

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Université Abou Bekr Belkaid -Tlemcen

Faculté des Sciences

Département d'Informatique

Mémoire de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique  
Option : Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)

*Thème*

---

Développement d'un package Node-RED dédié aux  
réseaux d'eau : Water Network

---

Réalisé par :

- BENAÏSSA Hanane
- ZITOUNI Ikram

Soutenu le **28 Juin 2025** Devant le jury composé de :

Mme BENMAHDI Meriem Bouchra

Présidente

Mr LEHSAINI Mohamed

Encadrant

Mr BENAÏSSA Amine

Co-encadrant

Mr SAIDI Abdessamad

Examinateur

Mr ETCHIALI Abdelhak

Examinateur

## Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU, source de force et de sagesse, pour nous avoir permis d'accomplir ce travail avec patience et persévérance.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant de mémoire, Mr LEHSAINI MOHAMED, pour son accompagnement, sa patience et sa confiance tout au long de ce projet. Ses précieux conseils, et son soutien ont été d'une aide inestimable et ont grandement contribué à l'aboutissement de ce projet.

Nous remercions également le PDG de l'entreprise SOGERHWIT, Mr RAMDANI, pour son accueil chaleureux, la mise à disposition du matériel nécessaire, ainsi que pour la qualité de la collaboration. Nos remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe de l'entreprise -chacun se reconnaîtra- pour leur disponibilité, leur soutien et leur esprit de coopération.

Merci également aux membres du jury de soutenance pour avoir accepté de faire partie du jury, Mme BENMAHDI Meriem Bouchra, Mr SAIDI Abdessamad et Mr ETCHIALI Abdelhak.

Nos remerciements vont également à l'ensemble des professeurs du département de l'informatique de l'Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, pour la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils nous ont transmises durant nos années d'études.

Ce mémoire est le fruit d'un travail collectif autant que personnel, et nous sommes profondément reconnaissantes envers toutes celles et ceux qui nous ont accompagnés tout au long de ce parcours.

## Dédicaces

Je dédie ce travail :

À moi-même,

pour n'avoir jamais abandonné, même quand tout semblait flou, lourd ou impossible, malgré les doutes, la fatigue et les nuits sans fin.

À mes parents,

Pour votre amour inconditionnel, votre soutien sans faille, vos sacrifices silencieux... et surtout, pour vos dou<sup>c</sup>as et vos prières qui m'ont portée dans l'ombre à chaque étape.

À ma sœur Sarah et à mon petit frère Slimane,

Mes trésors, ma plus grande source de joie et de force. Votre sourire, vos mots, même vos silences m'ont portée plus loin que vous ne l'imaginez.

À mon amie de parcours Hanane,

Ta présence, ton soutien, et toutes ces nuits à débbugger, à réécrire cent fois la même ligne, à douter... et surtout rire, encore et toujours, ont tout changé. Sans toi, cette aventure n'aurait jamais eu la même force.

*Ikram ZITOUNI*

En témoignage de reconnaissance, je dédie ce travail à :

Mes chers parents,  
dont l'amour m'a porté, dont les prières ont accompagné chacun de mes pas, et dont la confiance en moi a souvent été plus forte que la mienne.

Mes frères,  
présents dans mes élans comme dans mes chutes, épaules solides et cœurs complices.

Ma grand-mère,  
dont les prières ont toujours été la lumière qui a guidé mon chemin.

Ma précieuse complice, Ikram,  
la meilleure qu'on puisse espérer, avec qui chaque étape a pris un sens tout particulier.

Mes enseignants,  
qui ont transmis avec passion bien plus que du savoir.

Et à moi-même,  
non des moindres, pour avoir cru, résisté et avancé, malgré tout.

