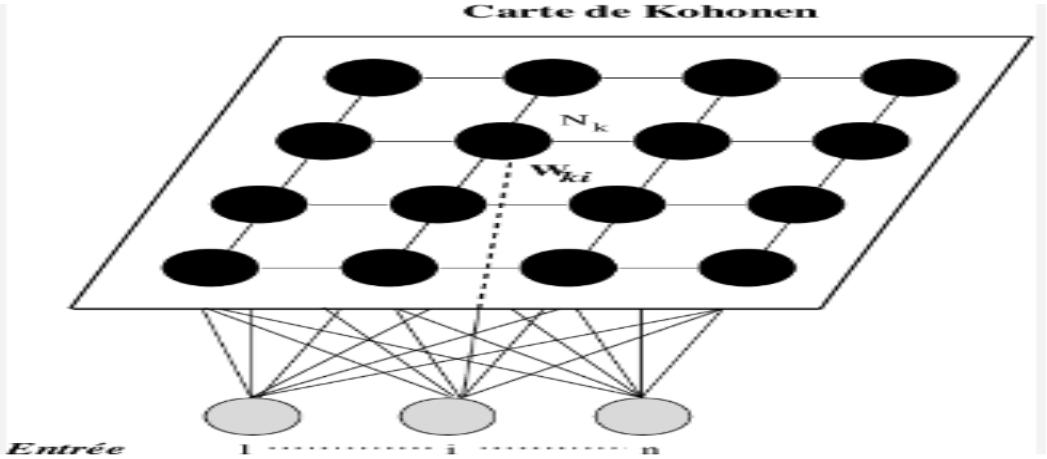


Figure II.11 : Carte de kohonen

5.5.5 Réseaux de hopfield

Ce type de réseaux utilise un apprentissage non-supervisé, il est particulièrement utilisé dans la résolution de problèmes d'optimisation.

Les réseaux de Hopfield sont considérés comme des réseaux totalement connectés et il n'y a aucune différenciation entre les neurones d'entrée et de sortie (Davalo et Naim 1989). Ce genre de réseaux opère comme une mémoire associative non-linéaire qui a la capacité de discerner un objet stocké dans un espace de données [44]. Comme l’indique la figure II.12.

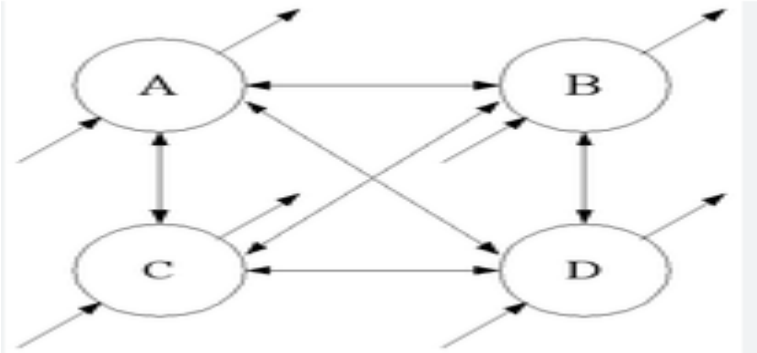


Figure II.12 : Réseaux de hopfield

5.5.6ART

Les réseaux ART (“Adaptative Resonnance Theorie “) sont des réseaux à apprentissage par compétition. Le problème majeur qu’il se pose dans ce type de réseau est le dilemme << stabilité/plasticité >>. En effet, dans un apprentissage par compétition, rien ne garantit que les catégories formées vont rester stable. La seule possibilité, pour assurer la stabilité, serait que le coefficient d’apprentissage tende vers zéro, mais le réseau perdrait alors sa plasticité. Les ART ont été connus spécifiquement pour contourner ce problème.

Dans ce genre de réseau, les vecteurs de poids ne seront adaptés que si l’entrée fournie est suffisamment proche, d’un prototype déjà connu par le réseau. On parlera alors de résonance. A l’inverse, si l’entrée s’éloigne trop des prototypes existants, une nouvelle catégorie va alors se créer, avec pour prototype, l’entrée qui a engendre sa création. Il est à noter qu’il existe deux principaux types de réseau ART : les ART-1 pour des entrée binaires et les ART-2 pour des entrées continues. Le mode d’apprentissage des ART peut être supervise ou non [44].

5.6 Apprentissage des réseaux de neurones

Une fois l’architecture est choisie, elle doit subir une phase d’apprentissage qui constitue le point crucial du développement d’un réseau de neurones. C’est La procédure qui consiste à estimer les paramètres de neurones de réseau, afin que celui-ci remplisse au mieux la tâche qui lui est affectée [43].

Dans le cadre de cette définition on peut distinguer ces types d’apprentissage :

- L’apprentissage supervise.
- L’apprentissage non-supervise.
- L’apprentissage semi-supervise.
- Apprentissage par renforcement

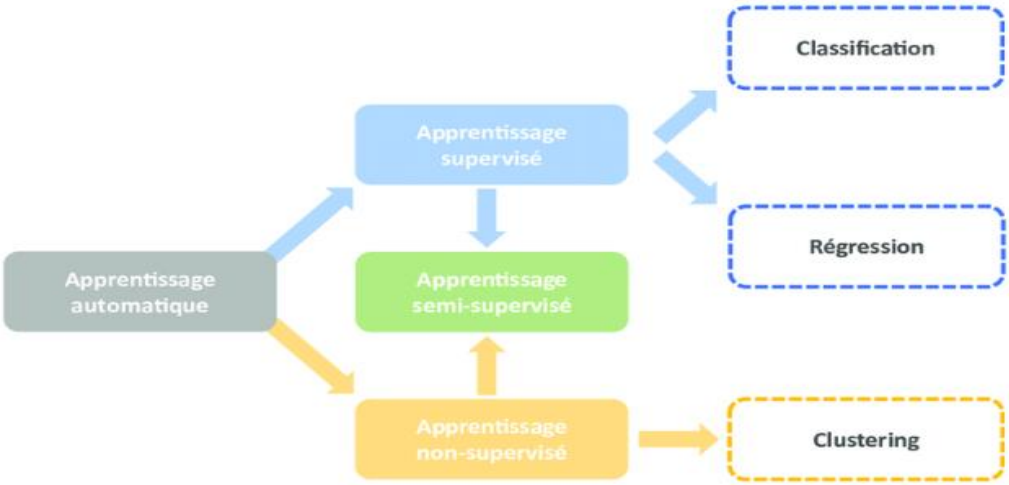


Figure II.13 : Different types d'apprentissage

5.6.1Apprentissage supervise

L'apprentissage supervisé est une méthode d'apprentissage automatique, caractérisée par la création d'un algorithme qui apprend une fonction prédictive. Ceci est possible grâce à un entrainement à partir d'exemples annotés, qui inclus un groupe de variables d'entrée, accompagnées de leurs variables de sortie respectives.

Ce processus d'entrainement est répété jusqu'à l'obtention d'une performance satisfaisante. Lors de chaque itération, la machine crée un certain nombre de règles, reliant les variables d'entrée aux variables de sortie. Ce processus permet au modèle d'apprendre à partir des données et d'appliquer les règles afin prédire, de façon précise, la valeur de sortie lorsqu'une valeur d'entrée est donnée [49]. Comment procéder est illustré dans la figure II.14.

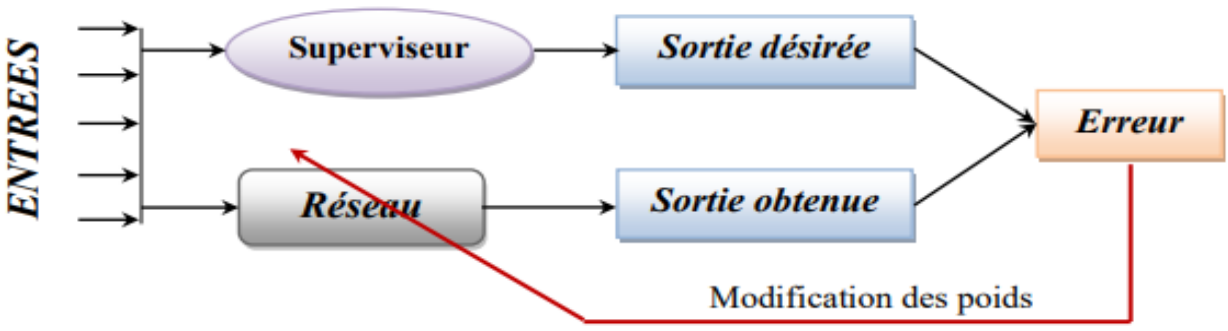


Figure II.14 : Apprentissage supervise

5.6.2 Apprentissage non-supervise

L'apprentissage non supervisé consiste à apprendre à un algorithme d'intelligence artificielle (IA) des informations qui ne sont ni classées, ni étiquetées, et à permettre à cet algorithme de réagir à ces informations sans supervision.

Dans ce mode d'apprentissage, le système d'IA peut regrouper des informations non triées en fonction de leurs similitudes et de leurs différences, même si aucune catégorie n'est indiquée comme illustre la figure II.15. Les systèmes d'IA capables d'utiliser l'apprentissage non supervisé sont souvent associés à des modèles d'apprentissage génératifs, mais ils peuvent aussi fonctionner avec une approche basée sur la récupération (souvent associée à l'apprentissage supervisé) [50].

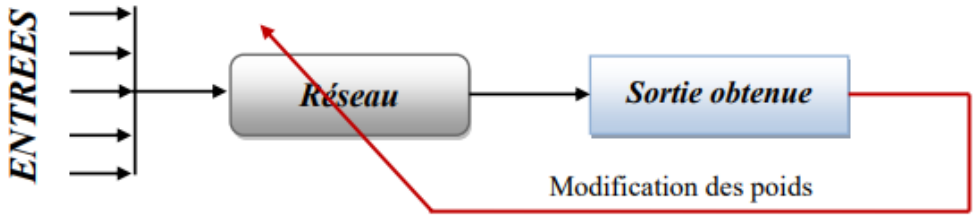


Figure II.15 : Apprentissage non-supervise

5.6.3Apprentissage semi-supervise

Les méthodes d'apprentissage semi-supervisé combinent données étiquetées et non étiquetées. Les algorithmes de ce type se nourrissent de certaines informations grâce à des catégories labélisées, des suggestions et des exemples. Ensuite, ils créent leurs propres labels en explorant les données par eux-mêmes, en suivant un schéma rudimentaire ou les indications de data scientists [51].

5.6.4Apprentissage par renforcement

Les algorithmes d'apprentissage par renforcement, voir figure II.16, sont basés sur des systèmes de récompenses et de punitions. L'algorithme se voit assigner un objectif et cherche à s'en rapprocher pour obtenir une récompense maximale. Il se base sur des informations limitées et apprend de ses actions précédentes. Ces algorithmes peuvent dépendre d'un schéma (un modèle) ; ils doivent alors suivre des étapes prédéfinies et le nombre d'erreurs et d'essais est limité. D'autres ne se reposent pas sur un schéma et interprètent à chaque nouvel essai [52].

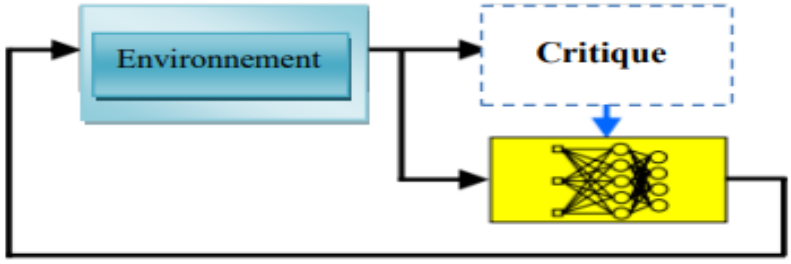


Figure II.16 : Apprentissage par renforcement

5.7 Application des réseaux de neurones artificiels

Se trouvant face aux différents domaines (biologique, électronique, informatique… etc.), l'utilisation des réseaux de neurones présente une très grande utilité dans divers domaines d'application telle que [53] :

- ✓ Le traitement du signal avec l'égalisation non linéaire, la reconnaissance des signaux radar…, etc.
- ✓ Les applications de reconnaissance des formes dans la lecture des codes postaux ou reconnaissance automatique d'image (imagerie, satellitaires, la détection et la reconnaissance de visage..., etc.).
- ✓ Extraction des connaissances et les problèmes de classification et d'optimisation (la feuille de données).
- ✓ Les prévisions en marketing, la prédiction en météo ainsi que les estimations de probabilité de succès.
- ✓ L'automatique pour modélisation/identification des systèmes non-linéaires, la robotique (modélisation d'un actionneur d'un bras d'un robot) et la modélisation des procédés industriels.

6 Internet des objets (Internet of Things)

6.4 Définition de l'objet

Un objet connecté est un matériel électronique qui peut communiquer avec un Smartphone, une tablette tactile et/ou un ordinateur, ses caractéristiques pouvant évoluer au cours du temps (position, niveau de batterie, etc.). Il peut envoyer et recevoir des informations, via une liaison sans fil, Bluetooth ou Wifi, etc. D'autres définitions s'accordent à dire qu'un objet connecté possède des capacités de calcul, d'acquisition (capteur) et d'action (actionneur).

L'intérêt principal d'un objet connecté est l'interactivité, la possibilité de récupérer des informations, ou d'envoyer des statistiques, de garder le contact, etc [54] … comme le montre la figure ci-dessous certains objets connectés.



Figure II.17 : Diffèrent objets connectes à l'IoT

6.5 Définition de l'IoT

L'Internet des Objets, communément appelé en anglais Internet of Things (IoT) désigne une technologie d'avant-garde, où les objets traditionnellement non connectés qui nous entourent (comme des lampes, machines, vêtements, etc.), qu'ils soient physiques ou virtuels, ont désormais la capacité de communiquer entre eux en temps réel. Ce réseau d'objets connectés là permet le partage de leurs données par l'intermédiaire d'une plateforme Cloud et ce, sans intervention humaine. Grâce à l'optimisation des interactions entre les humains et les machines et à la multiplication des flux de données, que les objets connectés offrent la possibilité de définir les besoins précis d'un individu, de sorte à lui offrir un bien ou un service unique [55]. La figure qui suit montre la nouvelle dimension de l'IoT, elle comprend trois éléments importants :

- Connexion à tout moment
- Tout lieu connexion
- Tout chose connexion

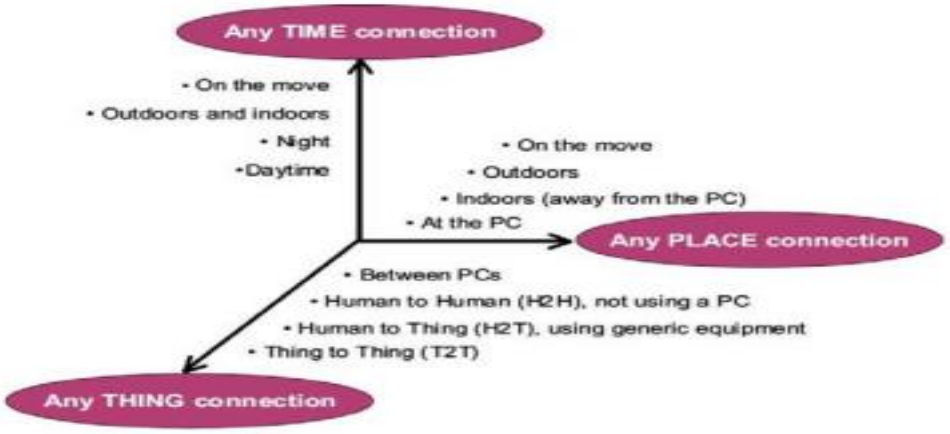


Figure 48 : Nouvelle dimension pour l'IoT

6.6 Principes des IoT

L'IoT se compose de plusieurs éléments complémentaires, dont chacun a ses propres caractéristiques. Il permet l'utilisation d'un système d'identification électronique appareils mobiles standard et sans fil, identifiés directement et sans ambiguïté objets physiques et capacité à récupérer, stocker, transmettre et traiter sans interruption données connexes. L'IoT est une combinaison d'innovations et de solutions technologiques récentes existant. Chaque objet est équipé d'une identification électronique unique capable de lire et transporter des données par des protocoles dans le réseau Internet. Cependant, il faut définir la nature d'un objet, sa fonction, sa localisation dans l'espace, son histoire pour créer un lien entre physique et virtuel, les dispositifs technologiques doivent modéliser donc l'environnement réel et rendez-le virtuel [56].

