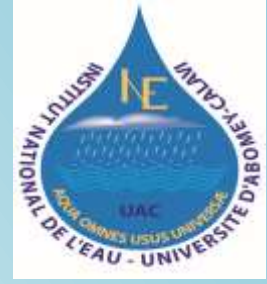




UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

INSTITUT NATIONAL DE
L'EAU



DEPARTEMENT D'HYDROLOGIE ET GESTION INTEGREE DES
RESSOURCES EN EAU

Mémoire de fin de formation présenté par

IRAKIZA Gisèle

Pour l'obtention du diplôme de

Master Professionnel en Hydrologie

OPTION : Hydro-Informatique

**Vers une gestion intelligente de l'Eau grâce à l'IdO :
un enjeu primordial pour la distribution**

Maître de Mémoire

Dr AHOUANDJINO Arnaud (MC/CAMES)

Encadreur

Dr MANHOUGBE Probus KIKI

Maîtres de Stage

HOUESSOU Sandrine & BIZIMANA J. Marie

Année Académique 2022-2023

CERTIFICATION

Nous enseignants

- Pr
- Dr DOSSOU-OLORY Audace
- Jean
- Pr AHOUANDJINOUE Arnaud

Jury chargé de juger le mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme de master professionnel en Hydro-Informatique de l'étudiant IRAKIZA Gisèle du Département d'Hydrologie et Gestion des Ressources en Eau (DHGRE) de l'institut National de l'Eau (INE) à l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) , certifions que les différents apports, contributions et corrections énoncés au cours de sa soutenance tenue le 15 décembre 2023, ont été intégrés au document pour l'amélioration de la qualité scientifique et esthétique de ce dernier qui a pour thème vers une gestion intelligente de l'eau grâce à l'IoT : un enjeu primordial pour la distribution .

En foi de quoi, le présent certificat lui est délivré pour servir et valoir ce que de droit,

Président du jury:

Pr LAWIN Agnidé Emmanuel

Examineur 1 :

Dr DOSSOU-OLORY Audace

Examineur 2 :

Dr HOUNKPE Jean

Rapporteur :

Pr AHOUANDJINOUE Arnaud

DEDICACE

Je dédie ce mémoire à l'Eternel, à mes parents, encadreurs et à tous ceux qui me sont chers.

IRAKIZA Gisèle

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit de tous ceux qui m'ont accompagné depuis mon cursus universitaire jusqu'à la conception de ce projet. J'adresse particulièrement mes sincères remerciements :

- ❖ Au **Seigneur Jésus-Christ** de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures conditions.
- ❖ Au Dr **AHOUANDJINOU Arnaud**, mon maître de mémoire pour sa direction éclairée, son soutien au long de la réalisation de ce mémoire.
- ❖ Au Dr **KIKI Manhoubé Probus A.F**, mon encadreur pour son suivi rigoureux, ses conseils perspicaces, son expertise technique et son engagement indéfectible dans l'encadrement de ce mémoire.
- ❖ A **Mr BIZIMANA Jean-Marie, Mme HOUESSO Sandrine**, pour leurs orientations de recherches.
- ❖ Au **Centre d'Excellence pour l'Eau et l'Assainissement (C2EA)** pour leur généreux soutien financier, qui a rendu possible la réalisation de ces études.
- ❖ A la **REGIDESO** et **ADESTI** pour m'avoir accueillie lors de mon stage. Les connaissances acquises et l'expérience professionnelle obtenue ont été inestimables pour le développement de ce mémoire.
- ❖ A tous les enseignants de **l'Institut National de l'Eau (INE)** qui de près ou de loin ont contribué à notre formation ;
- ❖ A ma famille respective pour le soutien indéfectible
- ❖ A mes amis spécialement **IHUWIZEYE Anny Arlette** et la communauté Burundaise vivant à Calavi qui m'ont soutenue tout au long de ce parcours académique.
- ❖ A mes collègues et camarades de classe qui ont partagé leurs idées et leurs expériences, contribuant ainsi à l'enrichissement de ce mémoire.
- ❖ A tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Leur impact ne sera pas oublié.

RESUME

L'eau est une ressource vitale pour la vie des êtres vivants. Cependant, la croissance de la population, les changements climatiques, l'obsolescence des infrastructures qui ne sont pas renouvelées et les ruptures dans les réseaux de distribution ont rendu la distribution de l'eau de plus en plus complexe pour les entreprises de distribution. Cela entraîne un gaspillage considérable de cette ressource, des pertes financières et une insatisfaction parmi la population desservie. Aujourd'hui, dans ces entreprises des questions se posent sur la manière de mesurer le débit et le volume d'eau circulant dans le réseau, afin de détecter les pertes, d'optimiser le temps de maintenance et de suivre de près la consommation de la population. L'objectif de cette étude est de mettre en place une technologie basée sur l'Internet des objets (IdO) pour améliorer la distribution de cette ressource. Cette démarche nécessite une approche de solution concrète et efficace pour pallier le manque de suivi en temps réel du réseau de distribution. Pour ce faire, une revue de littérature a été effectuée, et nous avons opté pour la création d'un prototype de système de distribution d'eau intelligent. Ce prototype est composé de différents capteurs, notamment un capteur de niveau et deux capteurs de débit, ainsi qu'une pompe. Cette solution nous permet de collecter en temps réel des données sur le débit et la consommation, que nous enverrons à la base de données en temps réel de Firebase. A partir d'une application mobile, ces données sont accessibles aux distributeurs, ce qui leur permet de connaître en temps réel le débit et le volume d'eau circulant dans le réseau et de prendre des décisions en conséquence. De plus, les abonnés pourront également mieux comprendre leur propre consommation d'eau.

Mots clés : Eau, IdO, Capteurs, Applications mobiles, système intelligent

ABSTRACT

Water is a vital resource for the life of living beings. However, due to population growth, climate change, and outdated infrastructure that is not renewed, breaks in distribution networks have made water distribution increasingly complex for distribution companies. This has led to considerable waste of this resource, financial losses, and dissatisfaction among the served population. Today, questions arise in these companies about how to measure the flow and volume of water circulating in the network to detect losses, optimize time, and closely monitor the population's consumption. The objective of this study is to implement an Internet of Things (IoT)-based technology to improve the distribution of this resource. This approach requires a concrete and effective solution to overcome the lack of real-time monitoring of the distribution network. To do this, a literature review was conducted, and we opted for the creation of a prototype of an intelligent water distribution system. This prototype will be composed of different sensors, including a level sensor and two flow sensors, as well as a pump. This solution will allow us to collect real-time data on flow and consumption, which we will send to Firebase's real-time database. From a mobile application, this data will be accessible to distributors, allowing them to know in real-time the flow and volume of water circulating in the network and make decisions accordingly. In addition, subscribers will also be able to better understand their own water consumption.

Keywords : Water, IoT, Sensors, Mobile Applications, Intelligent System.

SIGLES ET ACRONYMES

BLE : Bluetooth Low Energy

IHM : Interface Homme-Machine

IdO : Internet des Objets

M2M : Machine-à-Machine

NFC : Near Field Communication

OCE : Objet Connecté Enrichi

OC : Objet Connecté

RFID : Radio-Frequency Identification

REGIDESO : Régie de Production et de Distribution d'Eau et d'Electricité du Burundi

ADESTI : Association pour le Développement des Sciences et des Techniques Industrielles

USB : Universal Serial Bus

Wi-Fi : Wireless Fidelity

GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande par Etapes et Transitions

WSN : Wireless Sensor Network

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Matériels achetés	55
-------------------------------------	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : présentation d'un système de gestion de l'eau-----	2
Figure 2 : Organigramme de la REGIDESO -----	9
Figure 3 : Procédure de traitement Usine-Lac -----	11
Figure 4 : Organigramme ADESTI -----	15
Figure 5: photo illustrative de quelques activités-----	17
Figure 6 : Présentation du cycle de l'eau -----	19
Figure 7 : Les eaux de surfacés (Lac) -----	19
Figure 8 : Prélèvement, traitement et distribution d'eau -----	20
Figure 9 : Eau potable chez le consommateur-----	21
Figure 10 : Canal d'acheminement-----	21
Figure 11 : Château d'eau -----	22
Figure 12 : Réseau de distribution d'eau potable-----	22
Figure 13 : Représentation d'un réseau ramifié -----	23
Figure 14 : Représentation d'un réseau maillé -----	24
Figure 15 : Présentation du système -----	25
Figure 16 : Schéma synoptique du système-----	26
Figure 17 : Schéma d'une architecture de l'IdO -----	30
Figure 18 : Carte Arduino Uno -----	31
Figure 19 : Module Carte ESP32-----	33
Figure 20 : Capteur de débit d'eau -----	34
Figure 21 : Capteur de niveau d'eau-----	35
Figure 22 : Relais -----	36
Figure 23 : Pompe à eau 12V-----	37
Figure 24 : Buzzer -----	38
Figure 25 : Tuyaux en PVC-----	39
Figure 26 : Chargeur d'alimentation 12V -----	39
Figure 27 : Robinet -----	40
Figure 28 : Interface Arduino IDE -----	41
Figure 29 : Organigramme du fonctionnement de notre système -----	46
Figure 30 : Interface principale de l'application -----	47
Figure 31 : Interface login -----	48
Figure 32 : Interface Distributeur -----	49
Figure 33 : Interface Utilisateur -----	50
Figure 34 : Interface Matériel Design de Kodular -----	51
Figure 35 : Interface Blocks de Kodular-----	51
Figure 36 : Interface de base de données Firebase -----	52
Figure 37 : Schéma synoptique de câblage -----	53
Figure 38 : Conception du Système -----	54

Figure 39 : Affichage des données dans la base de données Firebase-----	55
Figure 40 : Résultat de transfert des données avec l'application pour le distributeur -----	56
Figure 41 : Résultat de transfert des données avec l'application pour l'utilisateur -----	57

TABLE DE MATIERES

DEDICACE.....	iii
REMERCIEMENTS	iv
RESUME.....	v
ABSTRACT	vi
.....	vii
SIGLES ET ACRONYMES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
TABLE DE MATIERES.....	x
INTRODUCTION GENERALE.....	1
1. Contexte et Justification de l'Étude	1
2. Revue de littérature.....	2
3. But de la recherche.....	3
4. Problème et questions de recherche.....	3
5. Objectifs du mémoire.....	3
5.1. Objectif général	3
5.2. Objectifs spécifiques.....	3
6. Hypothèses de travail	3
7. Limite de l'étude	4
8. Les contributions de l'étude	4
9. Structure du mémoire.....	4
CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE.....	5
Introduction	5
1. REGIDESO	5
1.1. Historique.....	5
1.2. Objectif	5
1.3. Mission et vision de la REGIDESO	6
1.4. Direction générale de la REGIDESO	6

1.5. Direction administrative et financière	6
1.6. La Direction commerciale.....	7
1.7. Direction de l'eau.....	7
1.8. Direction de l'électricité	7
1.9. Organigramme de la REGIDESO	7
1.10. Déroulement du stage.....	10
1.11. Enjeux opérationnels rencontrés.....	12
2. ADESTI	12
2.1. Historique.....	12
2.2. Objectif	12
2.3. Mission.....	13
2.4. Structure organisationnelle	13
2.5. Assemblée Générale	13
2.6. Conseil d'Administration.....	13
2.7. Les sections techniques	14
2.8. Organigramme.....	15
2.9. Déroulement du stage.....	15
3. Conclusion.....	17
CHAPITRE 2 : L'EAU ET LA DISTRIBUTION	18
Introduction	18
1. Les ressources en eau douce	18
1.1. Les eaux souterraines	18
1.2. Les eaux de surface.....	19
2. Production de l'eau	20
3. Distribution de l'eau.....	20
3.1. L'adduction d'eau	21
3.2. Stockage.....	21
3.3. Réseau de distribution de l'eau	22
3.3.1. Réseaux ramifiés.....	23
3.3.2. Réseaux maillés.....	23
4. Présentation du système.....	24
4.1. Cahier de charge.....	25

a) Gestion de la distribution d'eau	25
b) Sécurité et surveillance.....	25
c) Contrôle à distance	26
4.2. Schéma synoptique	26
5. Conclusion.....	27
CHAPITRE 3 : Matériels et Méthodes	28
Introduction	28
1. L'Internet des Objets (IdO).....	28
1.1. Les Composantes de l'IdO	28
1.2. Fonctionnement de l'IdO	29
1.3. Domaines d'Application de l'IdO.....	29
1.4. Architectures de l'IdO.....	29
1.5. Technologies de communication des objets connectés	30
2. Matériels.....	30
2.1. Carte Arduino Uno.....	30
2.2. Composant de communication sans fil (Carte ESP 32).....	33
2.3. Les capteurs	33
2.3.1. Capteur de débit d'eau (débitmètre YF-S201).....	33
2.3.1.1. Définition et fonctionnement	33
2.3.1.2. Caractéristiques.....	34
2.3.1.3. Broches de connections	34
2.3.2. Capteur de niveau d'eau (Ultrason HC-SR04)	35
2.3.2.1. Définition et fonctionnement	35
2.3.2.2. Caractéristiques.....	35
2.3.2.3. Broches de connections	35
2.4. Modules de relais.....	36
2.4.1. Définition et fonctionnement	36
2.4.2. Caractéristiques.....	36
2.4.3. Broches de connections	37
2.5. Pompe	37
2.5.1. Définition et fonctionnement	37
2.5.2. Caractéristiques.....	38
2.5.3. Broches de connection.....	38

2.6. Buzzer	38
2.7. Tuyaux	38
2.7.1. Définition	38
2.7.2. Caractéristiques du tuyau en fil d'acier	39
2.8. Alimentation 12 V	39
2.9. Robinet	40
3. Logiciel utilisé	40
3.1. Arduino IDE	40
4. Conclusion	42
CHAPITRE 4. REALISATION PRATIQUE	43
Introduction	43
1. Organigramme du réseau de distribution d'eau intelligent	44
2. Protocole de communication	46
2.1. Description du protocole de communication	46
2.2. Conception et réalisation de l'application mobile	46
2.3. La base des données Firebase	51
3. La réalisation et les résultats pratiques	52
3.1. Le schéma de câble d'un réseau de distribution d'eau intelligent	52
3.2. Etapes de montage avec la carte arduino	53
3.3. Etapes de montage avec ESP 32	55
3.4. Résultat pratique	55
4. Conclusion	58
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	59
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	60
ANNEXES	61
❖ Achat des Matériels Utilisés	61

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte et Justification de l'Étude

L'accès à une eau propre et potable est un droit fondamental de l'homme, crucial pour la survie et le bien-être de toutes les communautés. Cependant, au cours des dernières décennies, la demande en approvisionnement en eau a connu une croissance significative à l'échelle mondiale. Cette hausse de la demande est alimentée par plusieurs facteurs, notamment l'urbanisation rapide, les effets des changements climatiques et la croissance démographique. La gestion de cette ressource vitale est devenue de plus en plus complexe, posant des défis majeurs à de nombreuses nations, y compris le Burundi [1].

C'est dans ce contexte que s'inscrit mon stage à la Régie de Production et de Distribution d'Eau et d'Electricité du Burundi (REGIDESO), qui a débuté le 1er août 2022 et qui a pris fin le 1er septembre 2022. La REGIDESO joue un rôle central dans la fourniture d'eau potable à la population du pays. Toutefois, la gestion efficace de l'eau est devenue de plus en plus complexe pour l'entreprise, à la lumière de l'augmentation de la demande et des défis opérationnels. Le secteur de l'eau au Burundi est confronté à des problèmes de gestion des ressources en eau, de distribution inefficace, de pertes dues à des fuites et de problèmes de pression dans le réseau [2]. La situation actuelle menace à la fois l'approvisionnement en eau et la santé publique.

Dans ce contexte, il est nécessaire de trouver des solutions novatrices pour améliorer la gestion de l'eau. C'est dans ce contexte que l'Internet des Objets (IdO) montre tout son intérêt [3]. Le développement d'un système basé sur l'IdO pour la gestion de l'eau dans le secteur de distribution à la REGIDESO Burundi peut contribuer de manière significative à relever ces défis. En exploitant des capteurs intelligents et une connectivité sans fil, un tel système permettrait la collecte de données en temps réel sur la consommation d'eau, la détection de fuites et bien plus encore. Cette approche pourrait offrir à la REGIDESO une vision plus complète de la distribution d'eau et permettrait aux utilisateurs de surveiller leur propre consommation d'eau de manière transparente, favorisant ainsi une utilisation responsable de cette précieuse ressource.