*Hanane BENAÏSSA*

# Résumé

L'objectif de ce projet est de développer un package personnalisé appelé "Water-Network" sous Node-RED, dédié à la gestion intelligente des réseaux d'eau. Ce package intègre des noeuds spécifiques pour le tableau de bord, SVG, SQL et Modbus, permettant respectivement la supervision graphique, la visualisation schématique, la gestion des données et la communication industrielle. Pour valider le fonctionnement du package, un prototype a été mis en place en utilisant un Raspberry Pi, connecté à différents équipements tels que des capteurs de niveau et de pression, des pompes et des vannes. L'ensemble du système est contrôlé via l'interface graphique du package, ce qui permet d'afficher les mesures en temps réel et de contrôler directement les actionneurs dans un environnement de test représentatif d'un réseau hydraulique automatisé

**Mots clés :** Node-RED, IoT, Télégestion, Capteurs, Package "Water-Network"

# Abstract

The aim of this project is to develop a custom package called 'Water-Network' under Node-RED, dedicated to the intelligent management of water networks. This package integrates specific nodes for the dashboard, SVG, SQL and Modbus, enabling graphical supervision, schematic visualisation, data management and industrial communication respectively. To validate the package's operation, a prototype was set up using a Raspberry Pi, connected to various items of equipment such as level and pressure sensors, pumps and valves. The entire system is controlled via the package's graphical interface, enabling measurements to be displayed in real time and actuators to be controlled directly in a test environment representative of an automated hydraulic network.

**Keywords :** Node-RED, IoT, Remote management, Sensors, Package "Water-Network"

# ملخص

يهدف هذا المشروع إلى تطوير حزمة مخصصة تُسمى "شبكة المياه" ضمن نظام DER-edoN، مخصصة للإدارة الذكية لشبكات المياه. تُدمج هذه الحزمة عُقدًا مُحددة للوحة التحكم، ولغة GVS، ولغة LQS، ولغة subdoM، مما يُتيح الإشراف الرسومي، وتصوير المخططات، وإدارة البيانات، والاتصالات الصناعية على التوالي. للتحقق من صحة عمل الحزمة، تم إعداد نموذج أولي باستخدام Node-RED، IP، وSQL، وModbus، مما يُتيح عرض القياسات آنيًا، والتحكم في المُشغلات مباشرةً في بيئة اختبار تُمثل شبكة هيدروليكية آلية.

**الكلمات المفتاحية:** DER-edoN إنترنت الأشياء، الإدارة عن بُعد، أجهزة الاستشعار، حزمة شبكة المياه

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Présentation de l'organisme d'accueil</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction	3
1.2 Vue d'ensemble de l'entreprise SOGERHWIT	3
1.2.1 Présentation de l'entreprise	3
1.2.2 Gestion des ressources et infrastructures	4
1.2.2.1 Ressources humaines	4
1.2.2.2 Ressources matérielles	4
1.2.2.3 Infrastructures	5
1.2.3 Structure organisationnelle	7
1.3 Activités principales de l'entreprise	8
1.3.1 Adduction et transfert d'eau	8
1.3.2 Adduction d'eau potable (AEP)	9
1.3.3 Assainissement	10
1.3.4 Périmètre d'irrigation	10
1.3.5 Réalisation des stations d'épuration	11
1.3.6 Télégestion	12
1.3.7 Autres activités de l'entreprise	12
1.4 Conclusion	13
<b>2 Concepts fondamentaux de l'Internet des objets</b>	<b>14</b>
2.1 Introduction	14
2.2 L'IoT et son rôle dans la gestion des réseaux d'eau	14
2.2.1 Définition de l'IoT	14
2.2.2 Composants et architecture d'un système IoT	15
2.2.2.1 Composants d'un système IoT	15
2.2.2.2 Architecture en couches	16
2.2.3 Applications de l'IoT dans la gestion des infrastructures hydrauliques	18