6.7 Fonctionnement de l'IoT

Pour fonctionner, l'Internet des objets (IoT) utilise des puces informatiques et des capteurs capables de se connecter à Internet qui sont intégrés à des objets tels que les équipements industriels, les voitures, les bâtiments et divers appareils. Ils transmettent et reçoivent des données par Internet, réagissant généralement selon des règles d'événement prédéterminées. Les appareils peuvent également envoyer les données recueillies aux services de cloud computing par Internet, Bluetooth, NFC, etc. Les entreprises peuvent ensuite agréger et analyser ces données afin d'améliorer leurs services ou de déceler les bogues.

L'IoT peut également utiliser l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique pour faciliter et dynamiser les processus de collecte de données [57].

Ce fonctionnement se divise en quatre étapes :

- Capture des données.
- Partage des données.
- Traitement des données.
- Exploitation des données.

6.8 Composants de l'IoT

L'IoT se compose de :

- Les objets (capteurs).
- Le réseau (connectivité).
- Les données.
- Les informations.
- Les applications d'exploitation

6.9 Domaine d'application de l'IoT

Plusieurs domaines d'application sont touchés par l'IoT, Parmi ces principaux domaines nous citons : le domaine de la sécurité, le domaine du transport, l'environnement et l'infrastructure et les services publics…etc [58]. Comme l'indique la figure II.19.



Figure II.19 : Différents domaines d'application de l'IoT.

❖ **Transports**

Depuis la création de l'IoT en 1999, le nombre des véhicules intelligents sont en croissance, presque tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment déjà des capteurs

et de moyens de communication pour traiter la congestion du trafic, la sécurité, la pollution et le transport efficace des marchandises, etc. La figure suivante II.20 montre ceci.



Figure II.20 : Domaine de l'IoT dans les transports

❖ **Santé**

Dans le domaine de la santé, l'IoT permettra le déploiement de réseaux personnels pour le contrôle et le suivi des signes cliniques, notamment pour des personnes âgées, les objets connectés permettent de suivre la tension, le rythme cardiaque, la qualité de respiration ou encore la masse graisseuse. Ceci permettra ainsi de faciliter la télésurveillance des patients à domiciles, et apporter des solutions pour l'autonomie des personnes à mobilité réduite. La figure suivante représente l'utilisation de l'Internet des objets dans le domaine de la santé.



Figure II.21 : Domaine de l'IoT dans la sante.

❖ **Domotique**

C'est un ensemble de technologies qui permettent à la maison d'être intelligente, de penser par elle-même, et de contrôler divers équipements depuis la même interface

(téléphone, panneau) grâce à l'Internet des objets, qui a facilité et créé la communication entre les appareils électroménagers et les a contrôlés. À distance, et dans ce sens et la propagation de l'Internet des objets nous arrivons aux villes. Comme le montre la figure ci-dessous, les différentes choses que nous pouvons contrôler avec l'IoT.



Figure II.22 : Domaine de l'IoT dans la domotique.

❖ **Agriculture**

L'agriculture intelligente a pour objet de renforcer la capacité des systèmes agricoles, de contribuer à la sécurité alimentaire en intégrant le besoin d'adaptation et le potentiel d'atténuation dans les stratégies de développement de l'agriculture durable.

Cet objectif a été atteint enfin par l'utilisation des nouvelles technologies, telles que l'imagerie satellitaire et l'informatique, les systèmes de positionnement par satellite de comme GPS, aussi par l'utilisation des capteurs qui vont s'occuper de récolter les informations utiles sur l'état du sol, taux d'humidité, taux des sels minéraux, etc. et envoyer ces informations au fermier pour prendre les mesures nécessaires garantissant la bonne production. Voir la figure II.23.



Figure II.23 : Domaine de l'IoT dans l'agriculture.

❖ Industrie

L'Internet des objets a révolutionné le monde de l'industrie manufacturière. Le fait de connecter la chaîne de valeur permet une réduction majeure des inefficacités liées à la gestion des ressources, aux arrêts non planifiés et à la logistique non optimisée. Au début, les premières implémentations des systèmes IoT au sein des manufactures offraient aux opérateurs une transparence et une accessibilité à l'état de la production. Le développement de ces technologies et des disciplines connexes telles que l'intelligence artificielle, a permis au rôle de l'IoT de migrer d'un simple outil de suivi à un outil de gestion automatisée où les programmes informatiques dictent la cadence des machines et suggèrent de nouvelles planifications de production. La figure II.24 montre comment l'IoT contrôle l'industrie.



Figure II.24 : Domaine de l'IoT dans l'industrie.

❖ Villes intelligentes (Smart cities)

La ville intelligente est un des cas phares du déploiement des technologies de l'Internet des objets en milieu urbain. Équiper les villes de capteurs et d'équipements autonomes leur permet de gagner en efficacité. Dans un contexte de ville intelligente, plusieurs capteurs sont déployés à différents endroits pour relever un large spectre de données démographiques (liées à l'achalandage, à l'empreinte de carbone, au niveau sonore, etc.). Cette collecte permet de constituer un panorama clair de la dynamique de la ville et de comprendre l'évolution de ses besoins.

Des données factuelles et à jour permettent de gérer davantage les flux d'achalandage, de prévenir les dégagements excessifs de CO_2, de mieux organiser les ressources disponibles (p.

ex. la gestion intelligente des déchets) et de mieux déployer les ressources humaines à la disposition de la ville, comme illustre la figure ci-dessous.

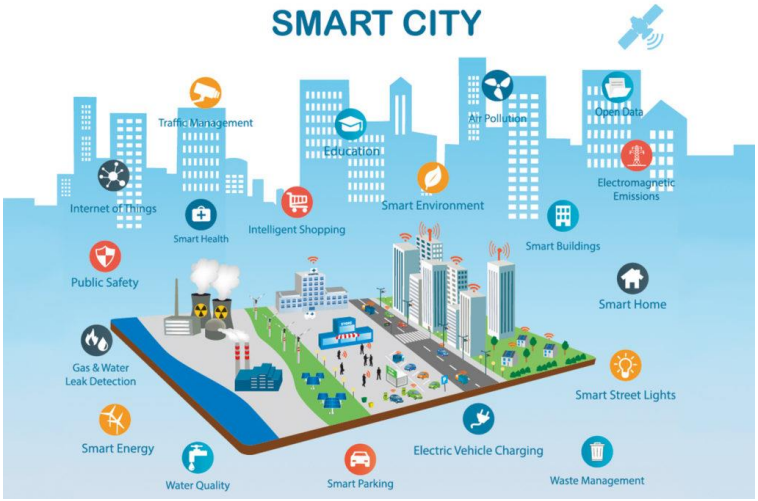


Figure II.25 : Domaine de l'IoT dans l'industrie.

6.10 Architecture d'IoT

L'architecture IoT comprend plusieurs briques de systèmes IoT connectés pour garantir que les données des objets générées par les capteurs sont collectées, stockées et traitées dans les big data warehouse et que les actionneurs des objets exécutent les commandes envoyées via une application utilisateur.

C'est un cadre qui définit les composants physiques, l'organisation fonctionnelle et la configuration du réseau, les procédures opérationnelles et les formats de données à utiliser. La figure II.26 présente l'architecture de l'Internet des objets et ses différents processus [59].

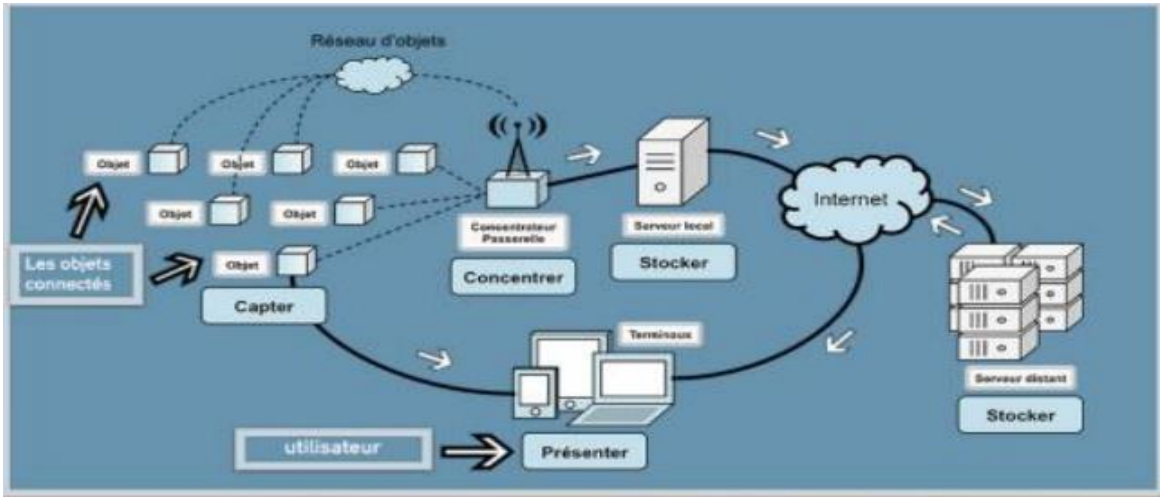


Figure II.26 : Architecture d'IoT

Clarification du rôle des différents processus de cette architecture décrite à la figure II.26 :

- **Capter :** Les capteurs d'IoT occupent le cœur des systèmes basés sur l'Internet des objets car ce sont eux qui collectent les données environnementales. Son importance est de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.
- **Concentrer :** permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard ou des dispositifs grand public.
- **Stocker :** qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible.
- **Présenter :** indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir.

6.11 Technologies de l'IoT

- **RFID (Radio Frequency Identification)**

Cette technologie permet l'identification sans contact d'un objet au moyen d'ondes électromagnétiques. Pour permettre au lecteur de le reconnaître et de le localiser, l'objet est muni d'une étiquette radio et d'un code indubitable. Les systèmes RFID ont une portée allant jusqu'à 100 mètres. Un exemple d'application est dans l'industrie de la logistique, où les conteneurs peuvent être mieux localisés par RFID lorsqu'ils sont expédiés.

- **Capteurs**

Les objets du quotidien ou les appareils équipés de capteurs, par exemple, possèdent des capteurs de mesure qui enregistrent les états physiques ou chimiques. Ils mesurent la température, la pression, la luminosité, l'humidité, le pH ou le mouvement. Afin de rendre les résultats de mesure utilisables numériquement, ils les traduisent en signaux électriques. Le capteur de luminosité d'un smartphone mesure l'intensité lumineuse de l'environnement. Avec ces informations, l'écran peut s'adapter au niveau de luminosité.

- **Cloud**

La technologie cloud est utilisée pour le stockage de données à distance et la gestion des appareils IoT, ce qui permet de rendre les données accessibles à plusieurs appareils du réseau. Il permet aux organisations de consommer une ressource informatique, comme une machine virtuelle (VM), au lieu de construire une infrastructure informatique sur place.

- **Réseaux sans fil**

Un vaste réseau Internet des objets ne se limite pas à la communication en champ proche et aux voies de transmission courtes du WLAN. Les technologies de transmission les plus importantes sont basées sur les communications mobiles 3G (UMTS) et 4G (LTE), mais elles ne sont pas instantanées. Une génération plus récente est nécessaire pour les volumes de données élevés et la transmission en temps réel.

Avantages de l'IoT

Certains des avantages de l'IoT sont les suivants :

- ✓ Possibilité d'accéder aux informations de n'importe où et à tout moment sur n'importe quel appareil.
- ✓ Communication améliorée entre les appareils électroniques connectés.
- ✓ Le transfert de paquets de données sur un réseau connecté, ce qui permet d'économiser temps et argent.
- ✓ Automatiser les tâches contribuant à améliorer la qualité des services d'une entreprise et à réduire le besoin d'intervention humaine. Conception et développement.

Inconvénients de l'IoT

• À mesure que le nombre d'appareils connectés augmente et que d'avantage d'informations sont partagées entre les appareils, le risque qu'un pirate informatique puisse voler des informations confidentielles augmente également.

• Les entreprises devront éventuellement faire face à un nombre considérable - peut-être même des millions - d'appareils IoT, et la collecte et la gestion des données de tous ces appareils seront difficiles.

• S'il y a un bogue dans le système, il est probable que chaque appareil connecté soit corrompu.

• Comme il n'y a pas de norme internationale de compatibilité pour l'IoT, il est difficile pour les appareils de différents fabricants de communiquer entre eux.

7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons abordé les points clés sur les réseaux de neurones artificiels, qui devenus un outil puissant et polyvalent dans le domaine de l'intelligence artificielle.

On a vu les différentes définitions, architectures et les types des RNA's et aussi de l'apprentissage.

Et nous en concluons que les réseaux de neurones artificiels continueront de jouer un rôle central dans le développement de systèmes intelligents et de technologies avancées, offrant des opportunités passionnantes pour l'innovation et l'amélioration de notre société.

Nous avons aussi parlé de l'Internet des objets. Nous avons expliqué les concepts de l'avenir de divers secteurs. Nous avons abordé aussi brièvement les domaines d'utilisation d'Internet des objets. Sans oublier, nous avons parlé de son fonctionnement et de son architecture.

CHAPITRE 3 :



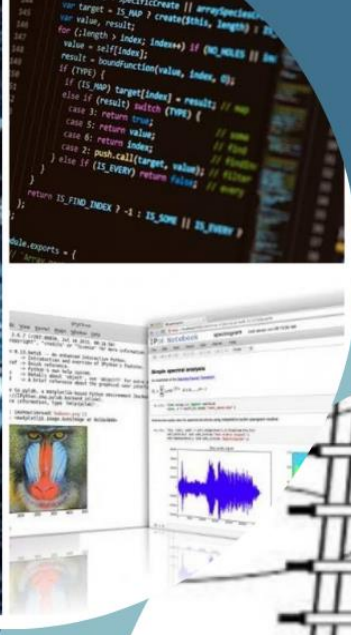




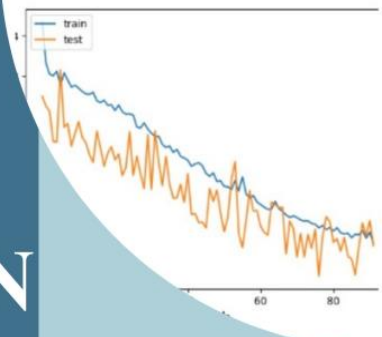


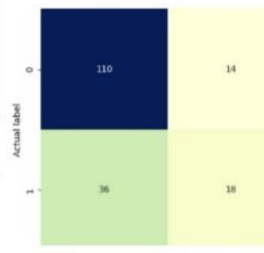


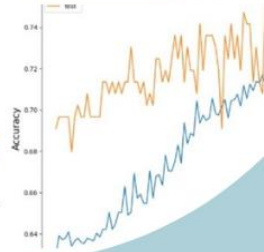


Figure 5 : éléments de dashboard









CONCEPTION ET IMPLÉMENTATION

1. Introduction

Chaque personne a droit à une eau salubre car l'eau est un besoin fondamental, elle est essentielle au développement socio-économique, à la production d'énergie et d'aliments, à la santé des écosystèmes et à la survie des humains. L'eau joue également un rôle essentiel dans l'adaptation aux changements climatiques, car elle est un lien essentiel entre la société et l'environnement.