2. Revue de littérature

Une étude menée par des chercheurs [4] souligne l'importance croissante des systèmes de gestion de l'eau intelligents basés sur l'Internet des objets (IdO). Ces systèmes permettent une surveillance en temps réel des niveaux d'eau et de la qualité, tout en réduisant les coûts associés. Cependant, des défis subsistent, notamment en ce qui concerne la consommation d'énergie et la précision des prédictions dans des applications spécifiques de la gestion de l'eau telle que l'irrigation et la lutte contre les inondations. Les auteurs suggèrent des pistes d'amélioration, notamment l'intégration de l'apprentissage automatique pour des prévisions plus précises.

La figure 1 présente l'architecture du système proposé par les chercheurs M. Singh et S. Ahmed.

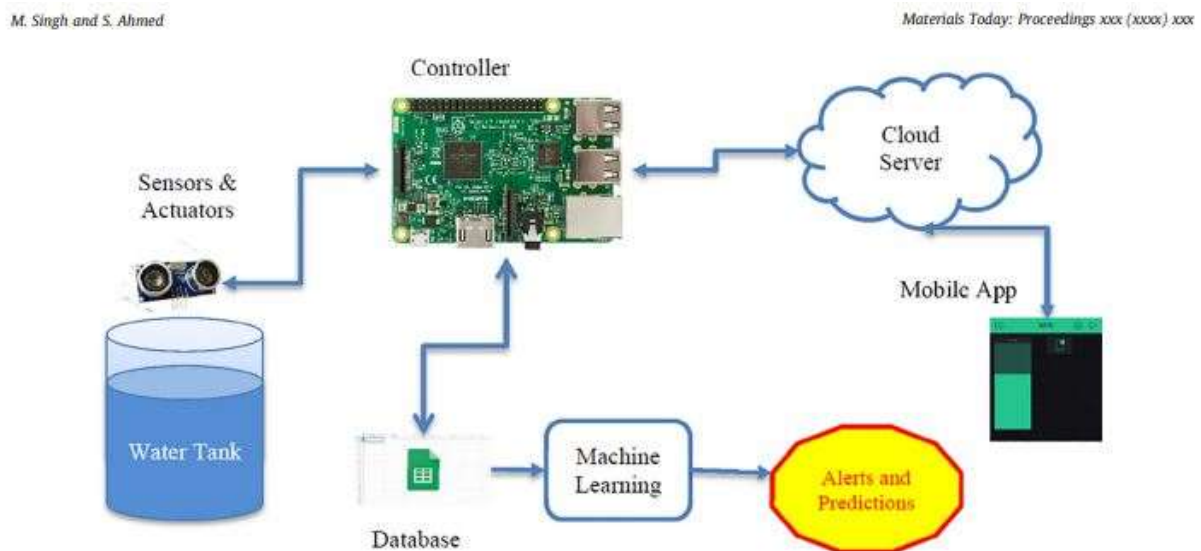


Figure 1 : présentation d'un système de gestion de l'eau

D'autres travaux [5] mettent en évidence le rôle crucial des secteurs industriels et urbains dans la consommation d'eau, soulignant la nécessité d'une gestion équilibrée des ressources en eau. Le projet présenté se concentre sur la surveillance de la consommation d'eau grâce à l'IdO, offrant ainsi la possibilité d'optimiser l'utilisation de l'eau et de réduire le gaspillage. Cette approche s'avère essentielle pour faire face à la pénurie d'eau en constante augmentation.

Enfin, les recherches de Kendurkar et Collaborateurs [6] se penchent sur l'importance de la conservation de l'eau en se concentrant sur l'offre d'eau aux ménages. Une solution basée sur l'IdO est présentée pour mesurer et contrôler la quantité d'eau fournie à chaque ménage, encourageant ainsi une utilisation plus responsable de cette ressource vitale.

Ces articles mettent en évidence des avancées et des défis généraux liés à la gestion de l'eau. Mon sujet apporte une dimension concrète et spécifique à la problématique de la gestion de l'eau en se concentrant sur la situation au Burundi et sur l'application de l'Internet des Objets (IdO) pour améliorer la gestion de cette ressource.

3. But de la recherche

Le but de cette recherche est de proposer un système intelligent basé sur l'IdO pour une gestion efficace de la distribution de l'eau, en mettant l'accent sur la surveillance en temps réel, la détection de problèmes et la promotion de l'utilisation responsable de l'eau.

4. Problème et questions de recherche

Le problème de recherche est de développer un système intégré basé sur l'IdO pour la gestion de la distribution de l'eau, capable de surmonter les limitations des approches actuelles de la REGIDESO. Les questions de recherche sont : Comment concevoir et mettre en œuvre ce système ? Quelles sont les améliorations attendues en termes de distribution d'eau, de détection de problèmes et d'économie d'eau ?

5. Objectifs du mémoire

5.1. Objectif général

Ce travail de recherche consiste à concevoir et à mettre en œuvre un système IdO pour la gestion intelligente de la distribution de l'eau.

5.2. Objectifs spécifiques

- Concevoir un système de surveillance en temps réel de la consommation d'eau.
- Mettre au point un système détectant rapidement les fuites.
- Promouvoir une utilisation responsable de l'eau.

6. Hypothèses de travail

L'hypothèse est que la mise en œuvre d'un système IdO améliorera la gestion de distribution de l'eau en permettant une surveillance en temps réel et une détection rapide des fuites.

7. Limite de l'étude

Cette étude ne prend pas en compte les aspects financiers de la mise en place du système IdO.

8. Les contributions de l'étude

Cette étude apporte une contribution en proposant une solution basée sur l'IdO pour améliorer le système de distribution de l'eau, avec un accent sur la surveillance en temps réel et la détection de problèmes.

9. Structure du mémoire

Afin d'atteindre l'objectif sollicité, nous avons structuré notre mémoire en quatre principaux chapitres :

- Le premier chapitre porte sur la présentation du cadre de l'étude qui a pour objectif de mieux comprendre l'organisme, sa structure, déroulement du stage et les problèmes rencontrés.
- Le deuxième chapitre s'intitule l'eau et la distribution présente des généralités sur le système de distribution d'eau potable et la conception de notre système.
- Le troisième chapitre s'intitule conception matérielle et méthodes nous parlerons sur les composants et logiciels utilisés pour la conception du système.
- Et le quatrième chapitre s'intitule réalisation pratique est présenté avec les détails que nous avons vus intéressant à montrer.

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

Introduction

Dans la perspective d'allier mes connaissances théoriques à la pratique, j'ai eu à effectuer deux stages pratique d'un (1) mois à la REGIDESO du 01/08/2022 au 01/9/2022 et trois (3) mois à ADESTI du 05/07/2023 au 05/10/2023. Ce chapitre constitue la première partie de mon sujet. Il présente les structures d'accueil et le déroulement des stages.

1. REGIDESO

1.1. Historique

Créée le 22 juin 1962 par l'ordonnance législative 053/113, la REGIDESO du Burundi est une entreprise socio-commerciale majeure, initialement établie en tant qu'administration personnalisée. Au fil des années, son cadre institutionnel a évolué, passant d'un établissement public à caractère commercial et industriel à une société à participation publique le 5 septembre 1977. Depuis sa création, la REGIDESO a considérablement investi, étendant ses immobilisations à travers tout le territoire burundais. Aujourd'hui, en tant que société à participation publique, elle jouit d'une personnalité juridique et d'une autonomie financière, continuant de jouer un rôle essentiel dans la production et la distribution d'eau et d'électricité au Burundi.

1.2. Objectif

La REGIDESO du Burundi a pour objectif l'exploitation, la distribution d'eau potable et l'électricité, l'adduction et le traitement d'eaux pour alimenter en eau potable un centre de grande ou petite importance ; elle fait appel dans la plupart des cas à l'emploi d'eaux de surface qui sont en quantité abondante dans notre pays. En plus, son objectif est d'améliorer l'accès de la population à l'eau potable et l'électricité et d'en faire bénéficier le plus grand nombre possible. En effet, l'objectif de la REGIDESO pour le futur immédiat est d'améliorer sensiblement la continuité de l'alimentation en eau potable et en électricité de sa clientèle de manière durable et à un prix juste et raisonnable.

1.3. Mission et vision de la REGIDESO

La REGIDESO s'intéresse toujours sur des secteurs d'Eau et d'Electricité dès sa création. Sa mission est le captage, le traitement, et la distribution de l'eau, la production et la distribution de l'électricité ainsi que la commercialisation de ces produits dans les centres urbains et les centres jugés importants par le conseil d'administration.

Pour honorer ses engagements, la REGIDESO doit produire une qualité suffisante de l'eau potable, et la direction de l'eau par intermédiaire de ses différents services doit évaluer les sources disponibles dans le but de les capter.

1.4. Direction générale de la REGIDESO

La vision de la Direction Générale de la REGIDESO est d'assurer continuellement l'alimentation en eau potable et en électricité de manière durable aux populations urbaines à un prix juste et raisonnable. Les premières responsabilités de la Direction Générale sont de planifier et de coordonner les activités de l'entreprise.

1.5. Direction administrative et financière

La vision de la Direction Administrative et Financière est d'assurer un équilibre financier sain qui permet à l'entreprise de prospérer et d'atteindre ses objectifs. La mission de la Direction Administrative et Financière est de mettre à la disposition des autres Directions les ressources financières et matérielles requises pour la conduite normale des différentes activités de la REGIDESO. Son objectif global est d'assurer régulièrement le suivi des flux financiers de la REGIDESO et maîtriser leur évolution de manière à maintenir l'équilibre entre les emplois et les ressources. Elle comprend six (6) Services à savoir :

- Le Service Comptabilité ;
- Le Service des Approvisionnements ;
- Le Service Contrôle Budgétaire et Financier ;
- Le Service Logistique ;
- Le Service Informatique ;
- Le Service Magasin.

1.6. La Direction commerciale

La Direction Commerciale de la REGIDESO vise une commercialisation optimale des produits Eau et Électricité, axée sur la satisfaction des clients par des services adaptés. Elle comprend cinq (5) services à savoir :

- Le Service Clientèle et Guichet Unique ;
- Le Service Facturation ;
- Le Service Inspection des Compteurs et Cash Power ;
- Le Service Planification Commerciale et Contrôle ;
- Le Service Recouvrement.

1.7. Direction de l'eau

La Vision de la Direction de l'Eau de la REGIDESO est d'assurer continuellement l'alimentation en eau potable de manière durable aux populations urbaines. Elle comprend quatre (4) Services à savoir :

- Le Service Production Eau ;
- Le Service Exploitation Eau ;
- Le Service Équipement Eau ;
- Le Service Maintenance Eau.

1.8. Direction de l'électricité

La Vision de la Direction de l'Électricité est d'assurer continuellement l'alimentation en électricité de manière durable aux populations urbaines et semi-urbaines. Elle comprend quatre (4) Services à savoir :

- Le Service Production Électricité ;
- Le Service Exploitation Électricité ;
- Le Service Maintenance Électricité ;
- Le Service Équipement Électricité.

1.9. Organigramme de la REGIDESO

La REGIDESO est subdivisée en Directions. Chaque Direction comporte à son tour plusieurs Entités qui renferment, à leur tour, différents services.

La figure 2 ci-après illustre l'organigramme de la REGIDESO :



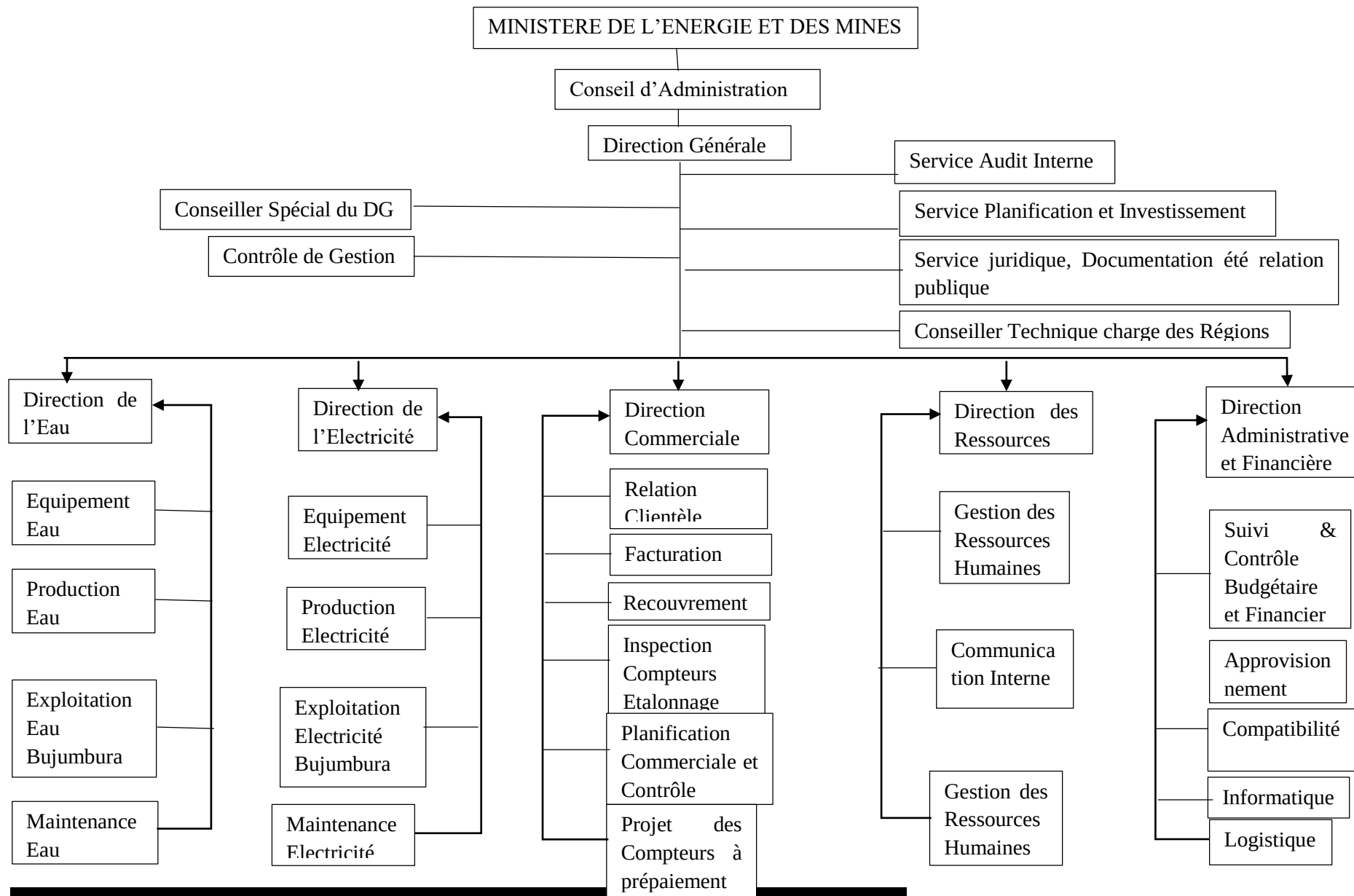


Figure 2 : Organigramme de la REGIDESO

1.10. Déroulement du stage

Durant ce stage du 01/08/2022 au 01/9/2022, j'ai acquis de nombreuses connaissances et expériences, particulièrement dans le processus complet, depuis le captage jusqu'à la distribution après traitement de l'eau. Les sources d'eau utilisées proviennent de réserves naturelles telles que les nappes souterraines, alimentées par les eaux de surface issues des précipitations, des cours d'eau, et des infiltrations. J'ai eu l'opportunité d'explorer en détail les différentes phases du traitement de l'eau à l'Usine-Lac que j'ai eu l'occasion de visiter,

Le prélèvement s'opère dans le lac Tanganyika, suivi d'une phase de pompage visant à remonter l'eau captée en vue du processus de filtration. À l'Usine-Lac, la méthode de filtration adoptée repose sur l'utilisation d'un lit de sable à ciel ouvert, une technique ancienne mais efficace. Ce procédé permet de retenir les particules visibles à l'œil nu et d'adhérer les substances à la surface du sable. Toutefois, afin de traiter les virus et bactéries qui pourraient néanmoins passer à travers, une désinfection ultérieure est nécessaire. Après cette étape de filtration, l'eau chemine vers un réservoir ou une bache en béton armé, où elle subit une désinfection au chlore. La chloration, réalisée à faible dose, vise à prévenir le développement de bactéries dans les réseaux de distribution. Enfin, l'eau traitée est stockée en vue de sa distribution, garantissant ainsi sa disponibilité pour la consommation humaine.