2.2.3.1	Détection de fuites en temps réel (Projet de Barcelone) . . . . .	18
2.2.3.2	Gestion intelligente de l'irrigation (Agriculture de précision en Californie) . . . . .	19
2.2.3.3	WaterWiSe à Singapour : surveillance intelligente de l'eau . . . . .	19
2.3	Télégestion des réseaux d'eau . . . . .	19
2.3.1	Définition et objectifs de la télégestion . . . . .	19
2.3.2	Principes de fonctionnement d'un système de télégestion . . . . .	20
2.3.3	Technologies et protocoles de communication utilisés en télégestion . . . . .	21
2.3.4	Sécurité et protection des données dans les systèmes de télégestion . . . . .	22
2.3.4.1	Chiffrement des communications . . . . .	22
2.3.4.2	Authentification et contrôle d'accès . . . . .	22
2.3.4.3	Intégrité des données . . . . .	22
2.3.4.4	Détection des intrusions et journalisation . . . . .	22
2.3.4.5	Mise à jour et durcissement des systèmes . . . . .	23
2.3.4.6	Sécurité physique . . . . .	23
2.4	Supervision et gestion en temps réel des réseaux d'eau . . . . .	23
2.4.1	Importance de la supervision des réseaux d'eau . . . . .	23
2.4.2	Outils de visualisation des données en temps réel . . . . .	24
2.4.2.1	SCADA . . . . .	24
2.4.2.2	Dashboards (Tableaux de bord) . . . . .	25
2.4.2.3	Logiciels GIS (Systèmes d'Information Géographique) . . . . .	26
2.4.2.4	Plateformes Cloud et IoT . . . . .	27
2.4.3	Lien entre supervision et télégestion . . . . .	27
2.5	Conclusion . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Solution de télégestion proposée (Water-Network)</b>	<b>29</b>
3.1	Introduction . . . . .	29
3.2	Solution proposée (Water network) . . . . .	29
3.2.1	Objectifs de la solution proposée . . . . .	29
3.2.2	Architecture générale de la solution proposée . . . . .	31
3.3	Technologies et moyens mis en oeuvre . . . . .	31
3.3.1	Protocoles et technologies de communication . . . . .	32
3.3.1.1	Le protocole MQTT . . . . .	32
3.3.1.2	Le protocole TCP/IP . . . . .	32
3.3.1.3	Le protocole HTTP . . . . .	32
3.3.1.4	Le protocole SSH . . . . .	33
3.3.2	Outils matériels utilisés . . . . .	33
3.3.2.1	Raspberry Pi 4 . . . . .	33
3.3.2.2	Capteurs de niveau d'eau . . . . .	34
3.3.2.3	Capteurs de pression . . . . .	35
3.3.2.4	Pompe . . . . .	36

3.3.2.5	Vanne . . . . .	36
3.3.2.6	Armoire de contrôle . . . . .	37
3.3.3	Outils logiciels . . . . .	37
3.3.3.1	Node-Red . . . . .	37
3.3.3.2	Inkscape . . . . .	38
3.3.3.3	PuTTY . . . . .	39
3.3.3.4	VNC viewer . . . . .	39
3.3.3.5	Edraw max . . . . .	39
3.3.3.6	VsCode . . . . .	40
3.3.3.7	MySQL workbench . . . . .	40
3.3.3.8	Mosquitto broker . . . . .	40
3.3.3.9	Github . . . . .	41
3.4	Fonctionnalités et modélisation UML de "Water network" . . . . .	41
3.4.1	Fonctionnalités principales de "Water network" . . . . .	41
3.4.2	Diagramme de cas d'utilisation . . . . .	42
3.4.3	Diagramme de classes . . . . .	43
3.4.4	Diagramme de séquence de "Water network" . . . . .	44
3.5	Conclusion . . . . .	47
<b>4</b>	<b>Développement et mise en Œuvre de la solution proposée</b>	<b>48</b>
4.1	Introduction . . . . .	48
4.2	Déploiement du package et configuration de l'environnement Node-RED . . . . .	48
4.2.1	Accès distant et configuration réseau du système . . . . .	48
4.2.2	Intégration et déploiement du package personnalisé . . . . .	51
4.2.3	Connexion aux services externes et protocoles de communication . . . . .	51
4.3	Conception de l'interface de supervision . . . . .	54
4.3.1	Conception du tableau de bord . . . . .	54
4.3.2	Intégration du schéma SVG interactif et un panneau de commande . . . . .	56
4.3.3	Autres onglets de l'interface : localisation et historique . . . . .	57
4.3.4	Supervision et contrôle en temps réel . . . . .	58
4.4	Réalisation du prototype et validation . . . . .	59
4.4.1	Assemblage du système matériel . . . . .	59
4.4.2	Programmation et mise en service . . . . .	62
4.4.3	Test global et résultats observés . . . . .	65
4.5	Conclusion . . . . .	69
	<b>Conclusion générale</b>	<b>70</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>71</b>
	<b>Business Model Canvas (BMC)</b>	<b>72</b>