Notre objectif est donc de créer un modèle de prédiction basé sur une architecture de réseaux de neurones artificiels pour prédire la qualité de l'eau, Pour cela Les options d'implémentation, l'importation des bibliothèques que nous allons utiliser, la démonstration du programme et l'analyse et l'évaluation des résultats obtenus seront détaillées dans ce dernier chapitre.

2. Système propose

La figure III.1 représente l'architecture générale de notre système proposé à base de l'AI et l'IoT spécialisé dans la surveillance de la qualité de l'eau de manière ininterrompue.

Notre idée est basée sur l'installation de capteurs pour mesurer les valeurs suivantes : (pH, Hardness, Solids, Chloramines, Sulfate, Conductivity, Organic_carbon, Trihalomethanes, Turbidity, Potability). Ces capteurs sont reliés à une carte Arduino, ensuite les valeurs captées sont transférées vers une unité de traitement en utilisant une communication série. Au niveau de l'unité de traitement (PC, Raspberry...), nous avons développé un système intelligent à base de RNA qui permet de classer la qualité de l'eau. Aussi, nous avons développé une interface utilisateur basée sur Node-RED qui permet à l'utilisateur de faire la surveillance à distance.

Avec ces technologies, notre système devient très efficace pour contrôler la qualité de l'eau et s'assurer qu'elle est bonne pour la santé. C'est simple à utiliser et ça aide rapidement à identifier les problèmes de qualité de l'eau.

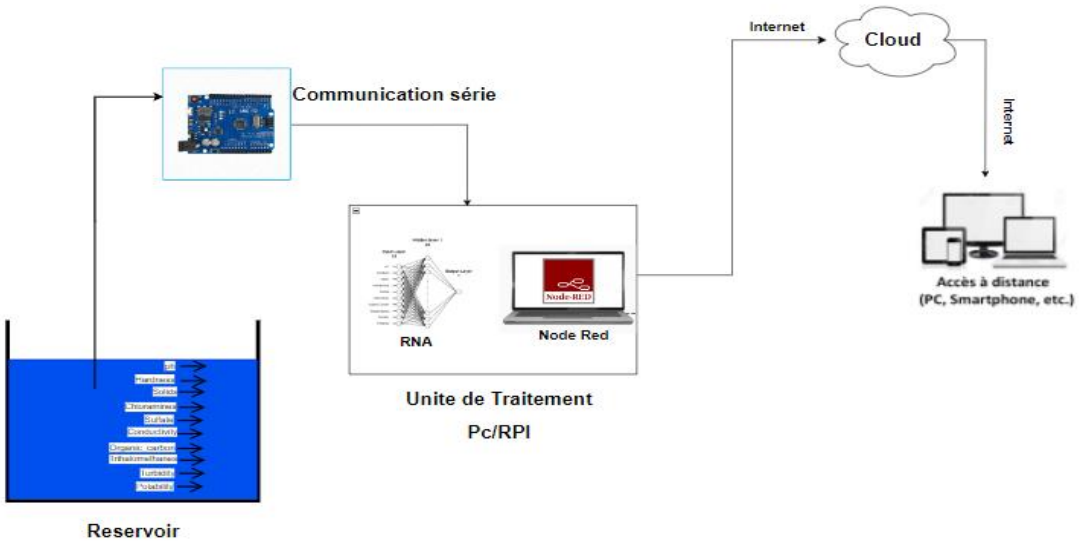


Figure Ⅲ.1 : Système proposé

3. Implémentation

Notre projet se divise en deux parties (développement de RNA et développement d'une IHM à base de serveur Node -RED).

3.1 Système de classification à base d'un RNA

Dans le cadre du développement de notre système intelligent, qui repose sur des Réseaux de Neurones Artificiels (RNA), nous avons recouru à Jupyter Notebook. Cet outil interactif en ligne s'est révélé inestimable pour la création et le partage de documents intégrant du code exécutable en temps réel. De manière spécifique, l'adoption de Python au sein de Jupyter Notebook a été cruciale grâce à sa syntaxe intuitive et à l'étendue de ses bibliothèques spécialisées dans le traitement de données et les calculs numériques.

Un composant essentiel de notre projet est la base de données open source "Water quality" disponible sur Kaggle [69]. Cette base comprend des informations sur la qualité de l'eau de 3 276 sources, enregistrées dans 10 variables distinctes. Ces variables incluent, entre autres, le pH, Hardness, solids, Chloramines, Sulfate, Conductivity, Organic_carbon, Trihalomethanes, Turbidity et Potability. La variable cible de notre étude est "Potabilité", tandis que les autres servent de variables explicatives. Habituellement, ces données sont exploitées pour élaborer des modèles prédictifs ou des algorithmes d'apprentissage automatique. L'objectif étant de déterminer la potabilité de l'eau, de repérer si un traitement est nécessaire, ou si l'eau est impropre à la consommation. La finalité de cette base de données est notamment de soutenir la

recherche et le développement de solutions innovantes visant à garantir un accès à une eau potable de qualité.

Pour commencer et pour que la programmation se déroule bien, nous avons besoin d'outils et d'environnements de développement que nous utiliserons et qui nous aideront à programmer.

3.1.1 Outils utilisés

Python

Python est un langage de programmation qui intègre un grand nombre des concepts de la programmation moderne. C'est un langage simple et puissant. Ceci en fait un outil adapté pour le développement d'applications de complexités diverses (de simples scripts aux applications complètes) et de domaines variés (applications mobiles, web ou calcul scientifique) ainsi que pour l'apprentissage d'un premier langage de programmation.

Python est un langage basé sur un interpréteur, qui permet l'exécution d'une instruction à la fois. Des types de données de base étendus sont pris en charge, par exemple des nombres (entiers longs à virgule flottante, complexes et de longueur illimitée), des chaînes (ASCII et Unicode), des listes et des dictionnaires.

Les variables peuvent être fortement typées ainsi que dynamiquement typées.

Python prend en charge :

- Les concepts de programmation orientés objet tels que la classe, l'héritage, les objets, le module, l'espace de noms, etc.,
- La gestion des exceptions de façon optimale.
- La gestion automatique de la mémoire.
- Divers modules qui peuvent être importés et utilisés indépendamment dans l'application Python.



Figure 58.2 : Logo de langage python

Jupyter Notebook

Jupyter Notebook est un environnement informatique interactif basé sur un navigateur. Vous pouvez créer des cahiers Jupyter comprenant du code en direct, des widgets interactifs, des graphiques, des textes explicatifs, des équations, des images et des vidéos.
Les utilisations de Jupyter incluent le nettoyage et la transformation des données,
la simulation numérique, la modélisation statistique, la visualisation de données,
l'apprentissage automatique et bien plus encore. La figure 3.4 illustre la page d'accueil de jupyter notebook.

Figure 59.3 : Logo de jupyter

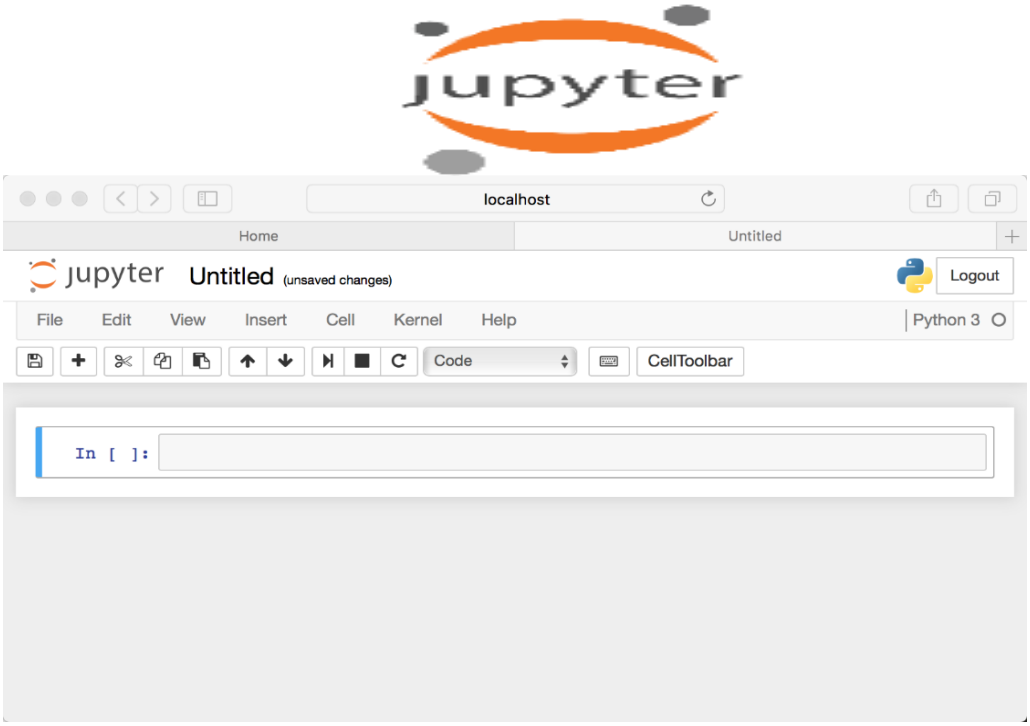


Figure 59.4 : Page d'accueil de jupyter notebook

Anaconda

Anaconda Navigator est une interface utilisateur graphique (GUI) de bureau inclus dans Anaconda® Distribution qui vous permet de lancer des applications et de gérer des paquets, des environnements et des canaux conda sans utiliser les commandes d'interface de ligne de

commande (CLI). Navigator peut rechercher des paquets sur Anaconda.org ou dans un dépôt Anaconda local. Il est disponible pour Windows, macOS et Linux.

Figure 5 : anaconda logo

Les versions de package dans Anaconda sont gérées par le système de gestion de package Conda, ce gestionnaire de packages a été créé en tant que open-source séparé. Il existe également une version réduite bootstrap d'Anaconda appelée Miniconda, qui inclut uniquement Conda, Python, les packages dont ils dépendent et un petit nombre d'autres packages [60]. La figure qui suit 3.6 montre la fenêtre d'accueil de l'environnement Anaconda.

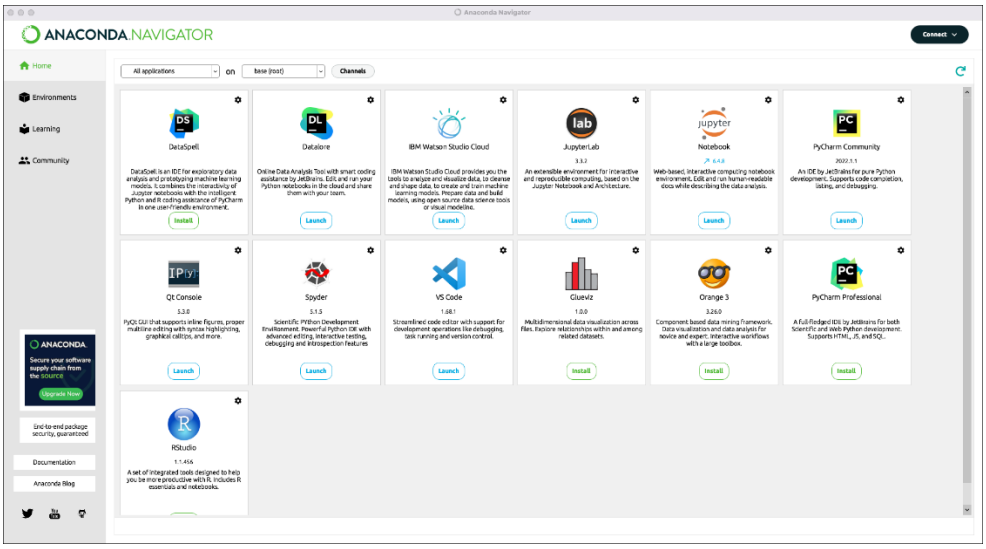


Figure 60..6 : Fenêtre d'accueil de l'environnement Anaconda

3.1.2 Importation des bibliothèques

Numpy

Le terme NumPy est en fait l'abréviation de « Numerical Python ». Il s'agit d'une bibliothèque Open Source en langage Python. On utilise cet outil pour la programmation scientifique en Python, et notamment pour la programmation en Data Science, pour l'ingénierie, les

mathématiques ou la science.

Il contient entre autres :

* Un puissant objet tableau N-dimensionnel.
* Fonctions sophistiquées (diffusion).
* Algèbre linéaire utile, transformée de Fourier et capacités de nombres aléatoires.

Pandas

La bibliothèque logicielle open-source Pandas est spécifiquement conçue pour la manipulation et l'analyse de données en langage Python. Elle est à la fois performante, flexible et simple d'utilisation.

Grâce à Pandas, le langage Python permet enfin de charger, d'aligner, de manipuler ou encore de fusionner des données. Les performances sont particulièrement impressionnantes quand le code source back-end est écrit en C ou en Python.

Le fonctionnement de Pandas repose sur les « DataFrames » : des tableaux de données en deux dimensions, dont chaque colonne contient les valeurs d'une variable et chaque ligne contient un ensemble de valeurs de chaque colonne. Les données stockées dans un DataFrame peuvent être des nombres ou des caractères.

scikit-learn

Scikit-learn, encore appelé sklearn, est la bibliothèque la plus puissante et la plus robuste pour le machine learning en Python. Elle fournit une sélection d'outils efficaces pour l'apprentissage automatique et la modélisation statistique, notamment la classification, la régression et le clustering via une interface cohérente en Python. Cette bibliothèque, qui est en grande partie écrite en Python, s'appuie sur NumPy, SciPy et Matplotlib [61].

Tensorflow

TensorFlow est une bibliothèque Open Source de deep learning créée par Google et compatible avec le langage Python. Il s'agit d'une boîte à outils permettant de standardiser et de simplifier la création et le déploiement de modèles de deep learning. TensorFlow peut être vu comme un système de programmation dans lequel les calculs sont représentés sous la forme d'un graphe. Les sommets représentent des opérations mathématiques qui peuvent aller d'une simple

addition à des fonctions très complexes, et les arêtes représentent des structures spécifiques qu'on appelle tensors [62].

Keras

Keras est une API de réseaux de neurones de haut niveau, écrite en Python et interfaçable avec TensorFlow, CNTK et Theano. Elle a été développée avec pour objectif de permettre des expérimentations rapides. Être capable d'aller de l'idée au résultat avec le plus faible délai possible étant la clef d'une recherche efficace [63].

Matplotlib

Est une bibliothèque très puissante du langage de programmation Python destinée à tracer et visualiser des données sous formes de graphiques. Elle est souvent combinée avec les bibliothèques python de calcul scientifique :

NumPy : gestion de tableaux numériques multidimensionnels, algèbre linéaire, transformées de Fourier, nombres (pseudo-)aléatoires
SciPy : méthodes numériques comme l'intégration ou l'optimisation
SymPy : mathématiques symboliques
Pandas : analyse de données

Avec Matplotlib, on peut créer rapidement un graphe à partir de deux listes [64].