.

La figure 3 illustre le fonctionnement de l'Usine-Lac :

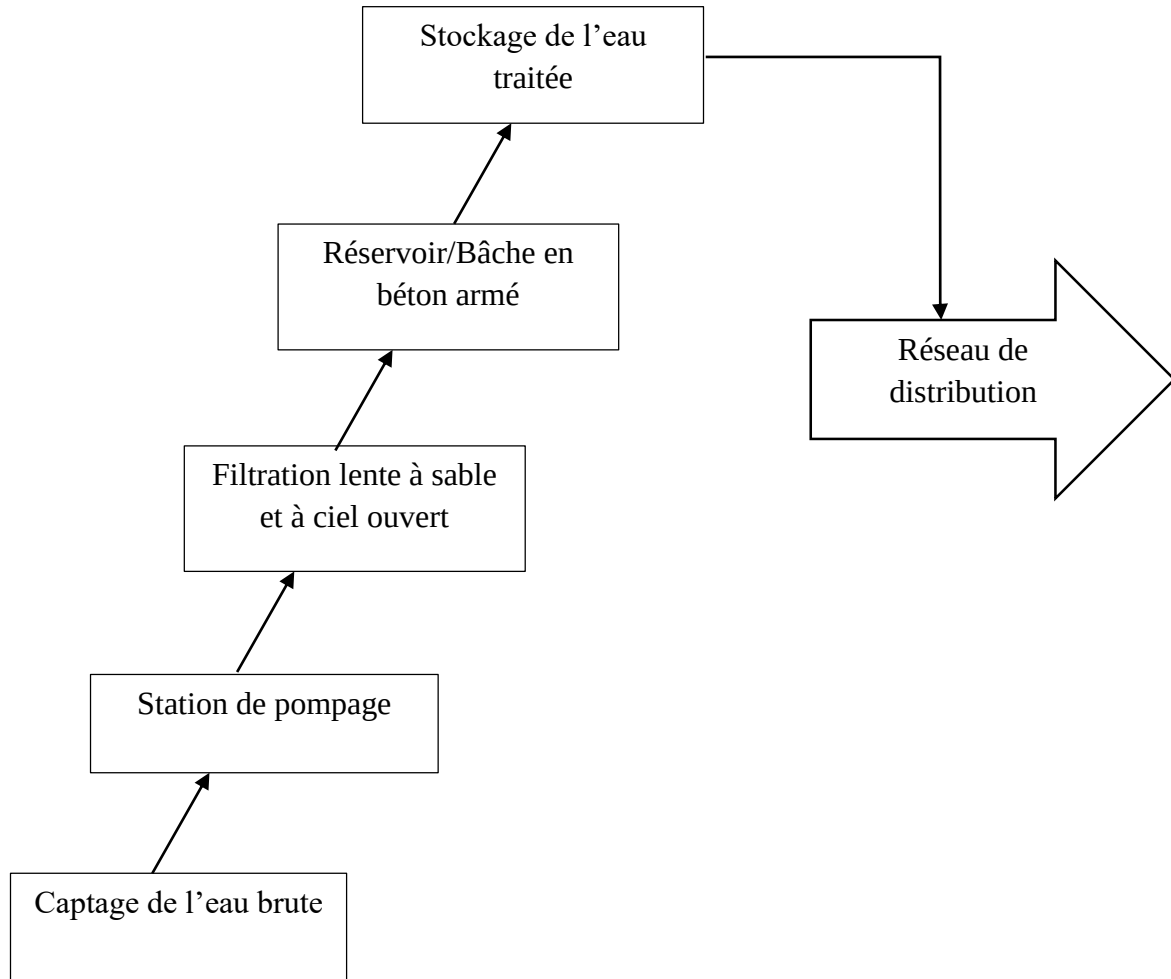


Figure 3 : Procédure de traitement Usine-Lac

J'ai pris part à un projet SIG-SIG visant à numériser les procédures de la REGIDESO au Burundi. Ce projet impliquait la création d'une base de données géographique intégrant les réseaux de distribution d'eau et d'électricité. L'utilisation du logiciel QGIS a joué un rôle crucial dans ce contexte, me permettant d'explorer ses fonctionnalités de géolocalisation afin d'optimiser la gestion du réseau.

1.11. Enjeux opérationnels rencontrés

Pendant mon stage, le responsable du service de production d'eau m'a posé une question formulée comme suit : "Comment peut-on déterminer la quantité d'eau qui parvient effectivement aux abonnés à partir de l'eau desservie, et comment mesurer la quantité qui est perdue en cours de distribution pour le cas de l'Usine-Lac ?" d'ou pris naissance le problématique de ce travail.

2. ADESTI

2.1. Historique

L'Association pour le Développement des Sciences et des Techniques Industrielles (ADESTI) est une organisation non-gouvernementale d'obédience industrielle et informatique qui a vu le jour en 2008 et dont le siège social se situe à Cotonou au quartier Gbèdegbe, carré 1619, parcelle J. Elle a été fondée par un groupe d'ingénieurs et techniciens béninois et se revendique tout, être un cadre privilégié de réflexion, de concentration et d'actions au service du développement du Bénin. Elle est donc la résultante de la volonté d'un ensemble d'individus décidés à mettre en commun leurs connaissances et des ressources en vue d'apporter des solutions aux problèmes que rencontre le Bénin dans le domaine scientifique. Toutefois, il est logique de remarquer qu'ADESTI est une association à but non-lucratif régie par la loi du 1er juillet 1901

2.2. Objectif

ADESTI s'est fixée pour objectif principal de contribuer au développement des sciences et techniques (STI) à travers les objectifs spécifiques suivants :

- ❖ Le perfectionnement de ses membres et de tout le personnel exerçant dans ce domaine
- ❖ L'échange au travers des informations et connaissances sur les évolutions des techniques et méthodes ;
- ❖ La publication d'articles et divers travaux de recherche ;
- ❖ L'incitation des jeunes étudiants aux sciences et techniques industrielles ;
- ❖ Le soutien aux organisations privées, publiques ou parapubliques ayant la même vision que l'association ;
- ❖ La participation à la définition et à la conception des normes.

2.3. Mission

La principale mission d'ADESTI est de contribuer au développement des sciences et techniques industrielles pouvant offrir aux jeunes la possibilité de développer leurs connaissances, grâce aux divers projets de recherches qui seront initiés dans les domaines d'activités d'ADESTI. Par ailleurs, elle se donne comme mission de former tout jeune désireux de faire carrière dans le secteur industriel, afin de leur permettre d'évoluer avec la technologie.

2.4. Structure organisationnelle

L'association est composée des membres actifs, des membres associés ou honoraires. Les membres actifs participent régulièrement aux activités de l'association et sont tenus de s'acquitter de leurs obligations. Les associés ou honoraires sont des personnes physiques ou morales admises par le Conseil d'Administration pour leurs contributions dans les domaines d'intérêts de l'association. Les organes de l'association sont : l'assemblée générale, le conseil d'administration et quatre sections techniques.

2.5. Assemblée Générale

L'Assemblée Générale est l'organe suprême. Elle est composée de tous les membres qui se réunissent une fois par an. Elle a à sa tête un bureau qui s'occupe de la vérification des comptes, approuve les rapports d'activités, les comptes d'exercices, vote le budget d'exercices, procède, s'il y a lieu, au renouvellement des membres du conseil d'administration. L'Assemblée confère au Conseil d'Administration ou à des membres de son bureau certaines autorisations pour accomplir certaines opérations rentrant dans les objectifs de l'association. En outre, elle délibère sur toutes les questions portées à l'ordre du jour, à la demande signée du quart des membres de l'association.

2.6. Conseil d'Administration

Le Conseil d'Administration est composé de neuf membres élus au scrutin secret pour deux années par l'Assemblée Générale et choisit parmi les membres actifs résidants au Bénin et jouissant de leurs droits civiques. Ce sont :

- ❖ Un président chargé de convoquer les Assemblées Générales et les réunions du Conseil d'Administration. Il représente l'association dans tous les actes de la vie civile et est de tout pouvoir à cet effet ;
- ❖ Un vice-président chargé de suppléer au président, de l'aider dans l'accomplissement de ses tâches. Il coordonne les activités des commissions techniques. Il est responsable de la formation au sein de l'association ;
- ❖ Un secrétaire général chargé de l'administration, de la tenue de la correspondance et des archives de l'association ;
- ❖ Un secrétaire général adjoint chargé d'aider le secrétaire général dans l'exercice de ses fonctions. Il le remplace en cas d'indisponibilité ;
- ❖ Un secrétaire général chargé des informations et des relations publiques ;
- ❖ Un secrétaire chargé de l'organisation matérielle de toutes les manifestations de l'association, de l'organisation interne de l'information et de la diffusion de publication scientifique et technique, des relations extérieures à l'association ;
- ❖ Un secrétaire aux affaires juridiques, professionnelles et sociales : il conseille sur le caractère juridique des problèmes de l'association. Il s'informe sur les problèmes professionnels et sociaux afin de participer à leurs résolutions ;
- ❖ Un trésorier général chargé de la gestion du patrimoine de l'association. Il effectue tous les paiements et perçoit toutes les recettes. Tout décaissement est subordonné à la signature conjointe du président et du trésorier général.

2.7. Les sections techniques

Les sections techniques ont pour objectif d'étudier et de coordonner les différents projets dans chacun des domaines d'interventions qui sont :

- ❖ L'informatique ;
- ❖ L'électrotechnique ;
- ❖ L'électronique ;
- ❖ La mécanique ;

2.8. Organigramme

La figure 4 illustre l'organigramme d'ADESTI :

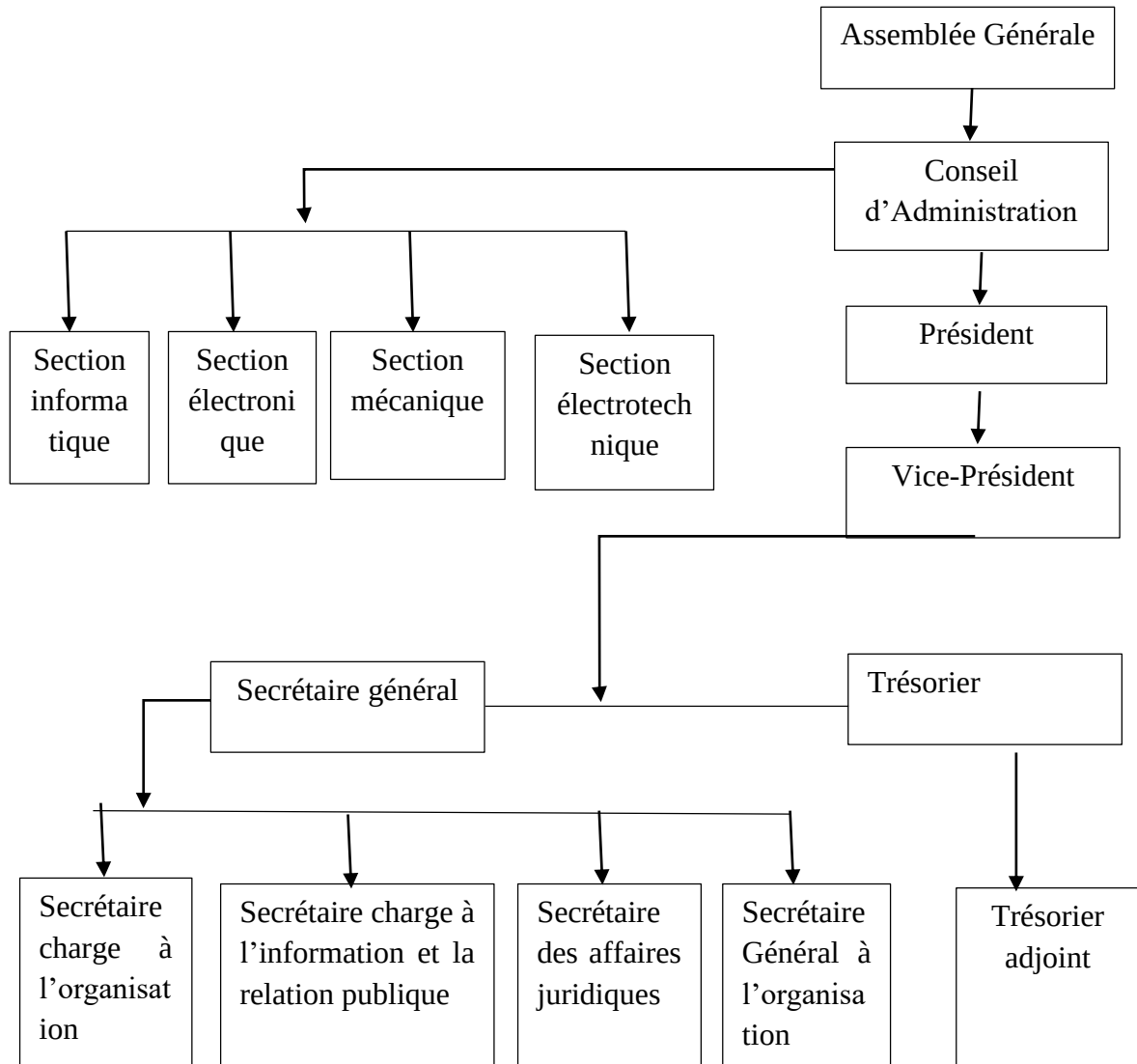


Figure 4 : Organigramme ADESTI

2.9. Déroulement du stage

Au cours de mon stage au sein de l'ONG ADESTI, j'ai réalisé divers travaux couvrant plusieurs domaines spécifiques. Dans le domaine logiciel Arduino et électronique programmable, j'ai acquis des compétences en programmation dans le langage Arduino (C/C++) et réalisé des montages avec des composants électroniques contrôlés par le microcontrôleur Arduino.

J'ai également exploré le domaine de l'automatisme industriel, apprenant à analyser le fonctionnement de processus industriels et à le traduire en Graphe Fonctionnel de Commande des Étapes et Transitions (GRAFCET).

Malgré quelques difficultés rencontrées lors de la combinaison de programmes et du câblage, le stage a été une opportunité d'acquérir de nouvelles connaissances, telles que Système de feux tricolores de deux voies sécantes, l'utilisation de l'afficheur à 7 segments, l'utilisation de l'afficheur à 7 segments à 4 digits, l'utilisation de l'afficheur Matrix LED 8*8, utilisation du buzzer, utilisation de l'écran LCD, utilisation de la carte RFID, piloter un moteur pas à pas, allumer une LED à distance par une télécommande, piloter un servomoteur à distance, utilisation de l'écran LCD avec capteur ultrasonique, utilisation du servomoteur et son fonctionnement, utilisation de la LED RGB (Red, Green, Blue), capteur de présence de mouvement, capteur de température et d'humidité, allumage automatique d'une lampe par signal sonore des mains , entrée de chiffres à partir d'un clavier matriciel 4x4, utilisation du module RTC (Real-Time Clock), remplissage d'une bouteille d'eau grâce au bouton-poussoir, remplissage d'une bouteille d'eau par télécommande, allumage d'une LED depuis une page web grâce à l'ESP32, la création d'une horloge avec Arduino, et la transcription en GRAFCET du fonctionnement de processus industriels.

Ce stage a constitué une expérience particulièrement enrichissante, tant sur le plan pratique que théorique. Il a mis en lumière l'importance cruciale de la collaboration, soulignant également l'expertise remarquable des encadrateurs dans les domaines de l'électronique et de l'informatique. Cette immersion m'a permis de développer une approche de solution aux défis rencontrés lors de mon premier stage, offrant ainsi un environnement propice à la réalisation de mes missions.

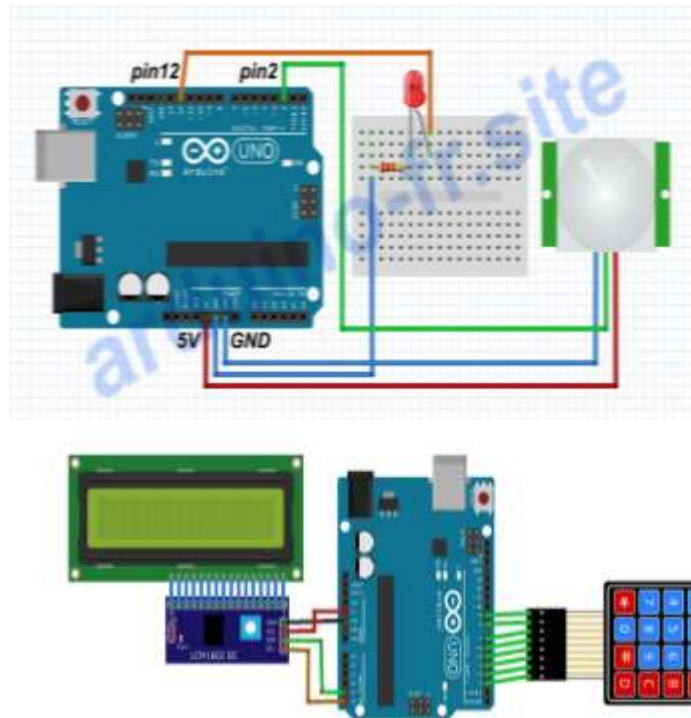


Figure 5: photo illustrative de quelques activités

3. Conclusion

Ces stages ont été très instructif pour moi tant sur le plan professionnel que personnel. Ils m'ont permis en outre, d'acquérir de nouvelles connaissances pratiques, de découvrir l'ambiance professionnelle et d'avoir une certaine organisation dans le travail. Cependant, j'ai eu quelques difficultés que j'ai réussi à surmonter grâce à l'apport de mes encadreurs.

CHAPITRE 2 : L'EAU ET LA DISTRIBUTION

Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler en général sur les réseaux de distribution d'eau qui jouent un rôle crucial en acheminant cette ressource essentielle depuis les sources d'approvisionnement jusqu'aux consommateurs finaux. Ces réseaux complexes sont l'épine dorsale des systèmes d'approvisionnement en eau potable dans les zones urbaines et rurales et ensuite la présentation du système.

1. Les ressources en eau douce

1.1. Les eaux souterraines

L'eau souterraine est de l'eau qui se trouve sous la surface de la terre. Elle provient de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol, qui s'infiltrant dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. Les nappes souterraines cheminent en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau. Les eaux souterraines sont caractérisées par une qualité constante et bénéficient d'une meilleure protection contre les pollutions par rapport aux eaux de surface. On peut la collecter à sa source ou directement dans le sous-sol via des forages. Tant les eaux souterraines que les eaux de surface doivent être réglementées et protégées. Cette réglementation est obligatoire pour tous les points de prélèvement qui ne disposent pas d'une protection naturelle efficace [7]. La figure 6 présente le cycle de l'eau.

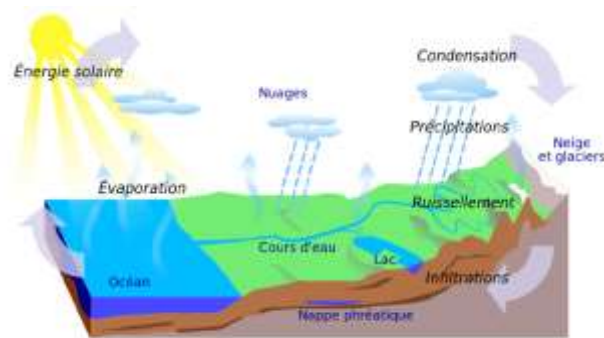


Figure 6 : Présentation du cycle de l'eau

1.2. Les eaux de surface

Les eaux de surface font référence à l'eau qui se trouve à la surface de la Terre, généralement dans des rivières, des lacs, des océans, des étangs et des cours d'eau. Elles proviennent principalement des précipitations telles que la pluie et la fonte des neiges, ainsi que de la collecte dans des bassins versants. Ces eaux de surface jouent un rôle vital dans l'approvisionnement en eau, l'irrigation agricole, la production d'énergie hydroélectrique etc. Elles sont prélevées par différentes méthodes (pompage, captage, etc.). Les prélèvements dans les eaux de surface doivent être gérés de façon à concilier les débits du cours d'eau et les besoins des consommateurs. Elles sont également essentielles pour la faune et la flore aquatiques et jouent un rôle dans la préservation de l'écosystème. Cependant, elles sont vulnérables à la pollution et à l'exploitation excessive, ce qui souligne l'importance de leur gestion durable [8]. La figure 7 présente une image des eaux de surface.



Figure 7 : Les eaux de surfacés (Lac)

2. Production de l'eau

La production d'eau potable commence par la collecte de l'eau brute à partir de sources telles que les rivières, les lacs ou les nappes phréatiques par le système de captage. Cette eau subit ensuite un processus de traitement qui comprend le prétraitement pour éliminer les impuretés et les particules, suivi d'une étape principale de traitement pour éliminer les contaminants restants, tels que les micro-organismes pathogènes, par désinfection et filtration. Des ajustements de qualité peuvent être effectués en fonction des besoins. Une fois traitée, l'eau potable est stockée et distribuée aux consommateurs par le biais d'un réseau de distribution [9]. La figure 8 présente une image prélèvement, traitement et distribution d'eau.



Figure 8 : Prélèvement, traitement et distribution d'eau

L'eau potable est une eau qui doit être sûre à boire sans causer de préjudice à la santé de celui qui la consomme. Elle joue un rôle vital pour tous les êtres vivants, en tant que composant biologique essentiel, et doit satisfaire à un ensemble de normes en ce qui concerne son traitement.

3. Distribution de l'eau

Avant d'arriver au robinet des utilisateurs, l'eau potable emprunte un circuit fait de multiples ramifications qui la conduit de l'usine de production d'eau potable jusqu'au réservoir d'eau, puis de ce réservoir jusqu'aux robinets. La figure 9 présente l'eau potable chez le consommateur [9].



Figure 9 : Eau potable chez le consommateur

3.1. L'adduction d'eau

L'adduction d'eau fait référence à l'ensemble des méthodes et des infrastructures mises en place pour transporter l'eau depuis sa source originale jusqu'à son point d'utilisation. Cette démarche permet d'acheminer l'eau par le biais de conduites jusqu'à l'endroit où elle sera consommée. L'eau peut être acheminée grâce à des conduites.

- ❖ Une Canalisation est un tuyau ou canal destiné à l'acheminement de l'eau d'un point à autre. La figure 10 présente un canal d'acheminement.



Figure 10 : Canal d'acheminement

3.2. Stockage

L'eau potable est stocké dans un grand réservoir appelé château d'eau, il joue un rôle de tampon et permet de satisfaire la demande des consommateurs même si la source est moins importante.

- ❖ Un château d'eau est un grand réservoir dont le rôle est de stocker l'eau potable. Construit en hauteur, l'eau exerce une pression et peut facilement être acheminée vers les consommateurs.

La figure 11 présente le château d'eau.



Figure 11 : Château d'eau

3.3. Réseau de distribution de l'eau

Un réseau de distribution d'eau est un système complexe composé de canalisations, de réservoirs, de stations de pompage et de traitement, conçu pour acheminer l'eau potable depuis les sources d'approvisionnement (rivières, lacs, nappes souterraines, etc.) jusqu'aux consommateurs finaux (foyers, industries, institutions, etc.). La figure 12 présente un réseau de distribution d'eau potable [10].

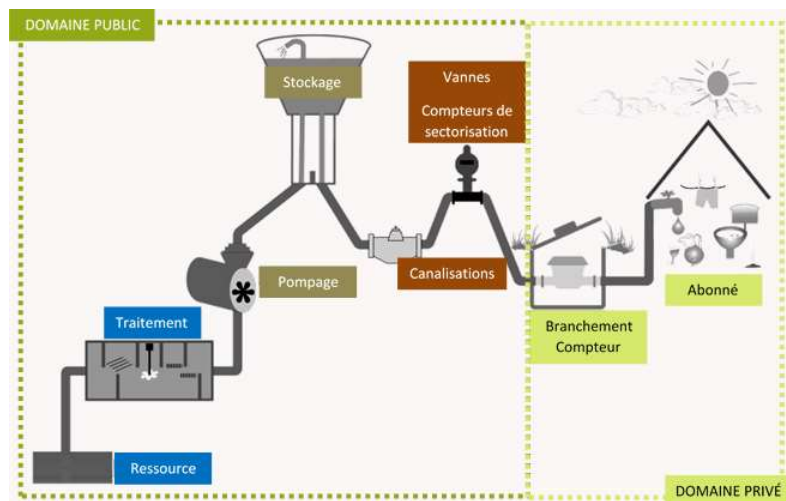


Figure 12 : Réseau de distribution d'eau potable

Selon les liaisons entre les différents tronçons de distribution, on distingue généralement deux types de réseaux :

3.3.1. Réseaux ramifiés

Les réseaux ramifiés sont les réseaux les plus simples. Ils ne répondent qu'au besoin strict d'amener l'eau au point de livraison. Pour un point de livraison, l'eau suit un parcours unique. Les réseaux ramifiés se caractérisent par la circulation unidirectionnelle de l'eau, allant des conduites principales aux conduites secondaires, puis aux conduites tertiaires. Chaque point du réseau ne reçoit de l'eau que d'un seul côté, ce qui présente l'avantage de l'économie. Cependant, ces réseaux manquent de sécurité, car en cas de rupture d'une conduite principale, tous les abonnés en aval peuvent être privés d'eau, et il n'y a pas de retour d'eau dans les conduites pour pallier cette situation [10]. La figure 13 présente une image d'un réseau ramifié.

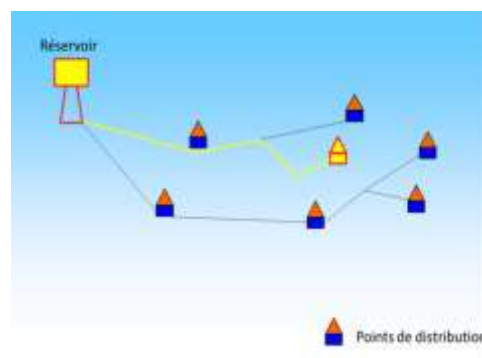


Figure 13 : Représentation d'un réseau ramifié

3.3.2. Réseaux maillés

Ils sont composés de conduites suivant des contours fermés permettant une alimentation en retour. Les risques de perturbation de service sont ainsi réduits. Ainsi, chaque point du réseau peut être alimenté en eau de deux ou plusieurs cotés. Ce type de réseau présente les avantages suivants : plus de sécurité dans l'alimentation (en cas de rupture d'une conduite, il suffit de l'isoler et tous les abonnés situés à l'aval seront alimentés par les autres conduites) et une répartition plus uniforme des pressions et des débits dans tout le réseau [10]. Il est par contre plus coûteux et plus difficile à calculer.

La figure 14 présente une image d'un réseau maillé.

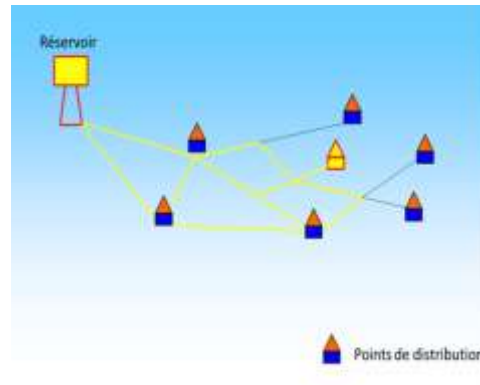


Figure 14 : Représentation d'un réseau maillé

La REGIDESO qui a la distribution de l'eau dans ces attributions fait face à des défis dans la quantification de l'eau distribuée, nécessitant une solution innovante pour le cas de l'Usine-Lac.

4. Présentation du système

La figure 15 illustre le système de réseau de distribution d'eau intelligent proposé.

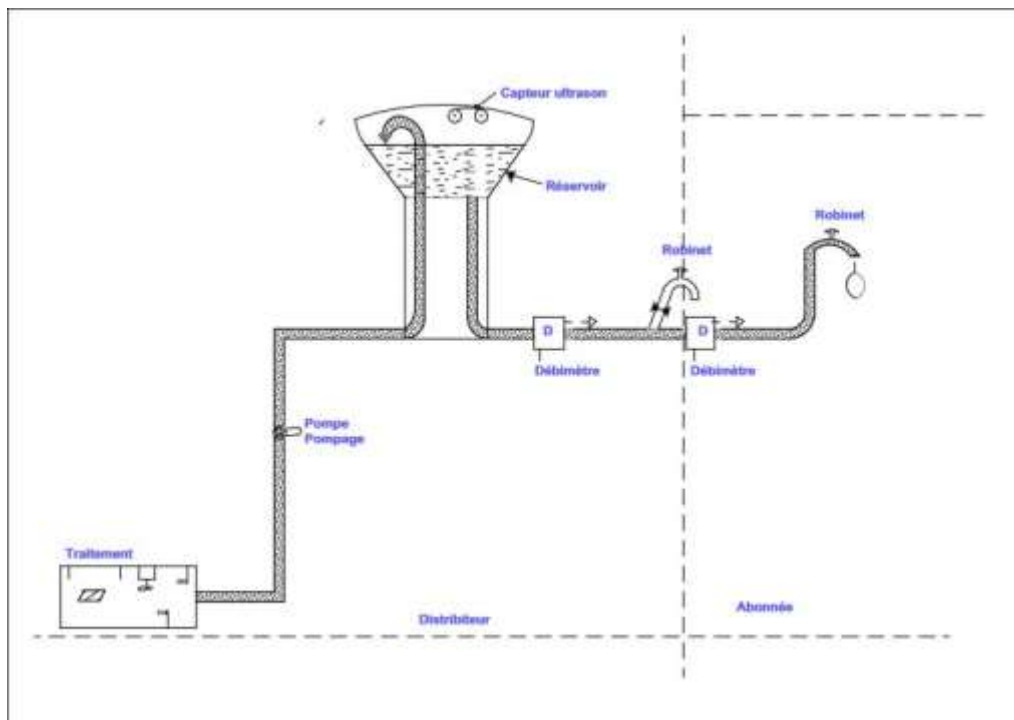


Figure 15 : Présentation du système

4.1. Cahier de charge

Le système de distribution d'eau intelligent, conçu pour optimiser la gestion de l'eau et améliorer l'efficacité au distributeur que consommateur, se compose d'une unité de gestion centrale connectée à un ensemble de dispositifs de contrôle. Cette unité centrale est interconnectée avec une application mobile dédiée, offrant ainsi un contrôle et une surveillance à distance.

a) Gestion de la distribution d'eau

Le système permet une gestion intelligente de la distribution d'eau, surveillant en temps réel la consommation, détectant les fuites potentielles. Les capteurs intégrés assurent une réponse rapide aux variations de débit, garantissant une distribution fiable et efficace.

b) Sécurité et surveillance

Des capteurs détectent les anomalies telles que les fuites d'eau, assurant la préservation des ressources. De plus, une interface de sécurité permet de surveiller et de contrôler à distance le système, avec des alertes instantanées via une application mobile en cas d'incidents tels que des fuites.

c) Contrôle à distance

L'application mobile, disponible sur la plateforme Android, offre une interface conviviale pour permettre aux distributeurs de contrôler à distance leur système de distribution d'eau intelligent, et recevoir des notifications instantanées en cas des fuites et aux utilisateurs de suivre leur consommation d'eau.

4.2. Schéma synoptique

Le réseau de distribution d'eau intelligent est constitué des éléments de bases du réseau de distribution d'eau standard ainsi que la carte Arduino qui est le microcontrôleur du projet et l'ESP32 qui est nécessaire pour la communication entre le réseau et l'utilisateur. La figure 16 illustre le schéma synoptique du réseau de distribution d'eau intelligent.