Seaborn

Est une bibliothèque permettant de créer des graphiques statistiques en Python. Elle est basée sur Matplotlib, et s'intègre avec les structures Pandas.
Cette bibliothèque est aussi performante que Matplotlib, mais apporte une simplicité et des fonctionnalités inédites. Elle permet d'explorer et de comprendre rapidement les données.
Des cadres de données complets peuvent être capturés, et les fonctions internes permettant la cartographie sémantique et l'agrégation statistique permettent de convertir les données en visualisations graphiques.
Toute la complexité de Matplotlib est abstraite par Seaborn. Toutefois, il est possible de créer des graphiques répondant à tous vos besoins et vos exigences [65].

3.1.3 Programmation

Se lancer dans la programmation de réseaux de neurones artificiels (RNA) au sein d'un Jupyter Notebook en utilisant Python représente une aventure stimulante. Cela commence par la mise

en place d'un environnement informatique propice au développement itératif et riche en bibliothèques puissantes à notre disposition.

Pour initier ce processus dans un Jupyter Notebook, nous devrons d'abord nous assurer que notre système dispose des packages nécessaires installés. Avec ces outils en main, nous nous lançons dans le domaine de l'ingestion et du prétraitement des données, où nous préparons notre jeu de données pour le réseau neuronal. Cela inclut la normalisation des entrées, le codage des étiquettes et la division des données en ensembles train et de test, préparant ainsi les données à être consommées par le modèle.

Pour la division des données, on à prendre pour l'ensemble train 90%, et pour l'ensemble test 10%.

L'organigramme de figure III.7 suivant explique les étapes de programmation :

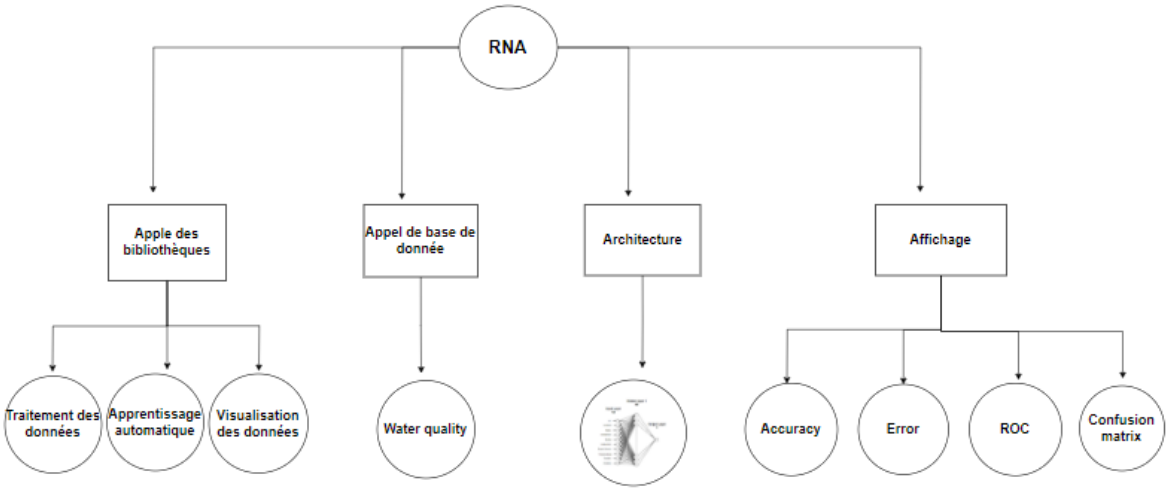


Figure III.7 : Organigramme de programmation

3.1.3.1 Appel des bibliothèques

Cette étape consiste à importer toutes les bibliothèques nécessaires pour notre projet (voir la figure III.8). Ceci inclut généralement des bibliothèques de traitement des données comme **Pandas** et **NumPy**, des bibliothèques de calcul numérique telles que **Sklearn**, **Tensorflow** et **keras**, ainsi que des bibliothèques pour la visualisation des données, comme **Matplotlib** ou

Seaborn. L'objectif est de préparer notre environnement de programmation avec les outils requis pour traiter les données, construire et entraîner le modèle.

```
In [1]: # Let's load our libraries
        import pandas as pd
        import numpy as np
        import tensorflow as tf
        from tensorflow import keras
        import matplotlib.pyplot as plt
        import seaborn as sns
```

Figure III.8 : Chargement des bibliothèques

3.1.3.2 Appel de base de données

Cela se fait à travers ce code comme le montre la figure III.9.

```
In [2]: df = pd.read_csv('water_potability.csv')
        print (df)
```

Figure III.9 : Appel de base de données

3.1.3.3 Architecture

Après avoir expérimenté avec diverses architectures, celle qui a offert les meilleurs résultats est présentée dans la Figure III.10.

L'architecture débute avec une couche d'entrée composée de 10 neurones, chacun attribué à un capteur spécifique. Ces neurones acheminent les informations vers une couche cachée de 40 neurones. Cette configuration permet au modèle d'analyser les données et d'identifier des connexions complexes. Enfin, un unique neurone constitue la couche de sortie, appliquant une fonction d'activation telle que la fonction sigmoïde, pour délivrer une prédiction sous forme binaire : soit 0, soit 1. Cette architecture, bien que basique, s'avère très efficace pour la tâche de classification.

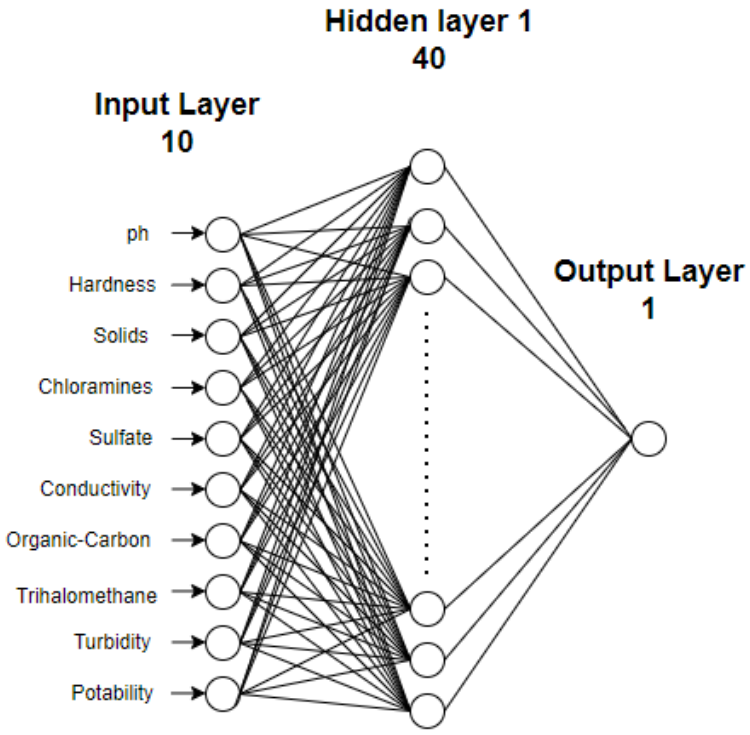


Figure III.10 : Architecture de RNA

3.1.3.4 Affichage

Après l'entraînement du modèle, des évaluations sont menées et des perceptions sont créées pour expliquer la performance de l'RNA. Cela peut inclure la création de graphiques de précision et d'erreurs, de matrices de confusion et de courbes ROC pour mieux comprendre et fournir les résultats de notre modèle.

3.2 Node-Red

Node-RED est un outil visuel permettant de créer des programmes ou des API directement dans le navigateur.

Fondamentalement, Node-RED peut être considéré comme un remplacement du back-end, ou même un fournisseur serverless, Il permet d'interagir avec un grand nombre de services en ligne différents, de dispositifs matériels et de bases de données en quelques clics seulement.

Il est mondialement connu dans le monde de l'IoT et dans de nombreuses industries, mais ne se limite pas à ces domaines.

Il est écrit en Node.js (JavaScript).

Node-RED a des possibilités infinies. Mais voici quelques exemples de ce que les utilisateurs ont réalisé avec :

- Passerelle de capteurs IoT (en utilisant MQTT)
- Création de services API
- Automatisation de courriels (e-mails)
- Création de robots Twitter
- Scrapping de pages web
- Passerelle entre des services tels que des API et des bases de données.

Il n'y a pas de cas d'utilisation typique de Node-RED car ses possibilités sont infinies.
Mais voici quelques exemples de projets qui peuvent être construits rapidement avec Node-RED :

- ✓ Interconnecter les dispositifs (comme les capteurs IoT) aux bases de données.
- ✓ Récupérer des données à partir d'APIs, traiter ces données et les sauvegarder.
- ✓ Créer des automatisations entre les services (MQTT, APIs, bases de données).
- ✓ Construire une API pour se connecter aux bases de données.

Le cloud Node-RED est le fait que Node-RED fonctionne chez un fournisseur de cloud, par opposition aux solutions on-premise.
Il y a plusieurs fournisseurs de cloud Node-RED. Stackhero est l'un d'entre eux [66].

3.2.1 Installation de Node-Red

Sur notre ordinateur nous utiliserons localement Node-Red. Ainsi, il est nécessaire d'installer node.js avant toute installation.
Après l'installation de Node-JS et Node-Red, par l'utilisation de la commande Node-Red dans un terminal, le démarrage de Node-Red va commencer.

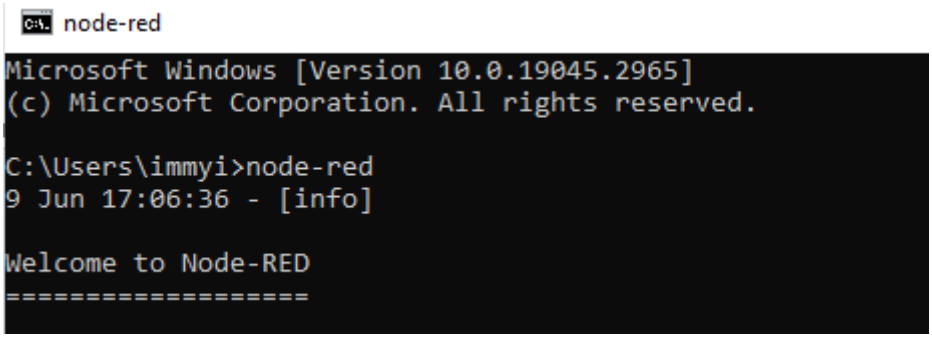


Figure III.11 : Commande Node-Red

En utilisant l'URL http://127.0.0.1:1880 dans un navigateur, on peut accéder à l'interface de développement, comme indiqué par Node-Red dans le terminal.

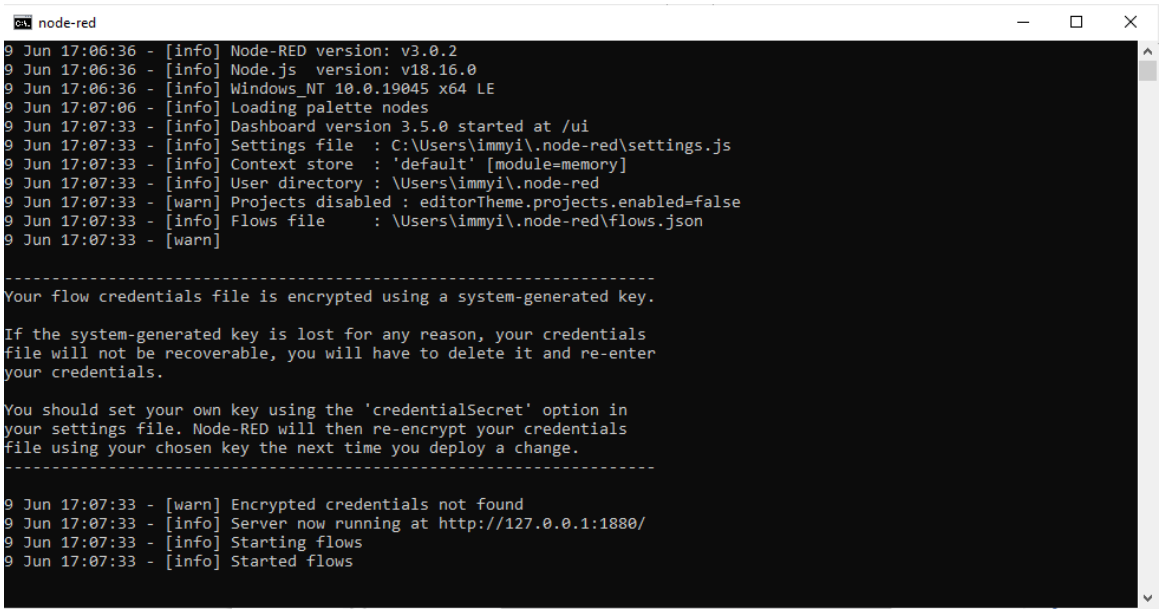


Figure III.12 : Exécution de Node-Red dans le terminal

3.2.2 L'Interface de Node-RED

L'interface Node-RED est composée de quatre parties comme indique la figure III.13 :

- **A gauche :** la liste des nodes disponibles. Pour les placer sur le flow, sélectionnez celle que vous voulez et glissez-la jusqu'à l'endroit voulu.
- **Au centre :** les flows. Vous pouvez en ouvrir autant que vous voulez, chaque flow est indépendant et en peut pas agir sur d'autres.

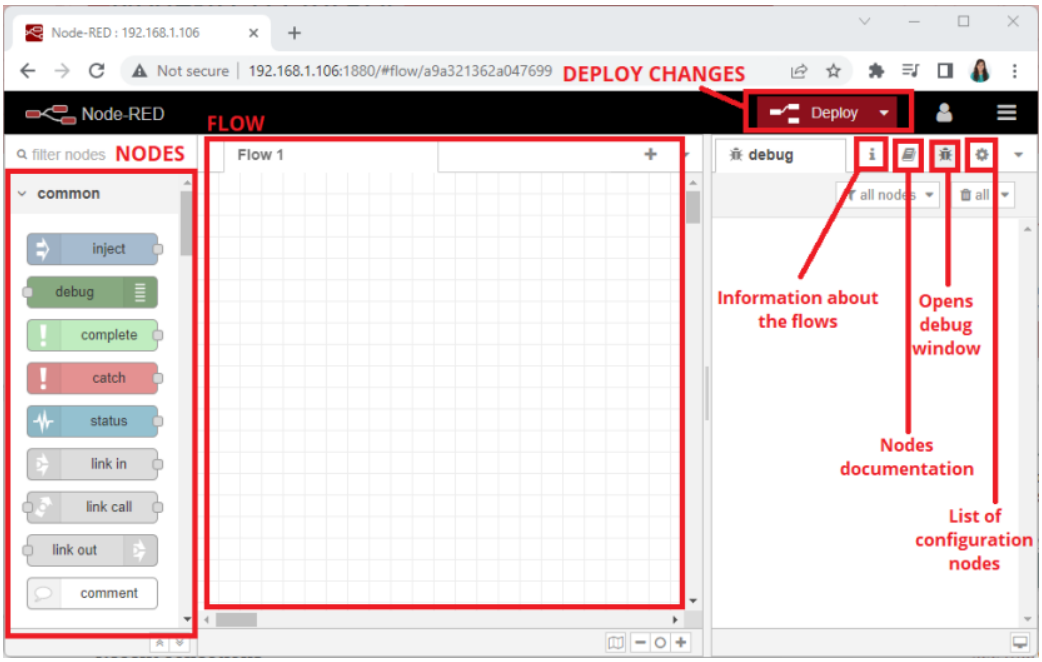


Figure III.13 : L'Interface de Node-RED

- **A droite :** des onglets utiles.
  - L'onglet i permet d'avoir des informations détaillées sur toute node sélectionnée.
  - L'onglet debug (icône d'insecte) apparaît dès qu'une node debug est placée est permet de voir les messages de debug.
  - L'onglet dashboard (icône de graphe) apparaît dès qu'une node de dashboard apparaît et permet d'y avoir accès.
  - D'autres onglets peuvent apparaître selon les nodes installées et placées.
- **En haut :** Le bouton Deploy permet de « déployer » son flow et de le rentre actif. Le bouton menu (Icone de lignes parallèles) ouvre un menu, qui contient notamment les options :
  - **View :** gérer la vue (afficher ou non les menus des cotés). Permet aussi d'accéder au débug ou au dashboard si actifs.
  - **Import :** charger un flow sauvegardé
  - **Export :** sauvegarder les flows ouverts
  - **Manage Palette :** gérer les nodes installées et en installer de nouvelles
  - **Flows / Subflows :** créer un nouveau flow ou subflow [67].