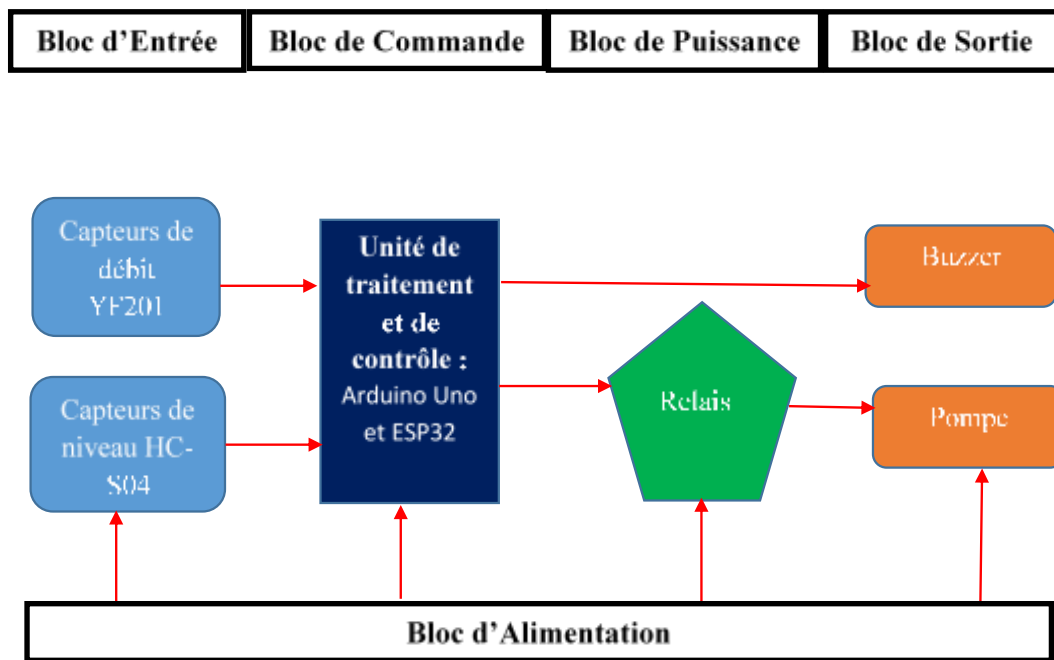


Figure 16 : Schéma synoptique du système

5. Conclusion

Ce chapitre souligne l'importance cruciale de l'eau potable et des réseaux de distribution pour la gestion efficace et la santé publique. Il met en avant les ressources en eau, le processus de production, de stockage et de distribution. Il propose une approche innovante pour résoudre les défis de quantification de l'eau distribuée par la REGIDESO, présentant un système de distribution d'eau intelligent avec un cahier des charges détaillé et un schéma synoptique. Le chapitre suivant explorera les équipements et logiciels nécessaires à la mise en place du système de distribution d'eau intelligent, visant à résoudre le défi mentionné.

CHAPITRE 3 : Matériels et Méthodes

Introduction

Dans ce chapitre nous allons introduire et définir les différents éléments matériels et logiciels utilisés dans ce travail. En mettant l'accent sur l'Internet des Objets, nous explorons les composantes essentielles notamment la carte Arduino Uno, la carte ESP32, ainsi que l'ensemble des capteurs et composants en fonction de critères comme le prix, la performance et la compatibilité. En outre, l'importance du logiciel, en particulier l'Arduino IDE, est soulignée pour son rôle dans l'écriture et le téléversement du code vers les modules Arduino.

1. L'Internet des Objets (IdO)

L'Internet des Objets (IdO) est un concept qui désigne un monde interconnecté d'objets, d'appareils et de capteurs via Internet. Ces objets, appelés "Objets Connectés (OC)," ne sont pas initialement conçus pour être des systèmes informatiques ni pour se connecter à Internet, mais leur intégration avec Internet enrichit leurs fonctionnalités et leur interaction avec l'environnement. Par exemple, une simple machine à café devient un "Objet Connecté Enrichi (OCE)" lorsqu'elle est dotée d'une connexion Internet, permettant un accès à distance.

Les objets connectés peuvent interagir avec le monde physique de manière autonome, sans intervention humaine, grâce à des capteurs embarqués. Pour être reconnu par d'autres objets et établir une connexion, chaque objet doit avoir un ou plusieurs identifiants (comme des codes-barres) [11] .

1.1. Les Composantes de l'IdO

Une solution d'IdO repose sur quatre composantes essentielles :

- Les capteurs et les actionneurs
- La connectabilité
- Le cloud
- Les Interfaces Homme-Machine (IHM)

1.2. Fonctionnement de l'IdO

L'IdO fonctionne en utilisant des puces informatiques et des capteurs intégrés à des objets pour les connecter à Internet. Ces objets transmettent et reçoivent des données via Internet, réagissant en fonction de règles prédéfinies [11]. Les données collectées peuvent également être envoyées vers des services de cloud computing pour analyse.

Plusieurs technologies sous-tendent l'IdO, notamment les puces Radio-Frequency Identification (RFID), les réseaux de capteurs sans fil Wireless Sensor Network (WSN), les communications machine-à-machine (M2M), et d'autres.

1.3. Domaines d'Application de l'IdO

L'Internet des Objets est largement applicable et influence divers domaines, notamment :

- Sécurité
- Transport
- Environnement et infrastructure
- Services publics
- Santé
- Domotique
- Smart Cities
- Silver Economie
- Gestion des Réseaux d'eau

Ces domaines ne sont pas exhaustifs, de nouvelles applications émergent constamment avec l'évolution de la technologie.

1.4. Architectures de l'IdO

Les systèmes IdO utilisent généralement une architecture à six niveaux qui englobe des éléments tels que les capteurs, les protocoles de communication, les passerelles et les services en nuage pour permettre la connectivité et le traitement des données.

La figure 17 présente une architecture de l'IdO.

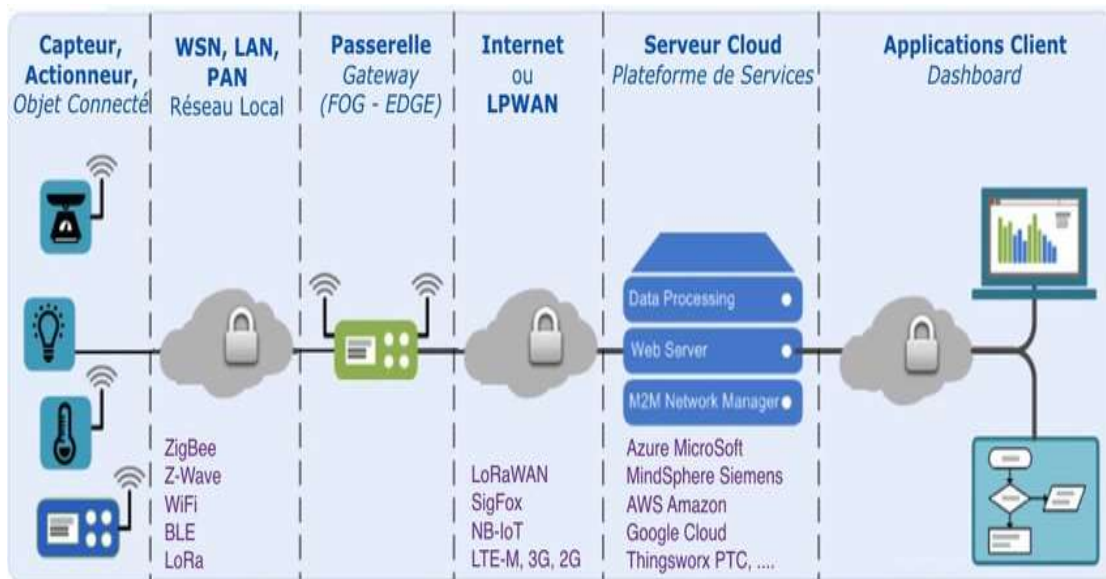


Figure 17 : Schéma d'une architecture de l'IdO

1.5. Technologies de communication des objets connectés

Les objets connectés utilisent diverses technologies de communication :

- Courte portée : Near Field Communication (NFC), Bluetooth, Zigbee, etc.
- Moyenne portée: Z-Wave, Wireless Fidelity (Wi-Fi), Bluetooth Low Energy (BLE), etc.
- Longue portée : Réseaux cellulaires mobiles, Sigfox, Long Range (LoRa), réseaux propriétaires, etc.

Ces technologies varient en termes de portée, débit de données, autonomie et fréquence, ce qui les rend adaptées à différentes applications.

2. Matériels

Présentation des composants qu'on a choisis suivant les prix, les performances et la compatibilité entre composants et qui doivent servir pour réaliser notre système.

2.1. Carte Arduino Uno

L'Arduino Uno est une carte de développement électronique open-source basée sur un microcontrôleur ATmega328P. Elle offre 14 E/S numériques, 6 entrées analogiques, et une connectivité Universal Serial Bus (USB). Cette carte peut être alimentée par divers moyens, y compris un adaptateur secteur. Elle est programmée en C/C++ via l'IDE Arduino et est

largement utilisée pour créer une variété de projets interactifs grâce à sa polyvalence et à sa communauté open source [12]. La figure 18 présente l'image de la carte Arduino Uno.

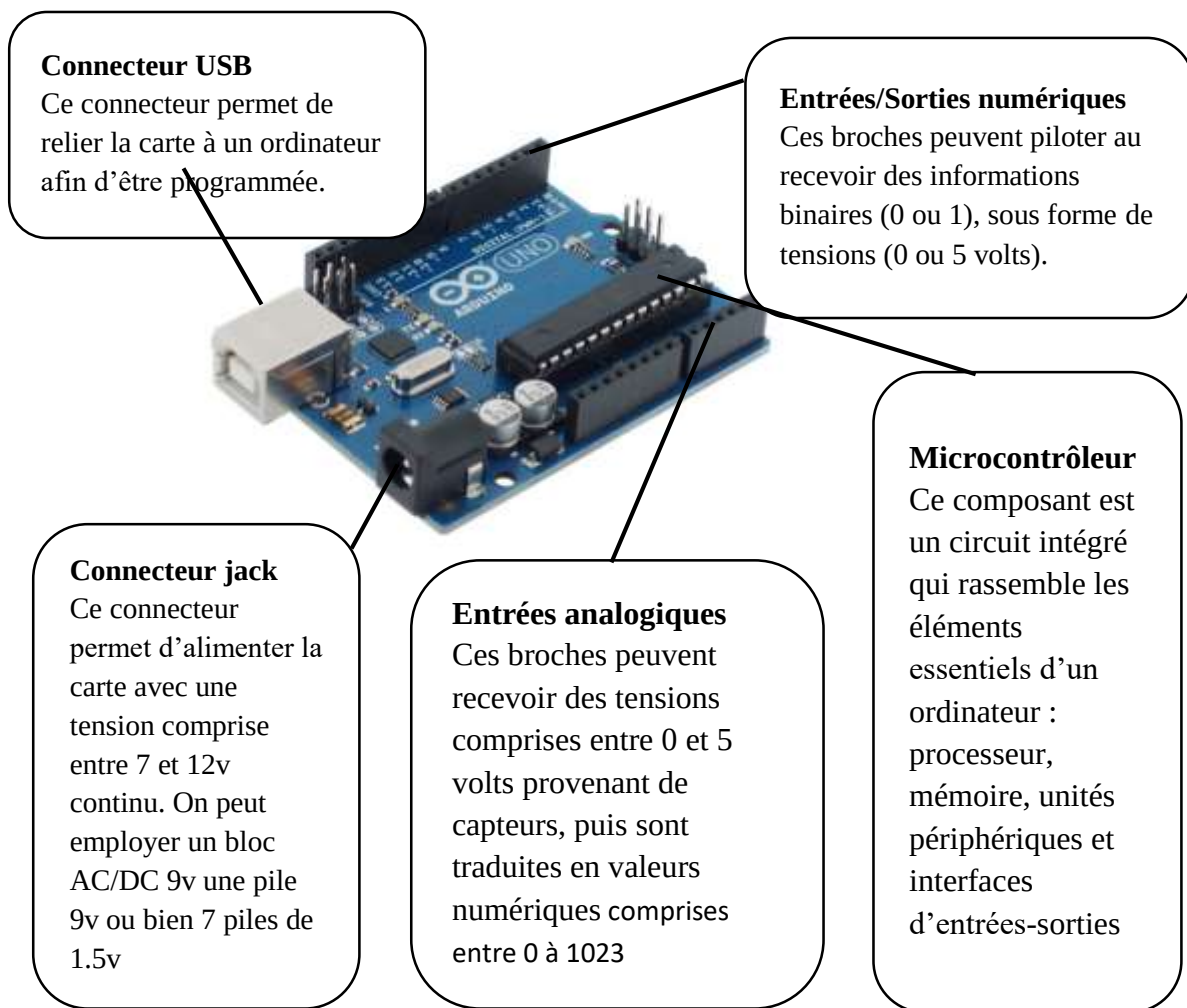


Figure 18 : Carte Arduino Uno

Chaque composant se trouvant sur la carte Arduino Uno a son rôle et sa fonction à jouer à savoir :

- ❖ Le connecteur USB joue un rôle crucial dans le processus de développement et d'interaction avec l'ordinateur. Tout d'abord, il permet le téléversement du code source depuis l'IDE Arduino sur l'ordinateur vers la mémoire de la carte, facilitant ainsi la programmation du microcontrôleur. De plus, le connecteur USB sert de source d'alimentation pour la carte lorsqu'elle est connectée à un ordinateur, éliminant ainsi le besoin d'une alimentation externe. En outre, il établit une communication série bidirectionnelle, permettant le

monitoring en temps réel du fonctionnement du programme sur la carte, ce qui est essentiel pour le débogage et la visualisation des données.

- ❖ Les entrées/sorties numériques (E/S numériques) sont des interfaces vitales qui permettent à la carte d'interagir avec son environnement. Les entrées numériques facilitent la lecture de signaux binaires, capturant des données provenant de capteurs ou d'autres dispositifs électroniques, comme des interrupteurs. En revanche, les sorties numériques autorisent la carte à contrôler des dispositifs externes en émettant des signaux binaires, tels que l'allumage de LED ou l'activation de pompes. De plus, certaines E/S numériques peuvent être utilisées pour la modulation de largeur d'impulsion (PWM), permettant le contrôle de la luminosité des LED ou de la vitesse des moteurs.
- ❖ Les entrées analogiques jouent un rôle essentiel en permettant à la carte de mesurer des signaux analogiques provenant de capteurs et d'autres sources. Contrairement aux entrées numériques qui traitent des données binaires, les entrées analogiques permettent une gamme continue de valeurs, souvent utilisée pour mesurer des grandeurs telles que la luminosité, la température, ou la pression. Ces entrées convertissent les signaux analogiques en valeurs numériques, rendant possible la lecture et l'interprétation de données fluctuantes.
- ❖ Le connecteur jack joue un rôle important en assurant à la fois l'alimentation et la communication. Ce connecteur, souvent alimenté en courant continu, constitue la source principale d'énergie pour la carte, permettant son fonctionnement autonome. En recevant une alimentation externe, la carte peut être utilisée dans des applications sans dépendre uniquement de la connexion USB. De plus, le connecteur jack assure la stabilité de l'alimentation électrique, ce qui est particulièrement utile dans des projets nécessitant une puissance continue. En termes de communication, ce connecteur peut également jouer un rôle crucial dans des projets où la carte Arduino doit interagir avec d'autres dispositifs alimentés par une source externe.
- ❖ Le microcontrôleur est le cerveau central qui dirige l'ensemble du système. Basé sur le modèle ATmega328P, ce microcontrôleur exécute les instructions du programme Arduino, coordonnant ainsi toutes les opérations de la carte. Sa fonction principale réside dans l'interprétation et l'exécution du code téléchargé, permettant à la carte de lire des capteurs, de contrôler des actionneurs, et d'interagir avec son environnement. Il gère également les entrées/sorties numériques et analogiques, facilitant la communication avec d'autres composants électroniques. Grâce à sa puissance de calcul et à sa mémoire intégrée, le

microcontrôleur assure une exécution fluide des programmes, ce qui en fait le pivot essentiel du fonctionnement de la carte Arduino Uno.

2.2. Composant de communication sans fil (Carte ESP 32)

Une carte ESP32 est une carte de développement électronique basée sur le SoC ESP32 d'Espressif Systems. Elle offre une connectivité Wi-Fi et Bluetooth intégrée, de nombreuses E/S numériques et analogiques, une puissance de calcul adéquate, une faible consommation d'énergie et est largement prisée pour les projets IdO. Elle peut être programmée en C/C++ à l'aide de l'IDE Arduino ou d'autres environnements de développement, et bénéficie du soutien d'une communauté open source active. La figure 19 présente la carte ESP32 [13].

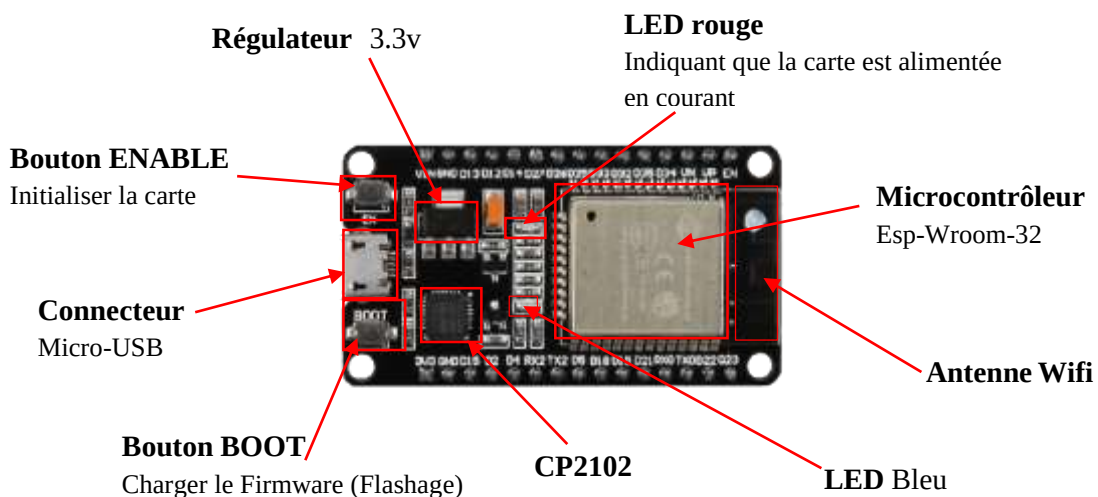


Figure 19 : Module Carte ESP32

2.3. Les capteurs

2.3.1. Capteur de débit d'eau (débitmètre YF-S201)

2.3.1.1. Définition et fonctionnement

Le capteur de débit d'eau de référence YF-S201 est un appareil utilisé pour mesurer la quantité d'eau qui s'écoule à travers un tuyau ou un conduit. C'est un capteur fiable et précis qui peut être utilisé dans une variété d'applications, notamment la surveillance de la consommation d'eau, la gestion de l'irrigation, la régulation de la circulation d'eau dans les systèmes de refroidissement et la surveillance des fuites d'eau. Le capteur de débit d'eau est composé d'une roue de turbine qui tourne lorsque l'eau passe à travers elle. La vitesse de rotation de la roue de

turbine est directement liée à la vitesse de l'écoulement d'eau. Un capteur à effet Hall produit également une impulsion à chaque rotation complète de la roue de turbine, et le nombre d'impulsions est proportionnel à la vitesse de rotation de la roue de turbine [14]. La figure 20 présente une image du capteur de débit d'eau.



Figure 20 : Capteur de débit d'eau

2.3. 1.2. Caractéristiques

Le capteur de débit d'eau (débitmètre YF-S201) se distingue par les caractéristiques ci-après :

- L'alimentation : 5 à 24 Vcc
- La consommation : 15 mA (sous 5 Vcc)
- La plage de mesure : 1 à 30 l/min
- La pression maxi : 1,75 Mpa
- La précision : +/- 3% (entre 1 et 10 l/min)
- Le formule de conversion : débit (en l/min) = fréquence (en Hz) / 7,5
- Dimensions : 63 x 36 x 35 mm

2.3. 1.3. Broches de connections

Les connexions essentielles du capteur de débit d'eau (débitmètre YF-S201) sont définies pour assurer un fonctionnement optimal.

- Noir : masse
- Rouge : +5 à +24 Vcc
- Jaune : signal

2.3.2. Capteur de niveau d'eau (Ultrason HC-SR04)

2.3.2.1. Définition et fonctionnement

Le capteur HC-SR04 utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact, avec des mesures de haute précision et stables. Son fonctionnement n'est pas influencé par la lumière du soleil ou des matériaux sombres. Les capteurs à ultrasons fonctionnent en émettant des ondes sonores sous l'eau à une fréquence inaudible pour les humains. Lorsque ces ondes sonores rencontrent la surface de l'eau, elles sont réfléchies vers le capteur, qui détecte ensuite ces échos. En mesurant le temps nécessaire à ces ondes sonores pour aller de l'émission à la réception, le capteur peut calculer avec précision le niveau de l'eau par rapport à sa propre position. La figure 21 présente une image du capteur de niveau d'eau [15].



Figure 21 : Capteur de niveau d'eau

2.3.2.2. Caractéristiques

Le capteur de niveau d'eau (Ultrason HC-SR04) se distingue par les caractéristiques ci-après :

- Dimensions : 45 mm x 20 mm x 15 mm
- Plage de mesure : 2 cm à 400 cm
- Résolution de la mesure : 0.3 cm
- Angle de mesure efficace : 15 °
- Largeur d'impulsion sur l'entrée de déclenchement : 10 μ s (Trigger Input Pulse width)

2.3.2.3. Broches de connections

- Vcc = Alimentation +5 V DC
- Trig = Entrée de déclenchement de la mesure (Trigger input)

- Echo = Sortie de mesure donnée en écho (Echo output)
- GND = Masse de l'alimentation

2.4. Modules de relais

2.4.1. Définition et fonctionnement

Le relais est un circuit qui joue le rôle d'un interrupteur qui peut être commandé à travers une tension continue ou alternative de faible puissance ; il est utilisé pour commander un circuit de puissance fort à l'aide d'un circuit de puissance faible, donc il est utilisé pour diviser deux parties, une de commande (circuit de commande) et une autre de puissance (circuit contrôlé). Dans la partie de commande on passe un courant électrique qui aide la bobine à générer un champ électromagnétique, ce champ magnétique peut être capable de faire déplacer l'armature, donc il ferme le circuit [16]. La figure 22 présente une image d'un relais.



Figure 22 : Relais

2.4.2. Caractéristiques

Le relais se distingue par les caractéristiques ci-après :

- Dimensions : longueur 4,0 cm, largeur 2,7 cm et hauteur 1,8 cm
- Poids : 14g
- Tension max : 240V AC et 30V DC. Courant max : 10A.
- Voltage de bobine : 5V
- Puissance : 0,36W
- Résistance de la bobine : 55 Ohm.

2.4.3. Broches de connections

Les connections essentielles du relais sont définies pour assurer un fonctionnement optimal.

- VCC -> Alimentation +5V DC
- GND -> Masse de l'alimentation
- IN (Signal) -> Pin de sortie
- NC – Normally closed (Normalement fermé) que nous n'utiliserons pas
- COM
- NO – Normally open (Normalement ouvert)

2.5.Pompe

2.5.1. Définition et fonctionnement

Une pompe à eau de 12 volts est un dispositif électrique conçu pour pomper de l'eau en utilisant une alimentation électrique de 12 volts. Elle est souvent utilisée dans des applications mobiles ou hors réseau, telles que les véhicules, les bateaux, les caravanes, les systèmes solaires et d'autres situations où une alimentation de 12 volts est disponible. Cette pompe fonctionne en aspirant l'eau de sa source, puis en la propulsant vers sa destination, ce qui peut inclure des systèmes de refroidissement, des fontaines, des systèmes d'irrigation, des réservoirs de stockage, etc. Il existe différents types de pompes à eau de 12 volts, chacun adapté à des besoins spécifiques, tels que les pompes centrifuges, les pompes à diaphragme et les pompes à engrenages. La figure 23 présente une image d'une pompe d'eau.



Figure 23 : Pompe à eau 12V

2.5.2. Caractéristiques

La pompe se distingue par les caractéristiques ci-après :

- Tension de fonctionnement : 12 volts DC (courant continu)
- Puissance : 8 Watts (W)
- Hauteur maximale de refoulement (h-max) : 5 mètres (m)
- Débit : 10 litres par minute (l/min)

2.5.3. Broches de connection

Les connexions essentielles du relais sont définies pour assurer un fonctionnement optimal.

- Noir : masse
- Rouge : 12V

2.6. Buzzer

Un buzzer est un dispositif électronique émettant un son continu ou intermittent lorsqu'il est alimenté en courant électrique. Il est largement utilisé dans les projets électroniques, les systèmes d'alarme, et les appareils électroniques pour signaler des événements spécifiques ou attirer l'attention de l'utilisateur grâce à des émissions sonores distinctes [17]. La figure 24 présente l'image d'un capteur de buzzer.



Figure 24 : Buzzer

2.7. Tuyaux

2.7.1. Définition

Le tuyau en fil d'acier en PVC est intégré avec un fil en spirale à l'intérieur d'un corps en PVC souple pour plus de résistance et à des fins antistatiques. Il est léger et transparent avec un petit rayon de courbure. C'est un tuyau d'aspiration et de transport, qui a l'intérieur extérieur lisse, résistant et flexible, résistant au vide et à la compression et à haute résistance axiale. La figure 25 présente l'image d'un tuyau en PVC.



Figure 25 : Tuyaux en PVC

2.7.2. Caractéristiques du tuyau en fil d'acier

Le tuyau en fil d'acier se distingue par les caractéristiques ci-après :

- Meilleur matériau et plastifiant, sans calcium.
- Leger, flexible avec un petit rayon de courbure.
- Durable contre les impacts externes, chimiques et climatiques.
- Transparent, facile à vérifier le contenu.
- Longue durée de vie anti-UV et anti-âge
- Résistance à la pression sous vide
- Température : -10°C (-50°F) à 65 °C(+150°F)

2.8. Alimentation 12 V

Une alimentation 12 V fait référence à une source d'énergie qui fournit une tension de 12 volts. Cette tension est couramment utilisée dans divers domaines, notamment l'automobile, la technologie solaire, et bien d'autres applications nécessitant une alimentation basse tension comme la nôtre. Elle peut être fournie par divers moyens, tels que des batteries, des panneaux solaires ou des adaptateurs secteur. Elle est utilisée pour alimenter des dispositifs, des véhicules ou des équipements qui fonctionnent avec cette tension spécifique. La figure 26 présente l'image d'une alimentation de 12V.



Figure 26 : Chargeur d'alimentation 12V

2.9.Robinet

Un robinet est un dispositif mécanique utilisé pour contrôler le flux d'un fluide, généralement de liquide ou du gaz, à travers un tuyau ou une conduite. Les robinets sont couramment utilisés dans les systèmes de plomberie et d'approvisionnement en eau. En tournant ou en actionnant un robinet, l'utilisateur peut réguler le débit du fluide. Les robinets sont utilisés pour ouvrir, fermer ou ajuster le débit de liquide ou de gaz dans diverses situations, que ce soit dans une cuisine, une salle de bains ou dans l'industrie. La figure 27 présente l'image d'un robinet.



Figure 27 : Robinet

3. Logiciel utilisé

3.1. Arduino IDE

Arduino IDE est un logiciel open source principalement utilisé pour écrire et compiler le code dans le module Arduino. C'est un logiciel qui rend la compilation de code trop facile, même pour une personne ordinaire sans aucune connaissance technique, pouvant se familiariser avec le processus d'apprentissage. Il est facilement disponible pour les systèmes d'exploitation tels que MAC, Windows, Linux et s'exécute sur la plate-forme Java dotée de fonctions et de commandes intégrées qui jouent un rôle essentiel pour le débogage, l'édition et la compilation du code dans l'environnement.

Une gamme de modules Arduino disponibles, notamment Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Micro et bien d'autres. Chacun d'eux contient un microcontrôleur sur la carte qui est réellement programmé et accepte les informations sous forme de code. Le code principal, également appelé esquisse, créé sur la plate-forme IDE générera finalement un fichier Hex qui sera ensuite transféré et chargé dans le contrôleur situé sur le tableau. L'environnement IDE contient principalement deux parties : l'éditeur et le compilateur, où l'ancien est utilisé pour écrire le code requis et, plus tard, pour compiler et télécharger le code dans le module Arduino donné. Cet environnement prend en charge les langages C et C ++.

La figure 28 présente l'interface d'Arduino IDE [18].



Figure 28 : Interface Arduino IDE

L'IDE Arduino permet :

- D'éditer un programme : un programme est composé de croquis (sketch en Anglais), les programmes sont écrits en langage C.
- De compiler ce programme dans le langage « machine » de l'Arduino, la compilation est une traduction du langage C vers le langage du microcontrôleur.
- La zone de sortie donne des informations sur le déroulement de la compilation et affiche les messages d'erreur et diverses notifications.
- De téléverser le programme dans la mémoire de l'Arduino, le téléversement (upload) se passe via le port USB de l'ordinateur une fois dans la mémoire de l'Arduino, le logiciel s'appelle un micrologiciel.
- De communiquer avec la carte Arduino grâce au terminal (ou Moniteur série). Pendant le fonctionnement du programme en mémoire sur l'Arduino, il peut communiquer avec l'ordinateur tant que la connexion est active (câble USB).

4. Conclusion

Ce chapitre a présenté les composants matériels et logiciels essentiels pour notre projet. Nous avons d'abord abordé l'Internet des Objets (IdO) et ses composantes clés, puis détaillé les composants matériels choisis, tels que la carte Arduino Uno, la carte ESP32, les capteurs de débit et de niveau d'eau, les relais, la pompe, buzzer, les tuyaux, l'alimentation 12V et le robinet. Chaque élément a été expliqué avec ses caractéristiques et son rôle. L'importance du logiciel Arduino IDE pour la programmation a également été soulignée. Ce chapitre jette les bases essentielles pour la mise en œuvre de notre système de surveillance et de contrôle du réseau d'eau via l'IdO, qui sera exploré en détail dans le dernier chapitre de réalisation.