3.2.3 Nodes de base

Plusieurs nodes de base sont inclus dans Node-RED, qui sont très utiles.

Quel que soit le domaine, ces nodes se trouvent dans tout flow. Ces nodes sont classés en fonction de leurs caractéristiques.

les nœuds connectés, généralement une combinaison de nœuds d'entrée, de nœuds de traitement et de nœuds de sortie, lorsqu'ils sont câblés ensemble, constituent un « flow » [68]

- **Nœuds d'entrée**

  Il vous permet d'entrer les données d'entrée dans le flux. Ils ont un carré gris sur leur côté droit que vous pouvez connecter aux autres nœuds. En connectant ce nœud à un autre nœud, vous pouvez envoyer les données d'entrée. Vous pouvez également connecter des services comme Twitter, Google, serial, web sockets et envoyer ces données comme entrées aux autres nœuds. Sinon, vous pouvez saisir manuellement les données d'entrée en utilisant le nœud appelé « inject ».



Figure III.14 : Nœuds d'entrées de Node-Red

- **Nœuds de sortie :** Il vous permet d'envoyer les données vers le monde extérieur, à d'autres services par exemple twitter. Il a un carré gris sur leur côté gauche qu'ils peuvent être connectés au nœud d'entrée ou de la fonction. Si vous ne voulez pas envoyer les données à des services comme Twitter ou des nœuds de courriel, vous pouvez simplement déboguer ces messages en utilisant l'onglet « Deploy » dans le coin supérieur droit de l'éditeur.



Figure III.15 : Nœuds de sorties de Node-Red

- **Nœuds de traitement :** Les nœuds de traitement sont utilisés pour traiter les données dans lesquelles ils ont un endpoint d'entrée et un ou plusieurs endpoints de sortie. Ils sont utilisés pour transformer les types de données, écrire les codes personnalisés et déclencher un message.

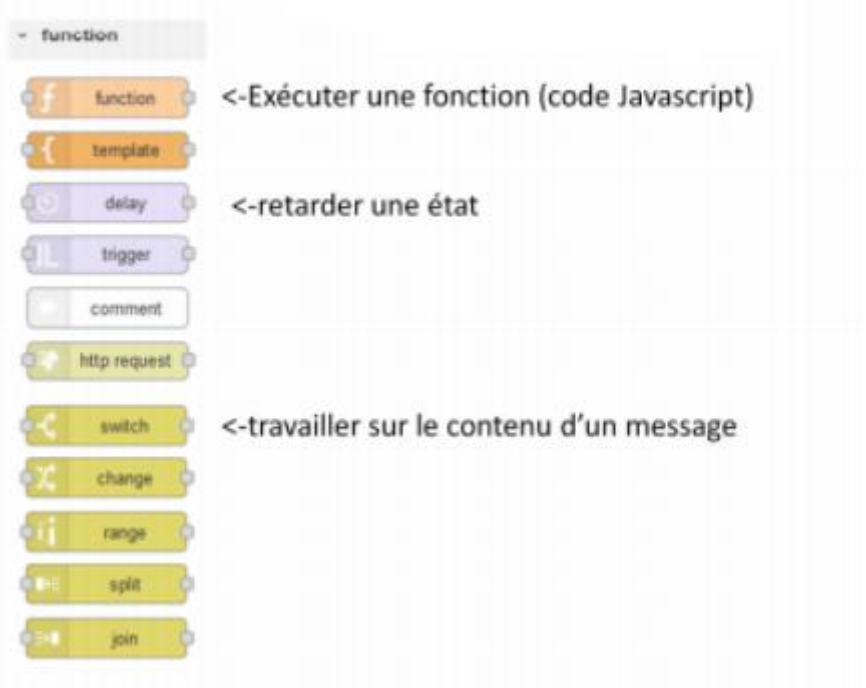


Figure III.16 : Nœuds de traitement de Node-Red

Bien que la gamme de nodes d'origine soit déjà large, il manque au moins une catégorie cruciale nécessaire pour créer l'interface web. C'est le Dashboard.

Node-RED Dashboard est un module qui fournit un ensemble de nœuds dans Node-RED pour créer rapidement un tableau de bord de données en direct. Par exemple, il fournit des nœuds pour créer rapidement une interface utilisateur avec des boutons, des curseurs, des graphiques, des jauges, etc.

En sélectionnant Menu > Manage Palette, nous pouvons ajouter des nœuds de dashboard à notre application.

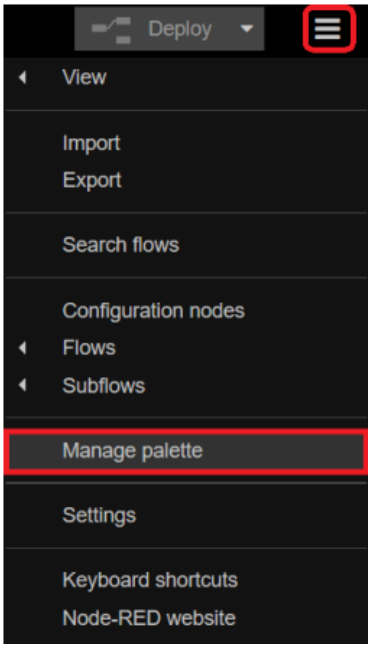


Figure III.17 : Accéder au gestionnaire de palette

Ensuite, nous chercherons et installerons Node-Red-Dashboard.

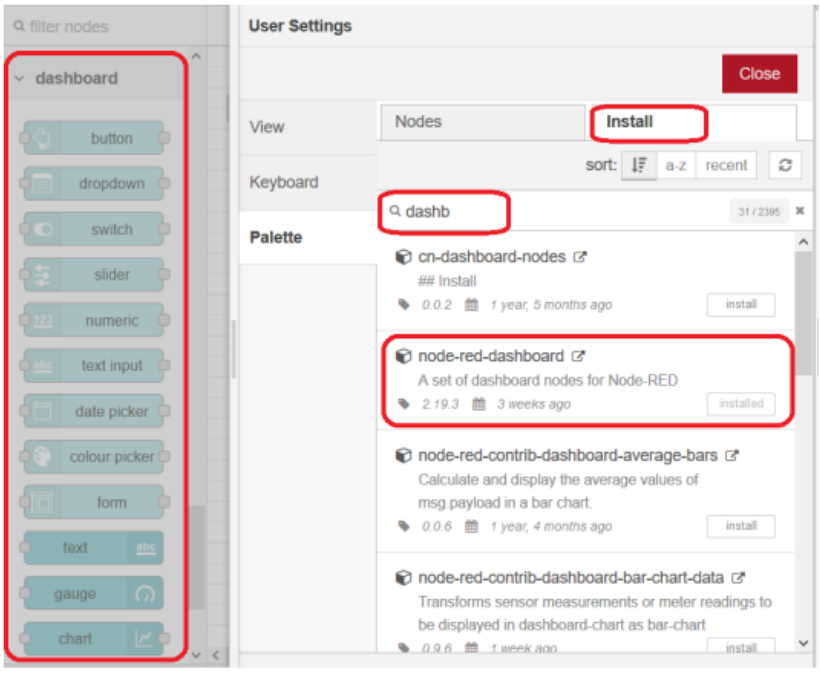


Figure III.18 : Ajouter Dashboard à la palette

Les nœuds de la section du tableau de bord fournissent des widgets qui apparaissent dans votre interface utilisateur (IU). Dans notre cas l'interface utilisateur est accessible sur l'URL suivante : http://127.0.0.1:1880/ui

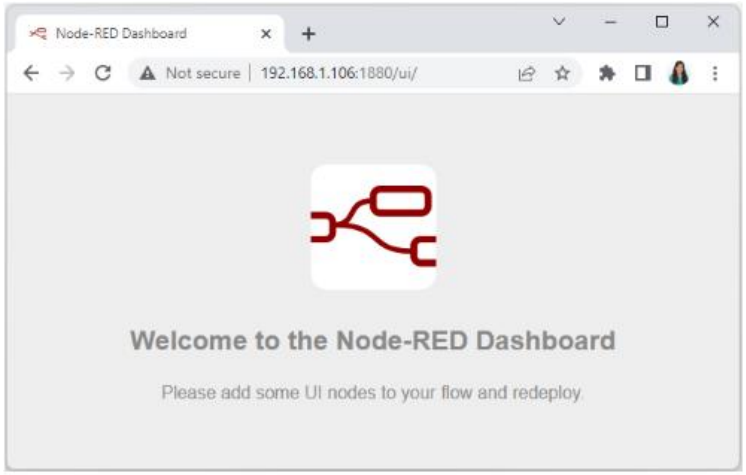


Figure III.19 : Node-Red dashboard

La figure suivante montre les différents éléments peuvent être montrés par dashboard.

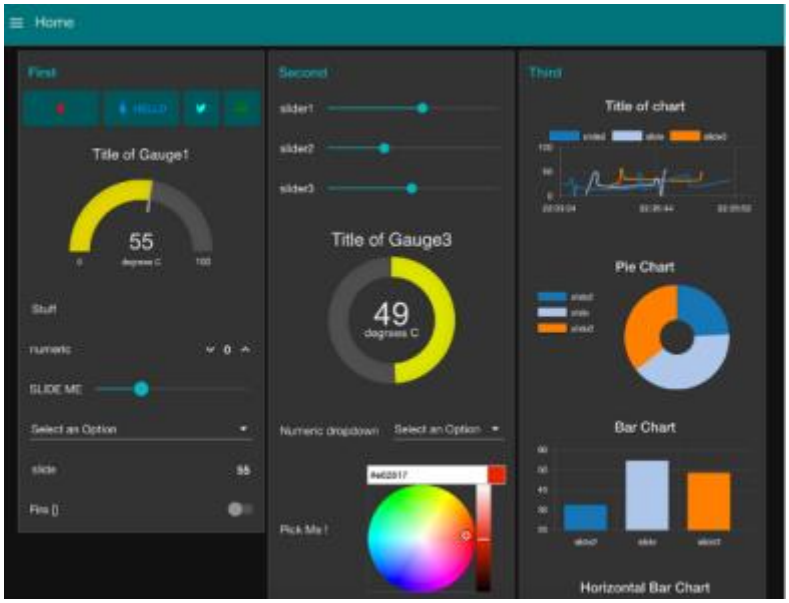


Figure III.20 : Eléments de dashboard

3.2.4 Programmation de Node Red

Débuter en programmation sur Node-RED signifie disposer des nœuds pour collecter des données, les traiter, et les intégrer avec des APIs ou des équipements, en créant des flows visuels par un simple glisser-déposer dans l'interface utilisateur.

Dans notre configuration actuelle au sein de Node-RED, nous avons établi un flux de traitement des données comprenant initialement un nœud d'entrée série. Ce nœud est responsable de recevoir les données transmises par nos capteurs en temps réel. Une fois ces données capturées,

elles sont dirigées vers un nœud de décodage JSON, chargé de convertir les données sérialisées en objets JSON pour un traitement plus aisément gérable.

3.2.4.1 Architecture Globale du Système Conçu avec Node-RED

Dans la phase suivante de notre flux (figure III.21), nous avons intégré plusieurs nœuds fonctionnels, attribués individuellement aux dix capteurs spécifiques au sein de notre réseau.

L'adoption de cette structure modulaire nous permet d'affiner et d'examiner les flux de données de chaque capteur séparément, facilitant ainsi une intégration et une maintenance efficaces de l'ensemble de notre système.

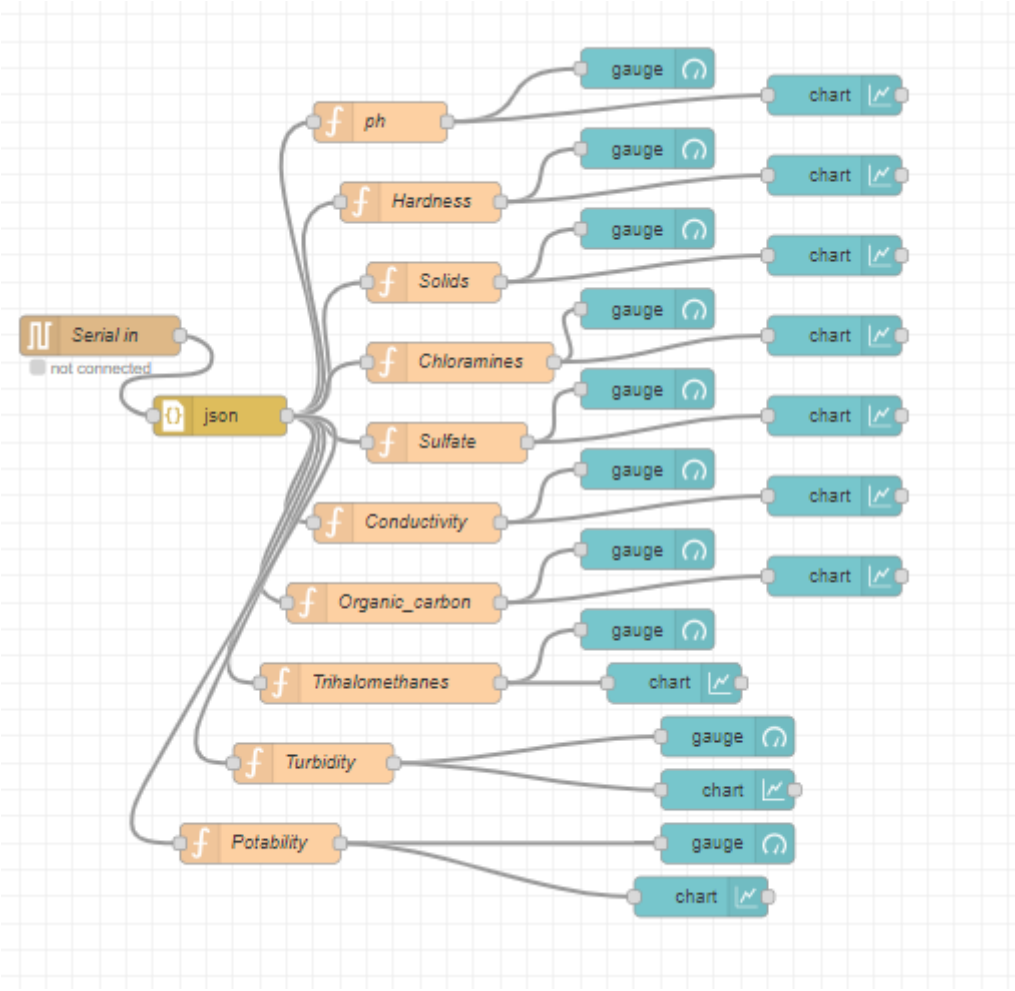


Figure III.21 : Programme Node Red

3.2.4.2 Réception de données

Le terme "réception des données" fait référence à la méthode selon laquelle on procède à la cueillette et à la mémorisation des informations venant de sources multiples. Concernant l'établissement d'une liaison entre Arduino et Node-RED via un port série, cela constitue une

voie de communication particulièrement directe et efficace. Arduino fait parvenir des données vers Node-RED grâce à son API Serial dédiée.