CHAPITRE 4. REALISATION PRATIQUE

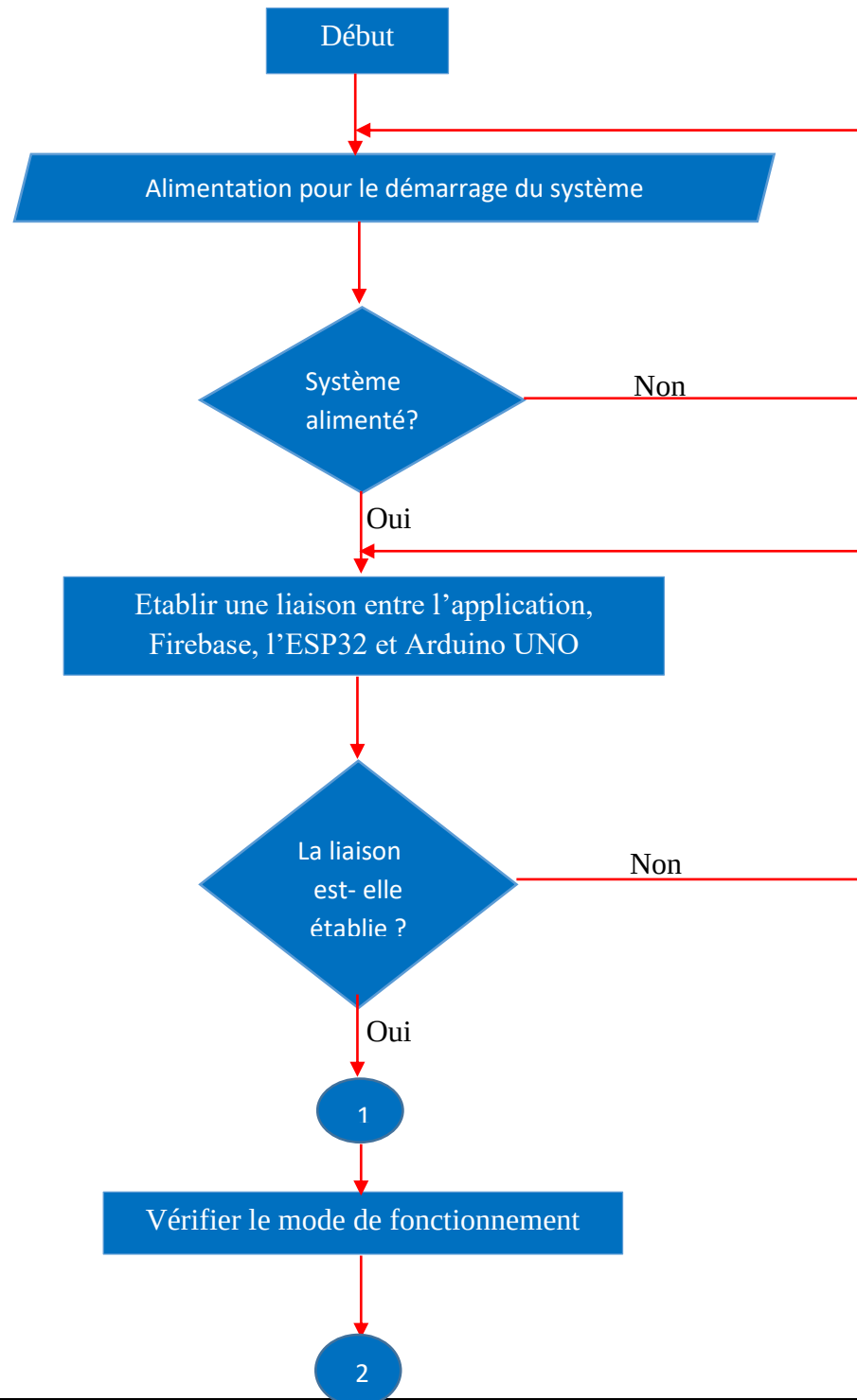
Introduction

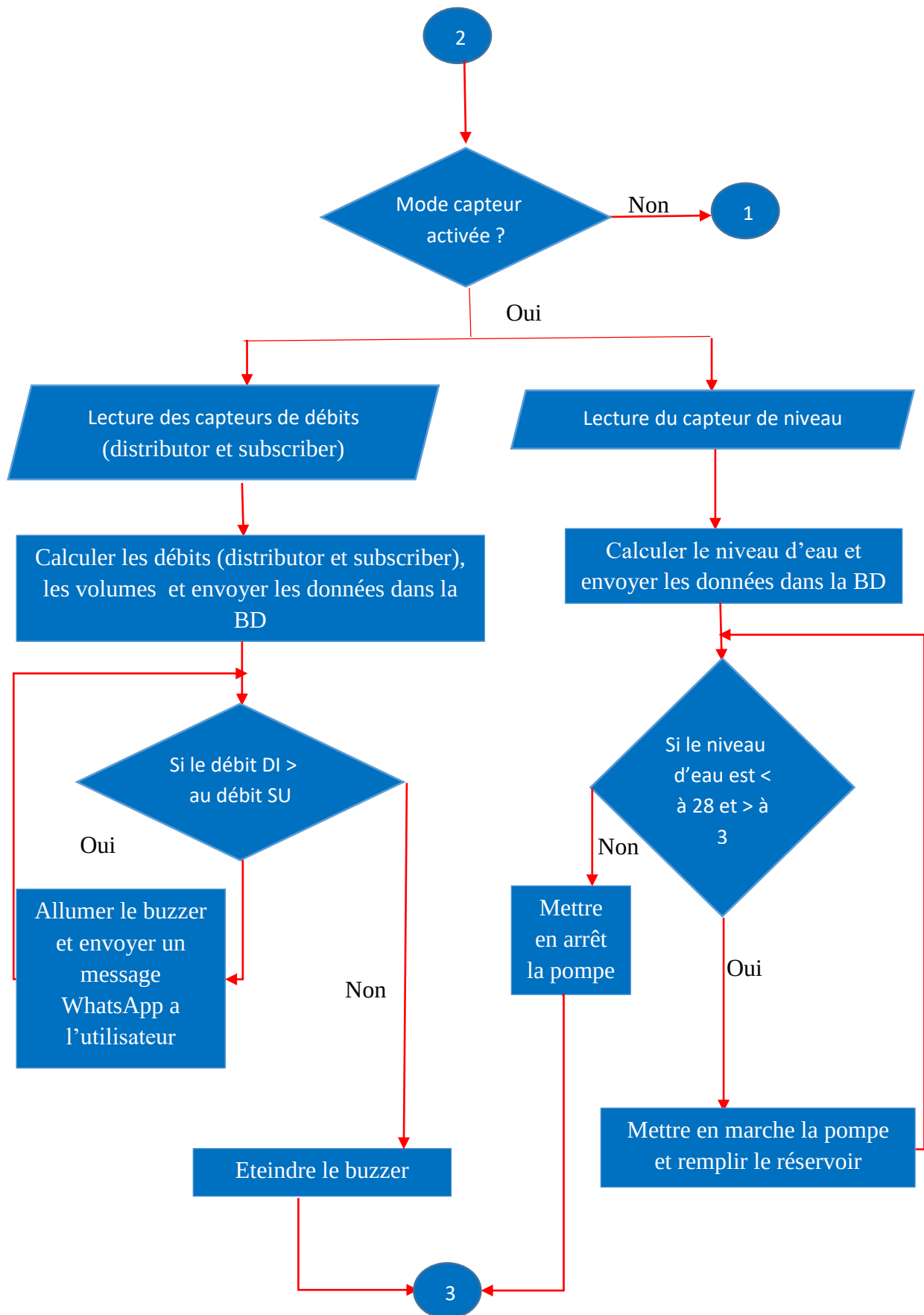
L'objectif de ce dernier chapitre est d'utiliser l'internet des objets (IdO) afin de rendre le réseau de distribution d'eau intelligent. Dans la première partie, l'organigramme du réseau de distribution d'eau intelligent est proposé, la deuxième partie est consacrée au protocole de communication utilisé, la réalisation et les résultats pratiques du réseau de distribution communiquant sont présentés à la fin de ce chapitre.

1. Organigramme du réseau de distribution d'eau intelligent

L'organigramme de la figure 29 explique les étapes du fonctionnement de notre système afin de synchroniser les données avec l'Arduino UNO et l'ESP32 d'un côté et l'application mobile.

Organigramme du fonctionnement de notre système





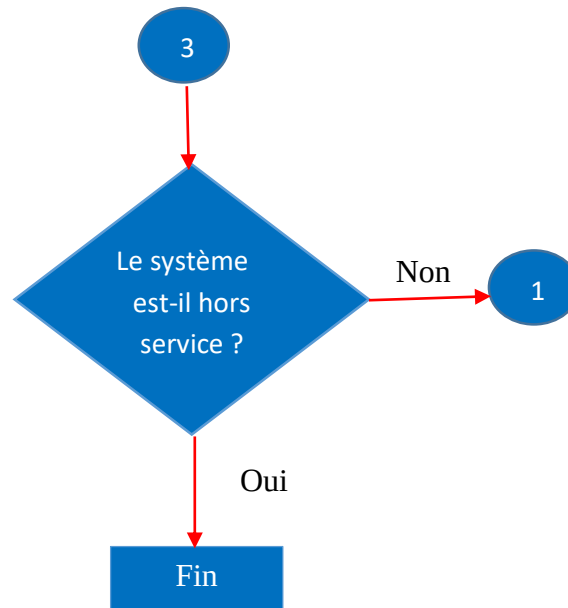


Figure 29 : Organigramme du fonctionnement de notre système

2. Protocole de communication

2.1. Description du protocole de communication

Le réseau de distribution d'eau intelligent aide le distributeur à suivre la quantité d'eau desservie et les pertes pour pouvoir améliorer ce réseau à tout moment et les utilisateurs pour suivre leur consommation de n'importe où, pour mieux gérer cette ressource.

C'est pour cela que nous avons créé le protocole de communication suivant :

- L'ESP32 qui est connecté avec un WIFI envoie les données de consommation via internet à la base de données Firebase (Real Data base).
- L'application mobile lit les données de la base des données et les affiche sur l'interface distributeur et abonnés après avoir fait un login dans l'application.
- L'ESP32 vérifie d'une manière périodique si de nouvelles valeurs spéciales ont été enregistrées dans la base des données pour actualiser à chaque fois les valeurs dans l'application.

2.2. Conception et réalisation de l'application mobile

Android et iOS sont deux des principaux systèmes d'exploitation mobiles, chacun offrant ses propres fonctionnalités et avantages, notamment :

- La facilité d'accès à l'information

- La facilité et la simplicité de développement
- La rapidité d'exécution

Pour ces raisons, on a intégré l'utilisation de l'application mobile dans le réseau de distribution d'eau. Cette intégration permet de rendre le réseau de distribution d'eau « intelligent » en établissant une communication informatique entre le réseau de distribution d'eau conventionnel et les distributeurs ou abonnés. Le réseau envoie des données, telles que des informations sur le débit et le volume pour le distributeur et l'abonnée, à une base de données virtuelle appelée « Firebase ». L'application, quant à elle, a l'autorisation d'accéder à cette base de données et de lire les dernières informations.

Notre application mobile comporte quatre interfaces distinctes à savoir :

- 1) Interface d'accueil qui présente le nom de l'application ainsi qu'un bouton "Get Started" permettant aux utilisateurs de passer à la deuxième interface.



Figure 30 : Interface principale de l'application

- 2) Interface de Login et de sélection de Rôle : Dans cette interface, les utilisateurs choisissent leur rôle parmi deux options : abonné ou distributeur.

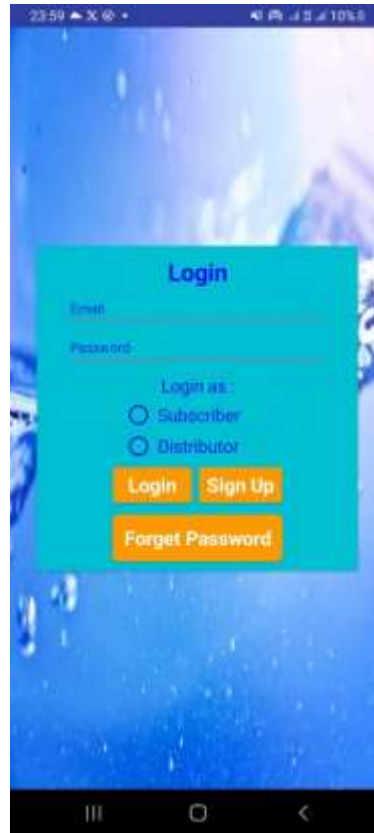


Figure 31 : Interface login

- 3) Interface de Données pour les Distributeurs : elle présente des données de volume et de débit relatives au réseau, ainsi que des informations sur la consommation des utilisateurs. Cette interface facilite la comparaison des données, ce qui est essentiel pour évaluer les pertes éventuelles et optimiser la gestion du réseau.



Figure 32 : Interface Distributeur

- 4) Interface de données pour les abonnés : En revanche, la quatrième interface est destinée aux consommateurs. La troisième interface affiche des données personnalisées de volume et de débit pour les utilisateurs qui ont choisi le rôle de consommateur. Ces données leur permettent de suivre leur propre consommation.



Figure 33 : Interface Utilisateur

Notre application a été créée avec Kodular, une plateforme de développement d'applications mobiles en ligne qui permet de créer facilement des applications Android avec un éditeur de type blocs. Le design de ces applications Android est réalisé avec l'interface Matériel Design. Leurs fonctionnements sont décrits dans l'interface Blocs. La figure 34 illustre l'interface utilisateur Matériel Design de Kodular.

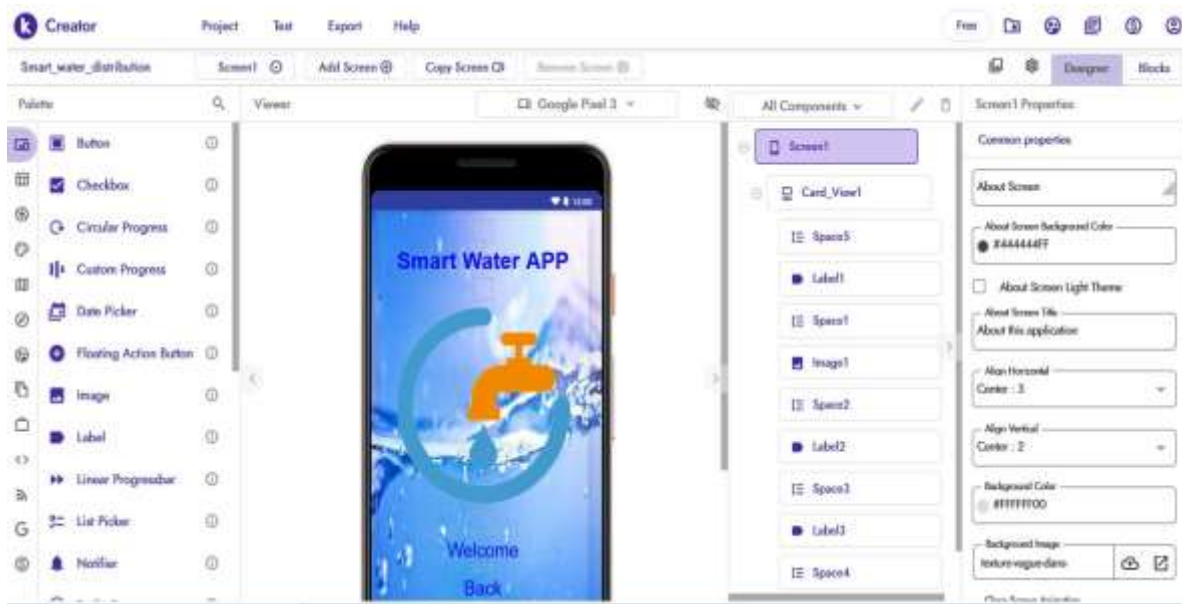


Figure 34 : Interface Matériel Design de Kodular

La figure 35 illustre l'interface Blocs de Kodular.

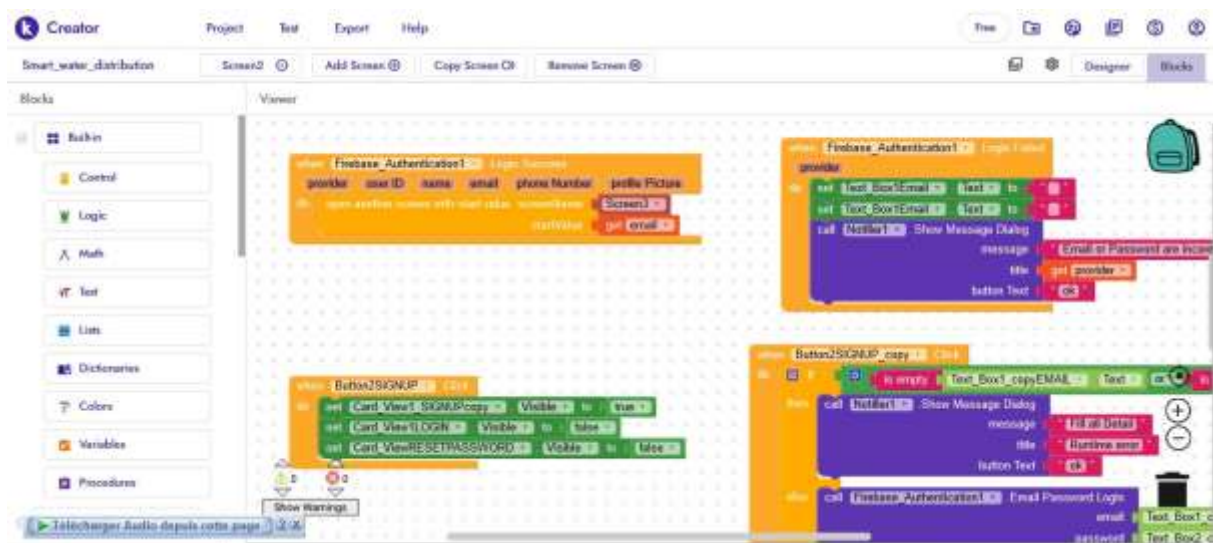


Figure 35 : Interface Blocks de Kodular

2.3. La base des données Firebase

Dans ce projet, on a utilisé une base de données virtuelle Firebase qui est une plateforme de développement d'applications proposée par Google. Elle offre une variété de services de cloud

computing, y compris des bases de données en temps réel et cloud Firestore, ainsi que l'authentification, l'hébergement, le stockage, et l'analytique. C'est une solution complète pour le développement d'applications modernes. L'intégration de Firebase dans l'application s'effectue à l'aide des composants de firebase dans Kodular qui ensuite sont programmés dans le visuel (blocks). La figure 35 présente une interface de base de données Firebase.



Figure 36 : Interface de base de données Firebase

3. La réalisation et les résultats pratiques

3.1. Le schéma de câble d'un réseau de distribution d'eau intelligent

La figure 37 suivante présente le schéma de câblage de notre système.

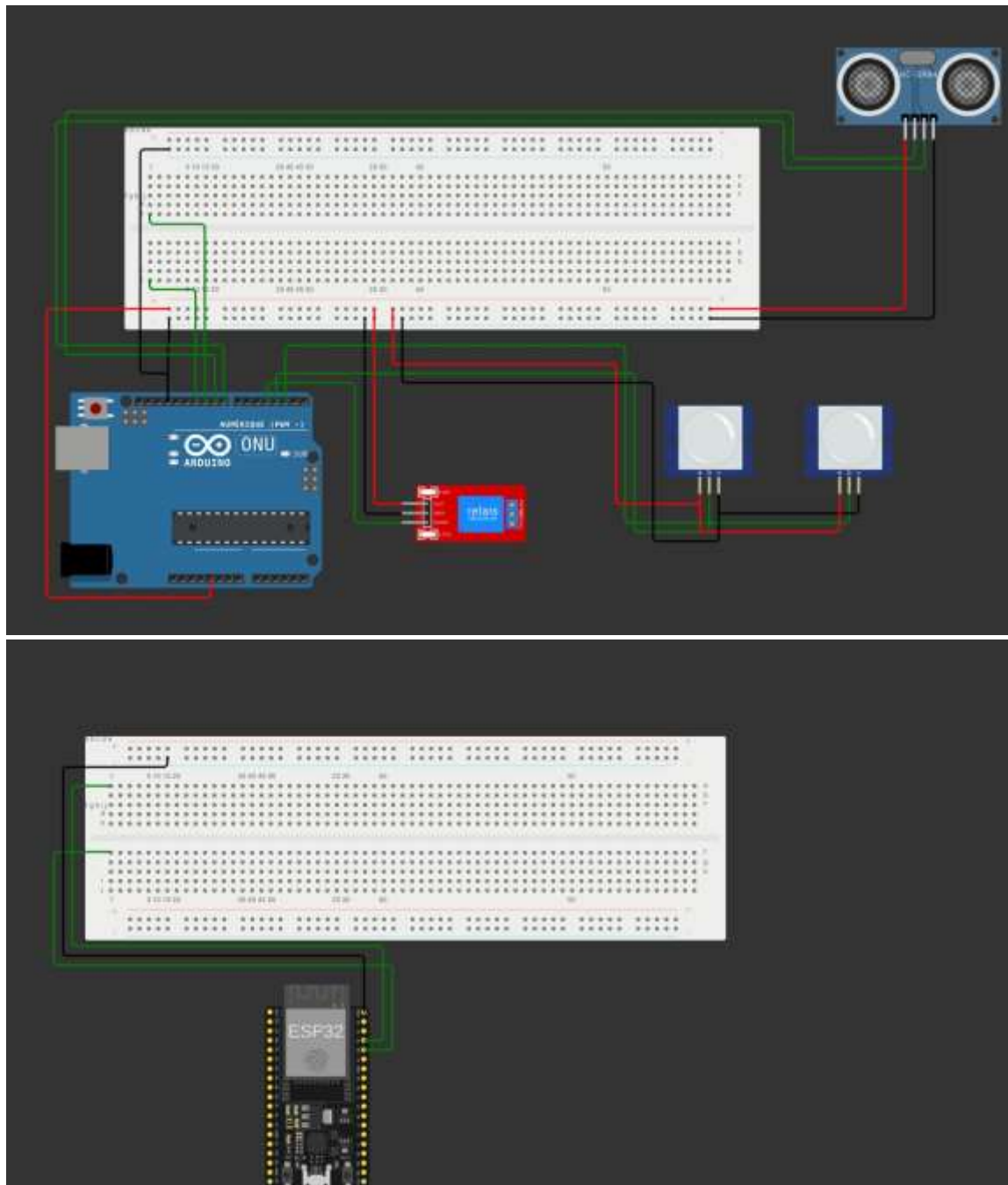


Figure 37 : Schéma synoptique de câblage

3.2. Etapes de montage avec la carte arduino

Pour éviter l'imbrication des étapes, on doit suivre une méthode de montage bien organisée. Dans un premier temps, il est préférable de commencer à alimenter la plaque d'essai à partir de

la carte Arduino. Après l'alimentation de la plaque d'essai, nous commençons à connecter le reste des composants selon les étapes suivantes :

- Pompe : il nous suffit de brancher le côté positif de la pompe avec la broche (NO) et négatif avec le côté négatif de notre source d'alimentation de (12V), et on doit brancher la partie positive de la source d'alimentation de 12V avec la broche (COM) du relais
- Module relais : ($V_{cc}=5V$, $GND=GND$, $IN=digital3$)
- Capteur Ultrason :($V_{cc}=5V$, $GND=GND$, $Trig=digital\ 9$, $Echo=digital\ 8$)
- Débitmètre 1 :($V_{cc}=5V$, $GND=GND$, $Sorti=digital\ 2$)
- Débitmètre 2 :($V_{cc}=5V$, $GND=GND$, $Sorti=digital\ 4$)

Après avoir fait une révision générale du branchement de montage et de brancher l'alimentation on peut voir les résultats de ce montage comme sur le figure 38 ci-dessous.



Figure 38 : Conception du Système

3.3. Etapes de montage avec ESP 32

Dans cette partie on a le choix d'utiliser soit Arduino Uno avec ESP32 ou ESP8266. Dans notre cas on a décidé d'opter pour l'Arduino Uno avec ESP 32, car cela s'avère plus pratique comme nous avons déjà parlé dans la description du protocole de communication, elle nous offre des privilèges d'utiliser le WIFI.

Voici ci-dessous les étapes de montage de notre système :

- Arduino Uno (TX=RX d'ESP 32, RX=TX d'ESP 32, GND=GND)
- ESP 32 (RX=TX d'Arduino Uno, TX=RX d'Arduino Uno, GND=GND)

3.4. Résultat pratique

Après avoir fait la partie programmation avec Arduino IDE et avoir fait le montage comme mentionné, et avoir créé une application en la reliant avec la base des données, il ne reste qu'à afficher les résultats, premièrement sur Firebase ensuite sur l'application Android. Les figures suivantes illustrent ces résultats pratiques du réseau de distribution intelligent d'eau proposé, pour le débit et le volume qui passent dans le réseau à chaque instant. La figure 39 représente l'affichage des données dans la base des données Firebase.

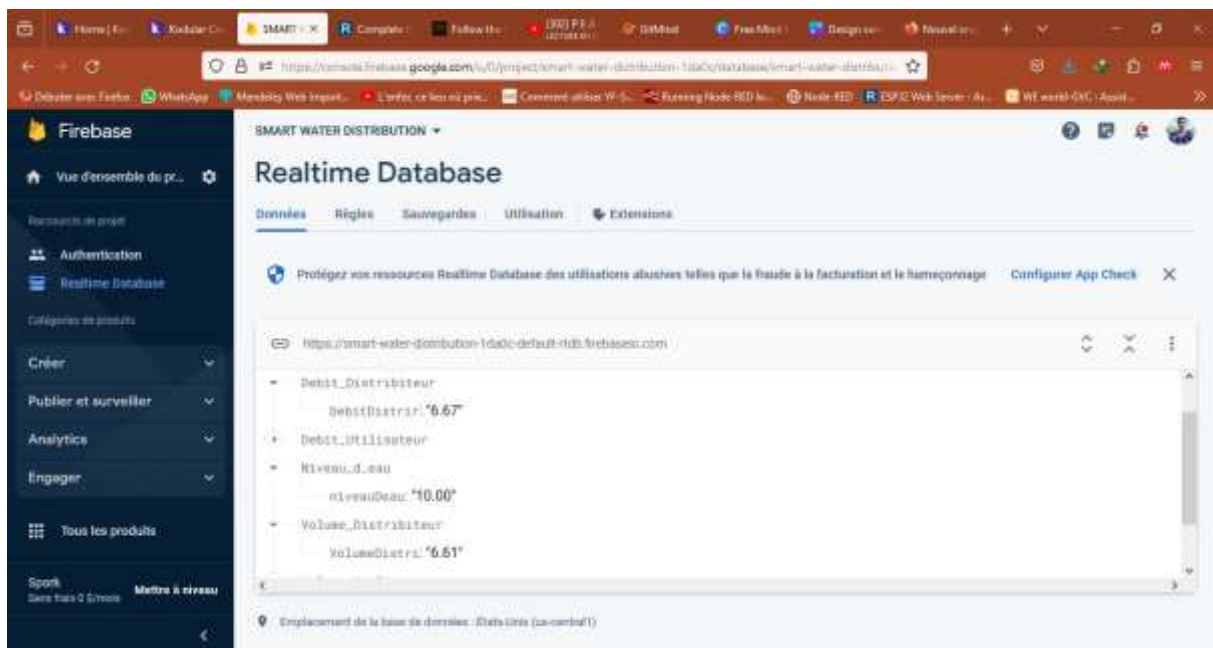


Figure 39 : Affichage des données dans la base de données Firebase

Les figure 40 et 41 représentent les résultats de transfert des données à partir de Firebase avec l'application mobile pour le distributeur et pour utilisateur



Figure 40 : Résultat de transfert des données avec l'application pour le distributeur



Figure 41 : Résultat de transfert des données avec l'application pour l'utilisateur

4. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a exploré la mise en œuvre de l'internet des objets (IdO) pour rendre le réseau de distribution d'eau intelligent. Le schéma synoptique a présenté les éléments de base du réseau, mettant en avant l'utilisation de la carte Arduino comme un microcontrôleur, et de l'ESP32 pour la communication. L'organigramme a ensuite détaillé les étapes du fonctionnement du système, soulignant la synchronisation des données entre l'Arduino UNO, l'ESP32 et l'application web. Le protocole de communication élaboré permet au distributeur de suivre la distribution d'eau et aux utilisateurs de surveiller leur consommation. L'utilisation de Firebase en tant que base de données virtuelle facilite le stockage et l'accès aux données, tandis que l'application mobile, créée avec Kodular, offre une interface conviviale aux distributeurs et aux abonnés. Les résultats pratiques ont démontré l'efficacité du système, avec des données de débit et de volume affichées à la fois sur Firebase et dans l'application mobile. Le schéma de câblage et les étapes de montage détaillées avec les cartes Arduino et ESP32 ont permis une mise en œuvre réussie du réseau de distribution d'eau intelligent.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'utilisation des outils de communication permet d'améliorer les systèmes de distribution d'eau classique. Dans ce cadre, ce projet de fin d'études a été proposé pour aider le distributeur et le consommateur de contrôler et de suivre de près la distribution et la consommation d'eau. On a étudié et réalisé un système de distribution d'eau intelligent à base d'Arduino UNO, ESP32, d'une application Android et le système de IdO. Dans la première section on a mis en relief les fondements essentiels de l'eau en tant que ressource, explorant les différentes sources d'eau douce, souterraine et de surface, ainsi que les processus complexes de production et de distribution d'eau potable, soulignant leur impact direct sur la santé publique et la nécessité d'une gestion efficace des ressources hydriques. La deuxième partie se concentre sur la mise en œuvre pratique des concepts théoriques, détaillant les composants matériels et logiciels nécessaires à la création d'un système de surveillance et de contrôle du réseau de distribution d'eau via l'IdO. L'utilisation judicieuse de la carte Arduino, de l'ESP32, des capteurs et d'autres éléments témoigne de l'application concrète des avancées technologiques pour améliorer la gestion des réseaux de distribution d'eau. Enfin, la troisième section a présenté une étude spécifique sur l'intégration de l'IdO pour rendre le réseau de distribution d'eau intelligent, démontrant l'efficacité d'une solution pratique pour suivre la distribution d'eau, surveiller la consommation et faciliter la gestion des ressources.

Comme perspectives à ce travail, on peut citer :

- ❖ Adoption d'approches intelligentes et durables afin d'assurer un accès pérenne à l'eau potable et la préservation des ressources hydriques, contribuant ainsi de manière significative à l'avancement des solutions technologiques dans le domaine de la distribution d'eau.
- ❖ L'utilisation de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique pourra permettre au système de s'adapter dynamiquement aux schémas de consommation, anticipant les besoins et ajustant la distribution en conséquence.
- ❖ L'enregistrement des données de débit et de volume dans la base de données et dans une carte mémoire en cas de l'absence de l'internet.
- ❖ L'extension de ces solutions à l'échelle communautaire et la promotion de l'engagement des utilisateurs pourraient renforcer l'efficacité globale du système

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] C. M. O'Reilly *et al.*, « Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe », *Geophys. Res. Lett.*, vol. 42, n° 24, déc. 2015, doi: 10.1002/2015GL066235.
- [2] « La population burundaise appelée à protéger les sources d'eau Biodiversité du Burundi.htm ».
- [3] W.-J. Li, C. Yen, Y.-S. Lin, S.-C. Tung, et S. Huang, « JustIoT Internet of Things based on the Firebase real-time database », in *2018 IEEE International Conference on Smart Manufacturing, Industrial & Logistics Engineering (SMILE)*, Hsinchu: IEEE, févr. 2018, p. 43-47. doi: 10.1109/SMILE.2018.8353979.
- [4] M. Singh et S. Ahmed, « IoT based smart water management systems: A systematic review », *Mater. Today Proc.*, vol. 46, p. 5211-5218, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.588.
- [5] C. Rajurkar, S. R. S. Prabakaran, et S. Muthulakshmi, « IoT based water management », in *2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2)*, Chennai, India: IEEE, mars 2017, p. 255-259. doi: 10.1109/ICNETS2.2017.8067943.
- [6] S. Kendurkar, S. Chorge, S. Sathe, S. Shinde, et S. Mantri, « Smart Water Supply using Internet of Things », vol. 8, n° 7, 2020.
- [7] G. De Marsily et M. Besbes, « Les eaux souterraines », *Ann. Mines - Responsab. Environ.*, vol. N° 86, n° 2, p. 25-30, mars 2017, doi: 10.3917/re1.086.0025.
- [8] P. J. P. Laborde, « ELEMENTS D'HYDROLOGIE DE SURFACE ».
- [9] K. Adolphe, « Cours de Traitement des eaux ».
- [10] F. Mansotte, T. Margueron, et D. Maison, « L'alimentation en eau potable en Guyane : problématique et solutions appropriées », *Santé Publique*, vol. Vol. 22, n° 2, p. 181-192, mai 2010, doi: 10.3917/spub.102.0181.
- [11] S. C. Mukhopadhyay et N. K. Suryadevara, « Internet of Things: Challenges and Opportunities », in *Internet of Things*, vol. 9, S. C. Mukhopadhyay, Éd., in Smart Sensors, Measurement and Instrumentation, vol. 9. , Cham: Springer International Publishing, 2014, p. 1-17. doi: 10.1007/978-3-319-04223-7_1.
- [12] A. Salam, *Internet of Things for Sustainable Community Development: Wireless Communications, Sensing, and Systems*. in Internet of Things. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-35291-2.
- [13] M. Babiuch, P. Foltyniek, et P. Smutny, « Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing », in *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, Krakow-Wieliczka, Poland: IEEE, mai 2019, p. 1-6. doi: 10.1109/CarpathianCC.2019.8765944.
- [14] J. Lalnunthari et H. H. Thanga, « Dependence of hall effect flow sensor frequency on the attached inlet and outlet pipe size », in *2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia)*, Bangalore: IEEE, oct. 2017, p. 56-60. doi: 10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842.
- [15] E. J. Morgan, « HC-SR04 Ultrasonic Sensor ».
- [16] Y. Tjandi et A. M. Mappalotteng, « The Prototype Electrical Control Devices Based On Smart Relay Arduino ».
- [17] R. Meadow, « How to use buzzer alarms to cure bed-wetting. », *BMJ*, vol. 2, n° 6094, p. 1073-1075, oct. 1977, doi: 10.1136/bmj.2.6094.1073.
- [18] J. Nussey, *Arduino pour les nuls*, 2e édition. Paris: Editions First, 2017.

ANNEXES

❖ Achat des Matériels Utilisés

Quantité	Description	Prix unitaire(FCFA)	Prix total
1	Kit Arduino	35.000	35.000
1	Carte Arduino UNO	9000	9000
2	ESP 32	8000	16.000
1	Pompe	15.000	15.000
3	Débitmètre	5000	15.000
1	Alimentation 12V	3000	3000
1(1m)	Tuyaux	1400	1400
3	Seau	1200	3600
10	Fils de connexion ou Jumper	40	400
Montant Total			98.400

Tableau 1: Achat des Matériels