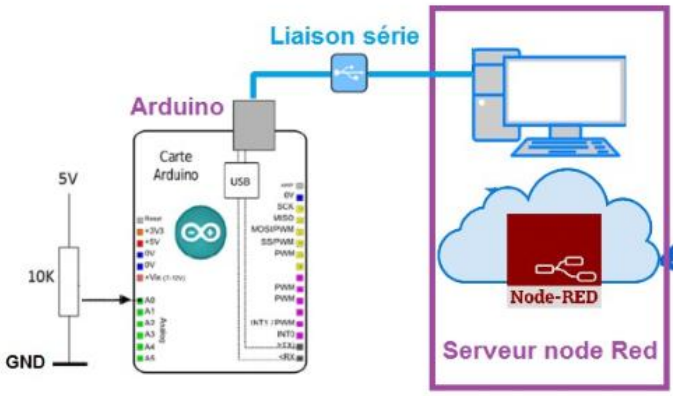


Figure III.22 : Connexion entre Arduino et Node-RED

En l'absence des capteurs nécessaire, nous avons recours a la simulation des données en injectent des valeurs pour évaluer le fonctionnement du système, comme illustre la figure III.23.

```
void setup() {
  // Init serial port (115200 bauds)
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
 int Ph = 7.360640106;
 int Hardness = 165.5207973;
 int Solids = 32452.61441;
 int Chloramines = 7.550700907;
 int Sulfate = 326.6243535;
 int Conductivity = 425.3834195;
 int Organic_carbon = 15.58681044;
 int Trihalomethanes = 78.74001566;
 int Turbidity = 3.662291783;
 int Potability = 1;  //YL-69
```

```
Serial.print("{\"Ph\":");
Serial.print(Ph);
Serial.print(",\"Hardness\":");
Serial.print(Hardness);
Serial.print(",\"Solids\":");
Serial.print(Solids);
Serial.print("{\"Chloramines\":");
Serial.print(Chloramines);
Serial.print(",\"Sulfate\":");
Serial.print(Sulfate);
Serial.print(",\"Conductivity\":");
Serial.print(Conductivity);
Serial.print("{\"Organic_carbon\":");
Serial.print(Organic_carbon);
Serial.print(",\"Trihalomethanes\":");
Serial.print(Trihalomethanes);
Serial.print(",\"Turbidity\":");
Serial.print(Turbidity);
Serial.print(",\"Potability\":");
Serial.print(Potability);
Serial.println("}");
}
```

Figure III.23 : programme Arduino

Et de son cote, Node-RED s'appuie sur le composant « serial » pour écouter et acquérir les données transmises. Les programmeurs disposent le microcontrôleur Arduino pour qu'il effectue l'envoi de donnée en série, typiquement formulées en séquences textuelles, soit de manière périodique soit en fonction de certains évènements spécifies.

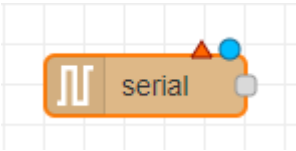


Figure III.24 : Nœud serial in

Pour interagir avec un port USB local, il suffit de sélectionner le nœud correspondant afin de configurer les paramètres de la connexion série comme la figure III.25.

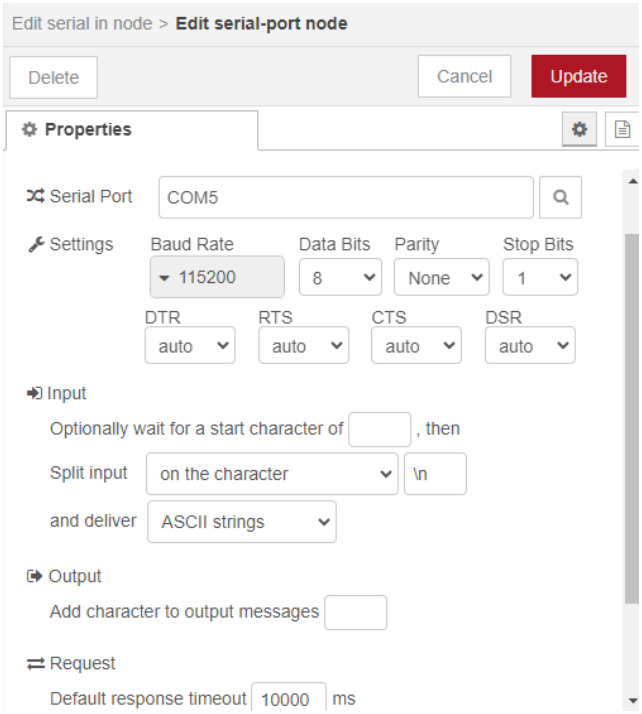


Figure III.25 : Paramétrage du nœud Série

La figure III.26 illustre le processus de réception des données.

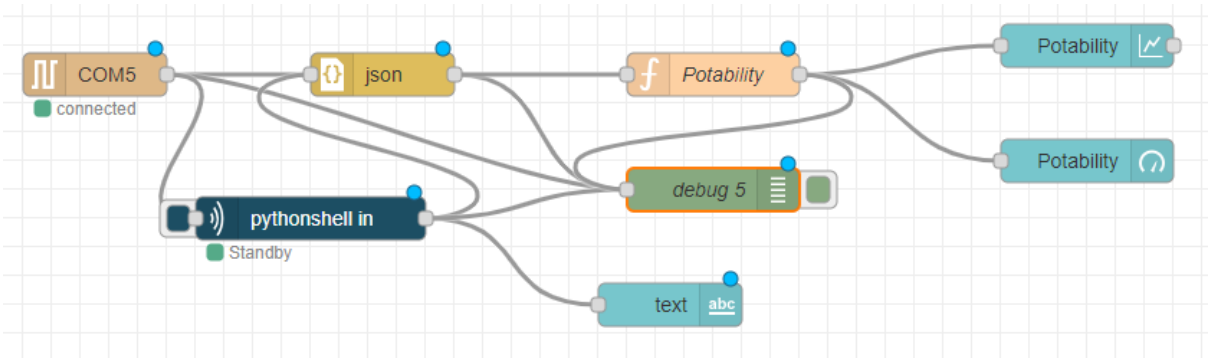


Figure III.26 : Réception et visualisation des données en flux

Le nœud Pythonshell dans Node-RED fonctionne en fournissant un moyen d'exécuter des scripts Python et de recevoir leurs sorties dans un flux Node-RED. Lorsque nous injectons un message dans le nœud Pythonshell, il génère un processus Python, exécute le script que nous avons spécifié, puis prend tout ce que le script imprime à la sortie standard (stdout) et le passe comme une charge utile de message au nœud suivant dans le flux (figure III.27). Cette intégration nous permettons d'utiliser les puissantes fonctionnalités de Python directement dans notre environnement Node-RED.

msg.payload : string[29]

"Predicted water quality: Good"

Figure III.27 : Sortie de nœud pythonshell

3.2.4.3 Séparation des données

Le flot provenant du « serial in » offre un ensemble de données en provenance d'un Arduino, présentées sous forme d'une seule chaine de caractères. Afin de les visualiser de manière distincte, il est nécessaire d'isoler ces différentes variables de type 'string' pour permettre un affichage individualisé. Ces précisément pour cette raison que l'utilisation de la fonction 'JSON' s'avère cruciale. Elle transforme les données séparées en un format structuré et facile à manipuler, favorisant ainsi leur utilisation ultérieure de manière plus efficace et organisée.

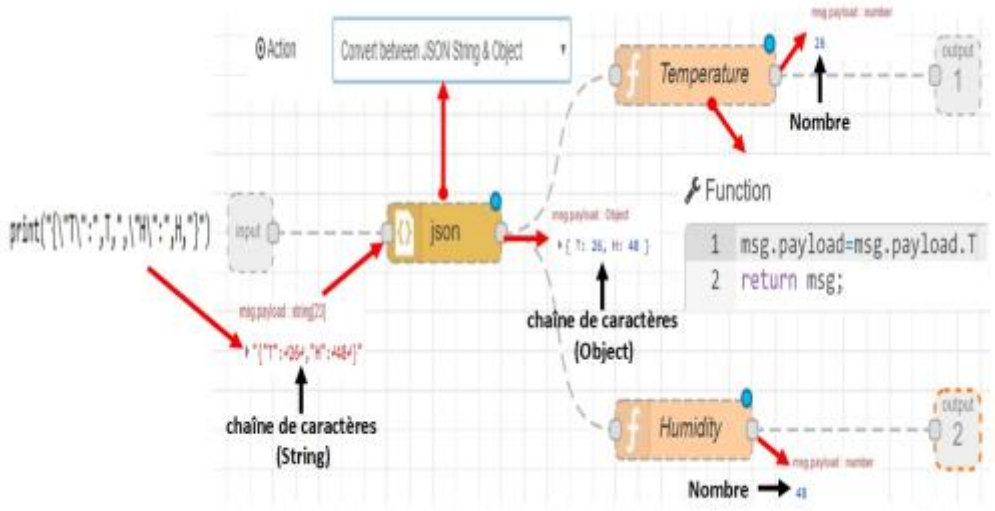


Figure III.28 : Séparation des donnees utilisant JSON

3.2.4.4 Traitement des données

La mise en place de nœud JSON est aisée, en appuyant sur le nœud, nous choisissons le style de conversion.

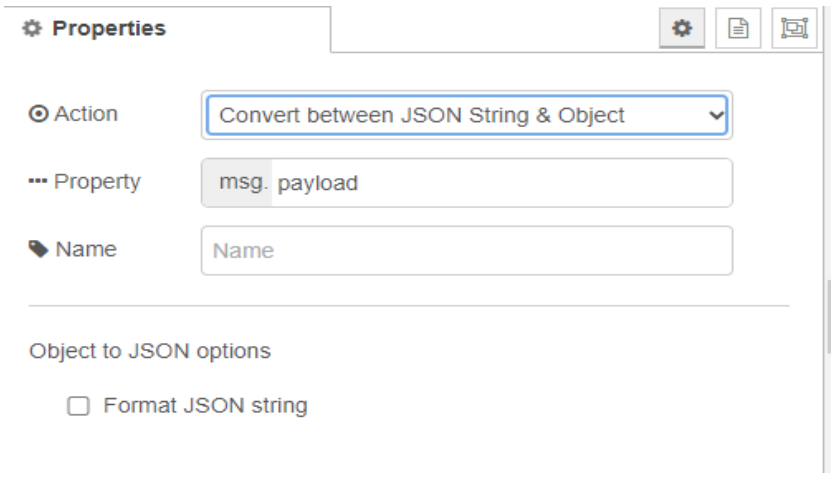


Figure III.29 : Configuration du nœud JSON

Dans notre flux Node-RED, nous avons transformé les données brutes des capteurs, reçues sous forme de chaînes de caractères (String) via une entrée série, en objets JSON pour une manipulation optimale, comme le montre la figure III.30.

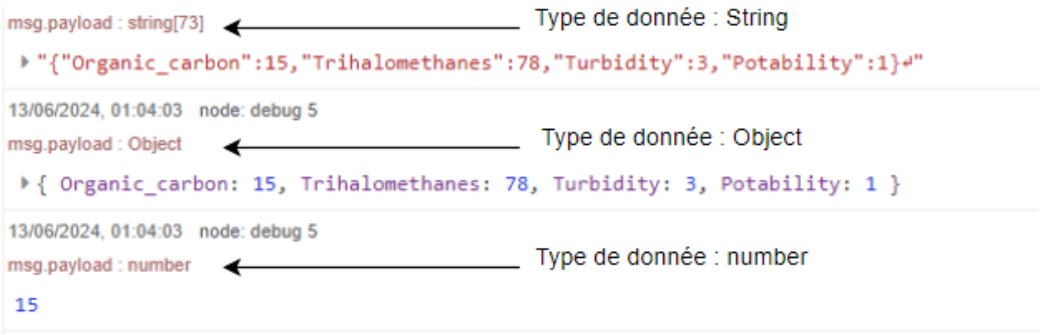


Figure III.30 : Différentes formes de données

Suite à la transformation des données en objet JSON, le nœud de fonction intervient pour une manipulation précise de ces derniers. Au sein de ce nœud, le code JavaScript entre en jeu, nous

permettent d'effectuer des opérations détailles tells que l'extraction et l'affichage des valeurs ciblées de l'objet JSON de façon élaborée.

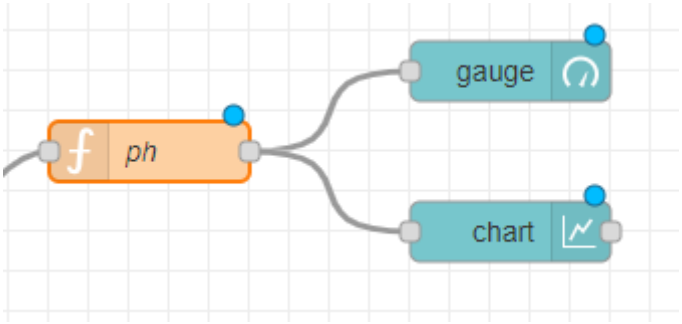


Figure III.31 : Flux d'affichage des fonctions

Figure III.31 : Flux d'affichage des fonctions

La technique pour extraire les valeurs est représentée dans l'illustration (figure III.32)

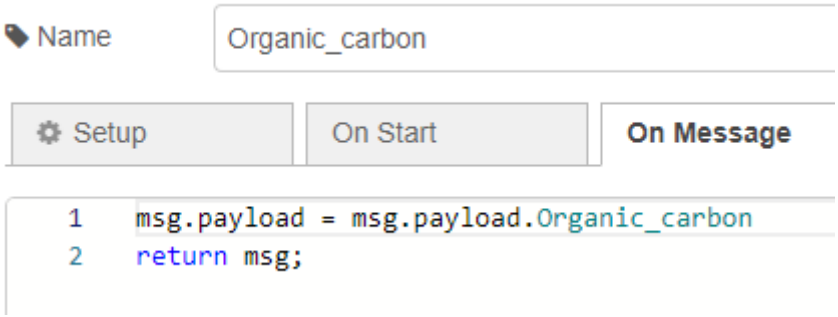


Figure III.32 : Extraction d'une variable

Suite à l'extraction, il est possible de visualiser les données en employant des nœuds de Dashboard tels que « gauge » et « chart » pour la représentation graphique des valeurs.

4. Résultats et discutions

Les résultats de notre recherche se structurent en deux grandes parties :

4.1 Python

- **Tableau des modèles**

Le tableau III.1 offre une synthèse comparative des diverses architectures testées, mettant en lumière leurs performances respectives à travers deux critères principaux : la précision et le

taux d'erreur. Cette analyse exhaustive permet d'identifier les approches les plus efficace et les points d'amélioration potentiels pour chaque architecture.

C'est la raison pour laquelle le modelé d'architecture de 40 neurones (modelé 2) a été retenu comme étant l'option idéale, en vertu de ses résultats exemplaires.

Tableau III.1 : Différents modèles proposés

Architecture	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Val_loss	0.2032	0.1967	0.1981	0.2023	0.2020	0.1969
Val_accuracy	73%	75%	71%	75%	73%	72%

- **Graphes de précision**

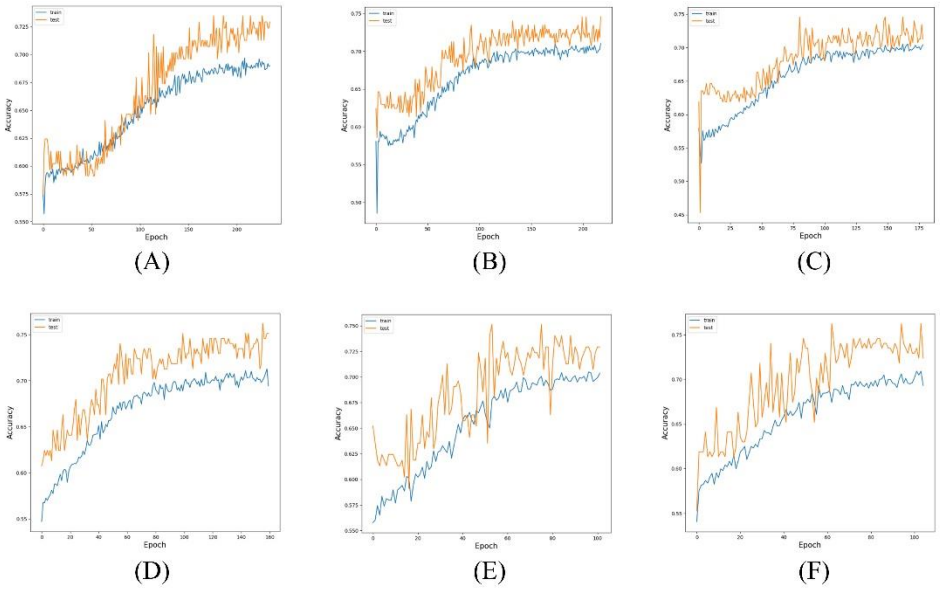


Figure III.33 : Courbes de précisions (**A**: Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6).

Les courbes de précision (figure III.33) montrent la relation entre la précision et le rappel pour différents seuils de décision. Une courbe qui s'approche du coin supérieur droit indique une meilleure performance. Dans notre cas, la forme(B) de modelé 2 est la meilleure.

- **Graphes d'erreur**

Lorsque les erreurs observées tant lors de l'entraînement que du test continuent de diminuer (voir la figure III.34), cela suggère que le modèle est en train de s'améliorer et d'apprendre efficacement. Cela indique aussi que le modèle est capable de bien s'adapter à des données non vues auparavant, ce qui témoigne d'une amélioration des capacités globales du modèle. L'analyse des tendances de ces erreurs est essentielle pour confirmer que le modèle est correctement calibré et fonctionne comme prévu. Et c'est ce que la forme choisie nous montre, et c'est la forme B.

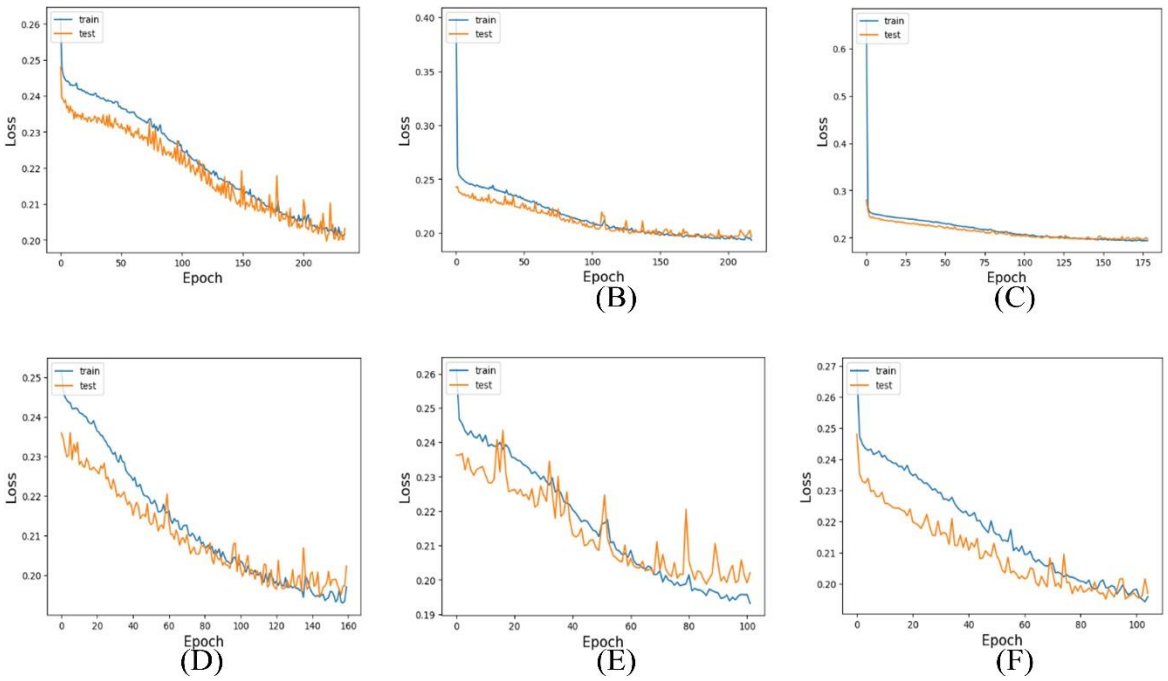


Figure III.34 : courbe d'erreur (**A**: Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6).

- **Graphes des ROC**

Les courbes ROC (Receiver Operating Characteristic) de figure III.35 montrent la capacité d'un modèle de classification à distinguer entre les classes. L'axe des x représente les faux positifs (FPR) et l'axe des y les vrais positifs (TPR). Une courbe plus proche du coin supérieur gauche indique une meilleure performance. L'AUC (Area Under Curve) mesure cette performance : une AUC de 1 est parfaite, 0.5 est aléatoire. Une courbe ROC élevée et une AUC proche de 1 signifient que le modèle fonctionne bien. Considérant que notre formulaire spécifique est le formulaire B.

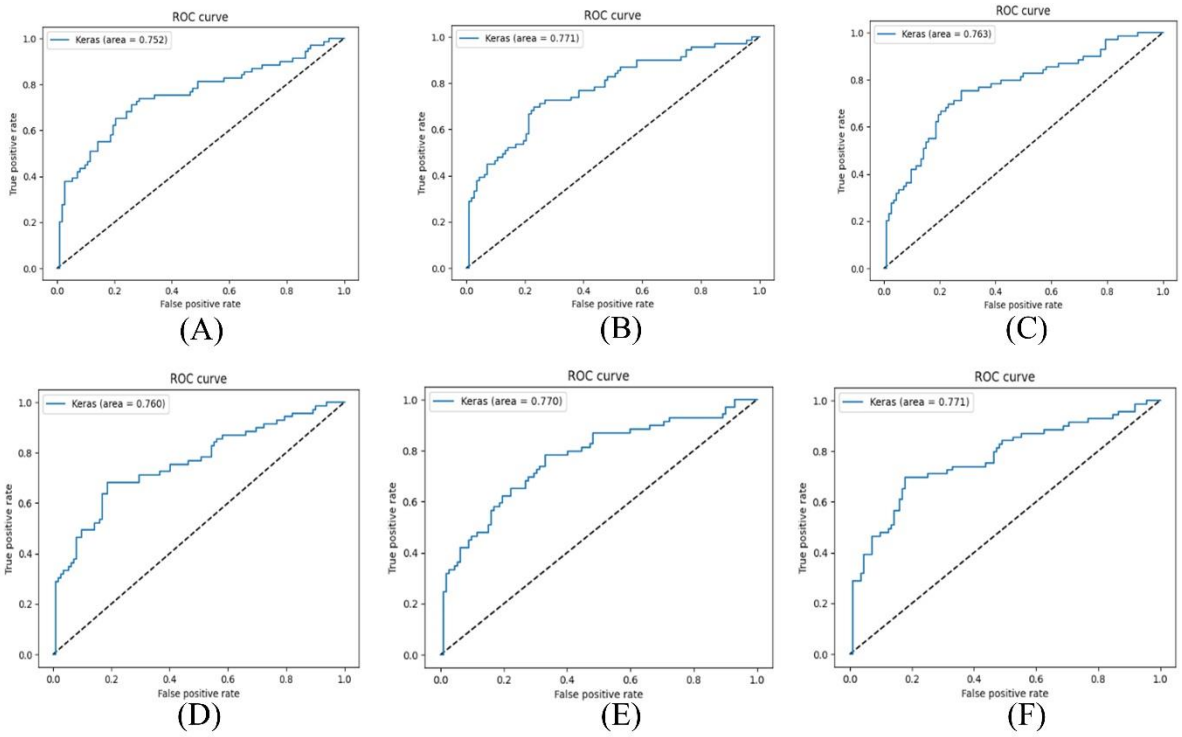


Figure III.35 : courbe de ROC (**A**: Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6).

- **Matrice de confusion**

La matrice de confusion est un outil qui compare les prédictions d'un modèle de classification avec les vraies valeurs. Elle présente quatre résultats possibles :

- Vrais positifs.
- Vrais négatifs
- Faux positifs
- Faux négatifs.

$$P = \frac{VP+VN}{VP+VN+FP+FN} \quad \text{.....(3.1)}$$

Cela permet d'évaluer rapidement la performance du modèle et d'identifier ses erreurs.

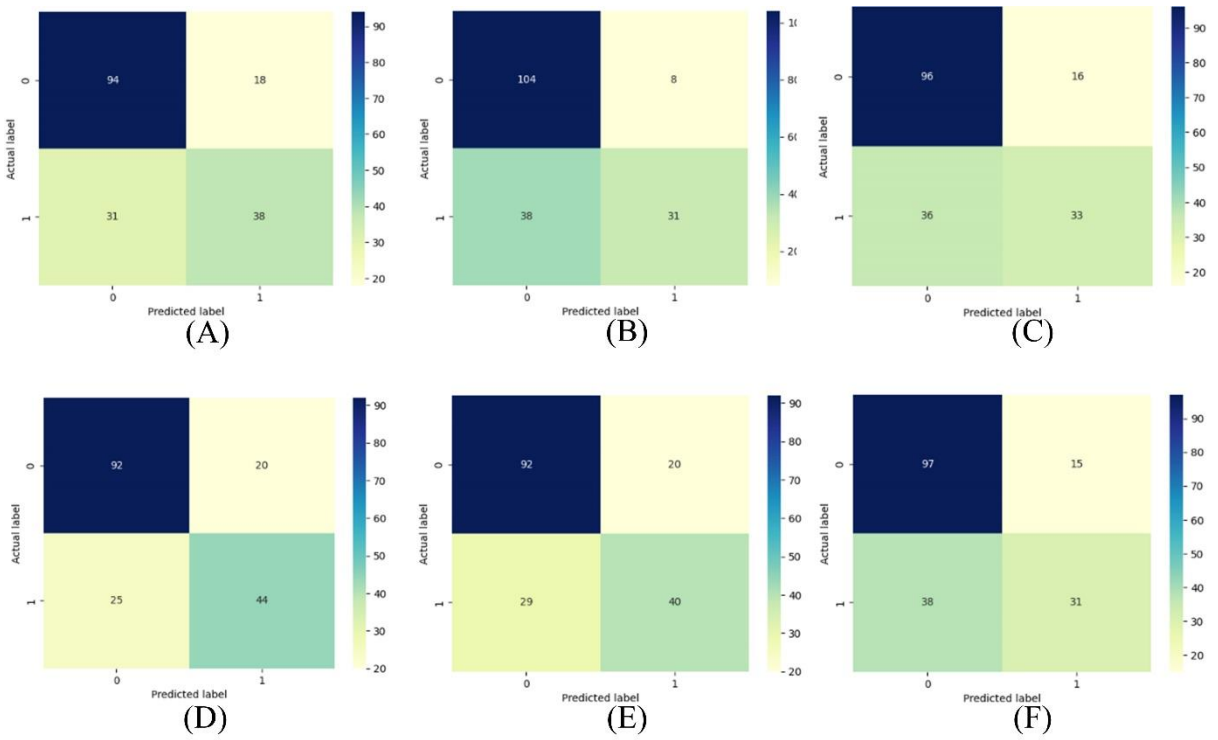


Figure III.36 : Matrice de confusion (**A** : Modèle 1, **B** : Modèle 2, **C** : Modèle 3, **D** :Modèle 4, **E** : Modèle 5, **F** : Modèle 6).

Node-RED

Les jauges (Gauges) ont affiché les valeurs en temps réel, offrant une vue d'ensemble instantanée de l'état des capteurs, tandis que les graphiques (Charts) ont permis de suivre l'évolution des mesures dans le temps (voir la figure III.37). Ces visualisations ont révélé des tendances spécifiques et des anomalies, mettant en évidence l'importance de cette transformation pour obtenir des informations précises et exploitables. Les insights obtenus servent de base pour des ajustements futurs, visant à améliorer la précision et l'efficacité du système de surveillance.



Figure III.37 : Visualisation Dashboard

5. Conclusion

Ce chapitre a été dédié pour la partie de l'implémentation de nos modèles RNA.

Nous avons présenté les outils utilisés, quelques bibliothèques essentielles qui sont liés à la programmation. Nous avons aussi présenté l'utilisation de l'outil Node Red, et nous avons également discuté les résultats obtenus.

Conclusion générale

Sans l'eau, la vie ne serait pas possible sur Terre. Elle est utilisée dans l'alimentation humaine et animale ainsi que dans divers domaines, tels que l'industrie et l'agriculture.

L'eau destinée à l'alimentation humaine doit être de bonne qualité, sans éléments chimiques et biologiques, afin d'éviter tout dommage mortel et assurer la continuité des humains. Pour y parvenir, l'eau doit être traitée et surveillée régulièrement.

Le travail présenté dans le cadre de cette mémoire est de proposer un système pour surveiller et analyser les paramètres de qualité de l'eau à base d'IoT.
Le système est basé sur différents capteurs de pH, turbidité, conductivités…ect connectés à un modelé de réseaux de neurones artificiels pour surveiller la qualité de l'eau par un mécanisme rigoureux.

Au niveau du travail fourni, dans le premier chapitre, des notions générales de l'eau ont été vues. La surveillance et différentes techniques utilisées pour l'analyse et le traitement de cette ressource vitale sont présentées. Dans le deuxième chapitre nous avons présenté les réseaux de neurones artificiels, leurs différents architectures, types, aussi de leurs fonctionnement et l'apprentissage et ses types. Ainsi nous avons vu aussi une idée générale sur l'internet des objets. Le dernier chapitre portait sur le système proposé de prévision de la qualité de l'eau. Une confirmation de choix de modèle de RNA adoptée a été effectuée, où des tests de simulation ont permis de vérifier ses capacités et ses limites.

Des résultats satisfaisants ont été obtenus utilisant des mesures réelles par l'implémentation et la réalisation de modèle RNA restent envisageables pour donner plus de fiabilité et de précision aux mesures effectuées par les capteurs physico-chimiques par rapport aux diverses analyses de laboratoire.

A la fin de ce travail, nous voulions atteindre la réalisation pratique afin de vérifier la validité de l'œuvre et de la faire passer de la phase simulation à la réalité, mais malheureusement, parce que nous n'avions pas les capteurs nécessaires, nous ne pouvions pas atteindre nos désirs et l'œuvre restait uniquement un aspect simulateur.

Références

[1] Futura, "Définition : Eau - H2O," Futura Planète, Futura, 2009. [Online]. Available: https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/developpement-durable-eau-5715/. Accessed: Feb. 18, 2023.

[2] Accueil, "Les états de l'Eau," Fondation La main à la pâte, 2009. [Online]. Available: https://fondation-lamap.org/documentation-scientifique/les-etats-de-l-eau. Accessed: Feb. 18, 2023.

[3] R. D'hugo, "Cycle de l'eau : étapes, Schéma, comment ça marche?," Journal des femmes, 2022. [Online]. Available: https://hugolescargot.journaldesfemmes.fr/fiches-scolaires/sciences-et-decouverte-du-monde/56035-cycle-de-l-eau/. Accessed: Feb. 20, 2023.

[4] W. Ayad, "Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harroch (Wilaya de Skikda)," Ph.D. dissertation, Dept. Microbiologie Appliquée, Univ. Badji Mokhtar-Annaba, 2017, pp. 3-4. Accessed: Feb. 20, 2023.

[5] A. Aissaoui, "Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage « Hammam Gouzi » de la région d'Oued Athmania (willaya de Mila) par les activités agricoles," Magister thesis, Dept. Biologie Végétale et Animale, Univ. Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2013, 133 p.

[6] A. Decrouy, "Eaux de surface : Définition et exemples," projetecolo.com, 2022. [Online]. Available: https://www.projetecolo.com/eaux-de-surface-definition-et-exemples-733.html. Accessed: Mar. 9, 2023.

[7] K. L. Lutete, "Les eaux souterraines: captage, exploitation et gestion," Memoire Online, 2017. [Online]. Available: https://www.memoireonline.com/12/17/Les-eaux-souterraines-captage-exploitation-et-gestion-Kevin-LUZOLO-LUTETE.html. Accessed: Mar. 14, 2023.

[8] AquaPortail, Équipe, "Qualité de l'eau," AquaPortail, 2021. [Online]. Available: https://www.aquaportail.com/definition-12555-qualite-de-l-eau.html. Accessed: Mar. 25, 2023

[9] "Qualité de l'eau," Wikipedia. [Online]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A9_de_l%27eau#cite_note-1. Accessed: Mar. 27, 2023

[10] Centre d'information sur l'eau, "L'eau potable: Sa définition, ses origines, ses critères de potabilité et ses traitements," Centre d'information sur l'eau, 2021. [Online]. Available: https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-definition-de-leau-potable/. Accessed: Mar. 29, 2023.

[11] J. Chartrand, J.-F. Duchesne, and D. Gauvin, "Synthèse des connaissances sur les risques à la santé humaine reliés aux usages du secteur d'étude," Rapport technique, Institut national de santé publique du Québec, Montréal, QC, Canada, Dec. 1999.

[12] J. Rodier, *L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer*, 5th ed. Paris, France: Dunod, 1984, 1500 p.

[13] H. Moniquet and Beaudry, *Chimie des Eaux*, 2nd ed. Quebec, Canada: Griffon d'Argile, 1992, pp. 12-14, 537 p.

[14] J. Rodier, *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, 9th ed. Paris, France: Dunod, 2009, 1526 p.

[15] Caméléos, "OSMOSEUR Direct 80 L/h avec... OSMOSEUR INVERSE," Josmose.fr. [Online]. Available: https://www.josmose.fr/blog/5-la-tds-c-est-quoi-. Accessed: Apr. 16, 2023

[16] G. Lazhar, "Contrôle de la pollution de l'eau par méthode acousto-optique," Mémoire de magister, Université Ferhat Abbas-Setif, 2011, 106 p.

[17] DEGREMONT, *Mémento technique de l'eau*, Tome II, 10th ed. Paris, France: Lavoisier, Tec et Doc, 2005, 859 p.

[18] J. J. Collin, *Les eaux souterraines*, Edition Belin, 2004, pp. 56-59.

[19] R. Desjardins, *Le traitement des eaux*, 2nd ed. Montreal: Éditions de l'École polytechnique de Montréal, 1990, 304 p.

[20] Civiclive, "Chloramination qa.french Casselman," Civiclive. [Online]. Available: https://cdnsm5-hosted.civiclive.com/UserFiles/Servers/Server_4754354/File/Chloramination%20qa.french%20Casselman.pdf. Accessed: Apr. 18, 2023.

[21] Hach, "Total organic carbon (TOC)," Hach. [Online]. Available: https://uk.hach.com/parameters/toc#:~:text=Total%20organic%20carbon%20is%20a,man%2Dmade%20sources%2Fprocesses. Accessed: Apr. 18, 2023.

[22] Gouvernement du Québec, "Trihalomethanes - contaminants in drinking water," Gouvernement du Québec. [Online]. Available: https://www.quebec.ca/en/agriculture-environment-and-natural-resources/drinking-water/contamination-water-distribution-network/trihalomethanes. Accessed: Apr. 20, 2023.

[23] F. Rejsek, *Analyse des eaux. Aspects réglementaire et techniques*, Série Science et Techniques de l'Environnement, Paris: Edition Scérén, 2002, 358 p.

[24] O. Si Abderrahmane, "Contribution à l'évaluation du système management et qualité des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement Taksebt et Boudouaou," Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algeria, 2016.

[25] J. Rodier, *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*, 8th ed. Paris, France: Dunod, 2005, 1381 p.

[26] R. Bremond and R. Vuichard, *Paramètres de la qualité des eaux*, Documentation Française OSPEPE, Paris, 1973, 178 p.

[27] P. Pesson, *La pollution des eaux continentales*, Paris: Edition Masson et Cie, 1976, 9 p.

[28] WellWo, "Les causes et les conséquences de la pollution de l'eau," Wellwo, Salud Laboral - Bienestar en el puesto de trabajo, 2021. [Online]. Available: https://wellwo.es/fr/les-causes-et-les-consequences-de-la-pollution-de-leau/. Accessed: Apr. 20, 2023.

[29] Ooreka.fr, "Traitement de l'Eau Potable : Pourquoi ? comment ? - ooreka," Ooreka.fr. [Online]. Available: https://traitement-eau.ooreka.fr/comprendre/eau-potable#:~:text=Le%20traitement%20de%20l'eau,eau%20qualifi%C3%A9e%20de%20%C2%AB%20potable%20%C2%BB. Accessed: Apr. 24, 2023.

[30] Air Liquide France Industrie, "A Quoi Sert Le Traitement des eaux usées ?," Air Liquide France Industrie - Fournisseur de gaz industriels. [Online]. Available: https://fr.airliquide.com/solutions/traitement-des-eaux/quoi-sert-le-traitement-des-eaux-usees. Accessed: Apr. 24, 2023.

[31] R. Desjardins, *Le traitement des eaux*, 2nd ed. rev. and enriched, Montreal, Canada: January 1990. ISBN: 978-2-553-00643-2.

[32] W. Bouridi, S. Fardjallah, and N. Saaidia, "Traitement et critères de potabilité de l'eau (les normes)," Mémoire de master, Université 8 Mai 1945 Guelma, Algeria, 2017.

[33] Reef Resilience, "Surveillance de la Qualité de l'eau," Reef Resilience. [Online]. Available: https://reefresilience.org/fr/management-strategies/wastewater-pollution/water-quality-monitoring/. Accessed: Apr. 25, 2023.

[34] oieau, "Les indicateurs de qualité / présentation générale - oieau," OIEAU. [Online]. Available: https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Indic_qualite_PresGen.pdf. Accessed: Apr. 25, 2023.

[35] NetApp, "Intelligence artificielle : Définition et utilisations," NetApp. [Online]. Available: https://www.netapp.com/fr/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence/. Accessed: Apr. 27, 2023.

[36] J. Sansonetti, "Julie Sansonetti est l'auteur de cet articleJulie est Web Content Specialist chez WiziShop. Passionnée par le digital, Julie Sansonetti est l'auteur de cet article and Julie est Web Content Specialist chez WiziShop. Passionnée par le digital," Quels sont les types d'IA et les grands domaines d'application ?, WiziShop. [Online]. Available: https://www.wizishop.fr/blog/type-ia. Accessed: Apr. 27, 2023.

[37] J. Damelincourt, "Présentation & Historique des Réseaux neuronaux," Futura. [Online]. Available: https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/robotique-presentation-historique-reseaux-neuronaux-31/. Accessed: Apr. 27, 2023.

[38] Futura, "Définition: Neurone," Futura Santé, Futura, 2011. [Online]. Available: https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/cerveau-neurone-209/. Accessed: Apr. 28, 2023.

[39] Pitpitt, "Neurone artificiel," DataFranca. [Online]. Available: https://datafranca.org/wiki/Neurone_artificiel. Accessed: Apr. 29, 2023.

[40] N. Humblot, "Deep learning : Comprendre Les Réseaux de Neurones Artificiels (artificial neural networks)," Ryax Technologies, 2023. [Online]. Available: https://ryax.tech/fr/deep-learning-comprendre-les-reseaux-de-neurones-artificiels-artificial-neural-networks/. Apr. 29, 2023.

[41] T. Kohonen, "Self-organized formation of topologically correct feature maps," *Biological Cybernetics*, pp. 59-69, 1982.

[42] M. R. Zemouri, "Contribution à la surveillance des systèmes de production à l'aide des réseaux de neurones dynamiques : Application à la maintenance," Ph.D. dissertation, Université de Franche-Comté, 2003.

[43] G. Dreyfus, J. M. Martinez, M. Samuelides, M. B. Gordon, F. Badran, S. Thiria, and L. Hérault, *Réseaux de Neurones : Méthodologie et Applications*, Eyrolles, 2002.

[44] H. A. Beghdadi and M. Senouci, *Réseaux de Neurones: théorie et pratique*, 2nd ed., Ben-Aknoun-Alger: 2005, 141 p. ISBN: 9961-0-0902-9.

[45] A. O. A. Ghani Hassan and A. Belbezzouh, "Entraînement D'un Réseau De Neurones MLP," Thèse de Master, Informatique Industrielle, Université Larbi Ben M'hidi - Oum El Bouaghi, Oum El Bouaghi, Algeria, 2011, 35 p.

[46] M. Weinfeld, "Réseaux de neurones," *Technique de l'ingénieur*, H1990, 2003.

[47] D. E. Rumelhart, E. Hinton, and J. Williams, "Learning internal representations by error propagation," in *Parallel Distributed Processing*, vol. 1, MIT Press, Cambridge, MA, 1986, pp. 318-362.

[48] D. S. Broomhead and D. Lowe, "Multivariate functional interpolation and adaptive networks," *Complex Systems*, vol. 2, pp. 321-355, 1988.

[49] Linedata, "Qu'est-ce que l'apprentissage supervisé ?," Linedata. [Online]. Available: https://fr.linedata.com/quest-ce-que-lapprentissage-supervise. Accessed: May. 8, 2023.

[50] F. Cau, A. Fanni, A. Montisci, P. Testoni, and M. Usai, "Artificial Neural Networks for Non-Destructive Evaluation with Ultrasonic Waves in not Accessible Pipes," *IEEE Xplore Digital Library*, pp. 685-692, May 2005.

[51] G. Dreyfus, J. M. Martinez, M. Samuelides, M. B. Gordon, F. Badran, S. Thiria, and L. Hérault, "Réseaux de Neurones : Méthodologie et Applications," Eyrolles, 2002.

[52] "Apprentissage par renforcement," Wikipedia. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Reinforcement_learning. Accessed: May. 10, 2023.

[53] C. Touzet, "Les réseaux de Neurones Artificiels : Introduction au connexionnisme," Thèse de doctorat, Université (location), July 1992.

[54] M120251 D. E. L. A. R. Scientifique and M. De Fin, "Thème Contrôle flou des feux d ' intersection basé sur l ' Internet des Objets,"2019.

[55] D. Ichbiah, "Définition: Internet des objets - ido - internet of things - IOT," Futura Tech, Futura, 2023. [Online]. Available: https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/internet-internet-objets-15158/?source=post_page----------. Accessed: May. 10, 2023.

[56] N. Belhadj and A. Abbad, "La sécurité de l'Internet des Objets (IoT)," Thèse de Master, Electronique des systèmes embarqués, Université Ibn-Khaldoun, Tiaret, Algeria, 2022, 81 p.

[57] L'internet des objets - Partie 1 - Les réseaux de communication, "Revue de l'Electricité et de l'Electronique," Revue de l'Electricité et de l'Electronique (REE), October 2016, pp. 106-115.

[58] M. Haoua Zakaria and M. Mohamed Mahmoud Othman, "Domaines d'applications de l'IoT, travaux et risques," WikiMemoires. [Online]. Available: https://wikimemoires.net/2019/09/domaines-d-applications-de-l-

iot/#:~:text=Plusieurs%20domaines%20d'application%20sont,etc. Accessed: May. 15, 2023

[59] F. Skandrani et al., "Architecture IOT : L'Essentiel à Savoir," IoT Industriel Blog. [Online]. Available: https://iotindustriel.com/iot-iiot/architecture-iot-lessentiel-a-savoir/. Accessed: May. 16, 2023.

[60] Anaconda Navigator, "Anaconda Navigator - Anaconda documentation," Anaconda. [Online]. Available: https://docs.anaconda.com/free/navigator/index.html. Accessed: May. 16, 2023.

[61] J. JVC, "Scikit-Learn : Guide de Démarrage Rapide en machine learning avec python," Data Transition Numérique. [Online]. Available: https://www.data-transitionnumerique.com/scikit-learn-python/. Accessed: May. 17, 2023.

[62] Tensorflow, "Un écosystème open source dédié à la création des modèles de deep learning," Agence Web Kernix. [Online]. Available: https://www.kernix.com/tensorflow-un-ecosysteme-open-source-dedie-a-la-creation-des-modeles-de-deep-learning/. Accessed: May. 17, 2023.

[63] "Débuter avec Keras - documentation en Français," Actu IA, 2022. [Online]. Available: https://www.actuia.com/keras/. Accessed: May. 17, 2023.

[64] Google Search, "les bases de matplotlib," [Online]. Available: https://www.google.com/search?q=les%2Bbeses%2Bde%2Bmatplotlib&oq=les%2Bbeses%2Bde%2Bmatplotlib&aqs=chrome..69i57j0i22i30l3.10344j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8. Accessed: May. 18, 2023.

[65] User, "Seaborn : Tout Savoir Sur l'outil de data visualization en python," Formation Data Science | DataScientest.com, 2023. [Online]. Available: https://datascientest.com/seaborn-tout-savoir. Accessed: May. 18, 2023.

[66] Stackhero, "(No date a) Node-RED Documentation," Stackhero. [Online]. Available: https://www.stackhero.io/en-fr/services/Node-RED/documentations/Introduction. Accessed: May. 20, 2023.

[67] Installation et utilisation de Node-RED - DeltaLab Prototype. [Online]. Available: https://deltalabprototype.fr/wp-content/uploads/2019/10/Serveur-NodeRED.pdf. Accessed: May. 20, 2023.

[68] "What is Node-RED? - iot4beginners." [Online]. Available: https://iot4beginners.com/what-is-node-red/. Accessed: May. 20, 2023.

[69] https://www.kaggle.com/code/irvingestrada/water-quality-prediction-using-ann