## LISTE DES FIGURES

1.1	Réservoir de stockage d'eau [2] . . . . .	5
1.2	Installation de forage hydraulique [3] . . . . .	6
1.3	Château d'eau [4] . . . . .	6
1.4	Conduite principale de transport hydraulique [1] . . . . .	7
1.5	Organigramme de la SOGERHWIT . . . . .	8
1.6	Raccordement en aval à partir de la station de dessalement d'eau de mer de Cap Djinet, réalisé par SOGERHWIT [1] . . . . .	9
1.7	Sécurisation AEP de Bechar [1] . . . . .	10
1.8	Réseau d'irrigation du périmètre agricole de Tafna Isser [1] . . . . .	11
1.9	Station d'épuration d'Ain El Kihel [1] . . . . .	11
1.10	Télégestion du système d'AEP de la ville nouvelle de Bouinan [1] . . . . .	12
2.1	Internet des objets [6] . . . . .	15
2.2	Exemple de capteurs [7] . . . . .	16
2.3	Architecture IoT à cinq couches [10] . . . . .	18
2.4	Surveillance des Données en Temps Réel [14] . . . . .	20
2.5	Tableau de bord [21] . . . . .	25
2.6	Logiciel de navigation GPS[22] . . . . .	26
2.7	Infrastructure cloud computing [23] . . . . .	27
3.1	Architecture générale de la solution proposée . . . . .	31
3.2	Carte Raspberry Pi 4 [30] . . . . .	34
3.3	Capteur de niveau à ultrasons [32] . . . . .	35
3.4	Capteur de pression d'eau [34] . . . . .	35
3.5	Pompe hydraulique [36] . . . . .	36
3.6	Diagramme de cas d'utilisation de "Water network" . . . . .	43
3.7	Diagramme de classes de "Water network" . . . . .	44
3.8	Diagramme de séquence : "Authentification" . . . . .	45
3.9	Diagramme de séquence : "Contrôle des vannes et des pompes" . . . . .	46

3.10	Diagramme de séquence : "Consultation des statistiques"	46
4.1	Le fichier de configuration <i>"wpa_supplicant.conf"</i>	49
4.2	Interface PuTTY	49
4.3	Commande de configuration du Raspberry Pi	50
4.4	Interface de VNC	50
4.5	Commande d'installation de Node-RED sur Raspberry Pi	50
4.6	Commandes pour d'ajout d'un package dans Node-RED	51
4.7	Intégration du package <i>"Water Network"</i>	51
4.8	Interface de MySQL Workbench	52
4.9	Création d'une connexion MySQL	52
4.10	Configuration de MySQL sur Node-Red	53
4.11	Exemple d'utilisation du protocole MQTT	53
4.12	Configuration du MQTT	54
4.13	Jauge de niveau d'eau en temps réel	55
4.14	Variation du niveau et de la pression d'eau	55
4.15	Schéma interactif du réseau hydraulique (SVG)	56
4.16	Panneau de commande des équipements	57
4.17	Carte interactive de localisation des sites d'intervention	57
4.18	Historique des mesures et des états du système	58
4.19	Exemple de remplissage du tableau depuis MySQL	58
4.20	Exemple de commande des pompes et des vannes	59
4.21	Vue globale du coffret électrique assemblé	60
4.22	Automate Siemens câblé dans le coffret, connecté au capteur à ultrasons	60
4.23	Carte à relais utilisée pour le contrôle des actionneurs	61
4.24	Schéma de câblage du prototype	62
4.25	Configuration d'un GPIO en sortie	63
4.26	Flux Node-RED du Raspberry Pi	64
4.27	Trafic MQTT entre les deux environnements Node-RED	64
4.28	Page d'authentification	65
4.29	Affiche en temps réel des données	66
4.30	Tableau de bord des statistiques	66
4.31	Interface de supervision (SVG) et de commande	67
4.32	Historique des données capturées	67
4.33	Carte des chantiers	68
4.34	Messages automatisés de supervision sur Telegram	68

## LISTE DES ACRONYMES

**2FA** double authentification. 22

**AEP** adduction d'eau potable. 9

**ArcGIS** Arc Geographic Information System. 26

**EPE** Entreprise Publique Économique. 3

**GERHYD** Groupe d'Études et de Réalisations Hydrauliques. 3

**GND** Ground. 34

**GPIO** General Purpose Input/Output. 61

**HTTP** HyperText Transfer Protocol. 32

**IDS** systèmes de détection d'intrusion. 22

**IHM** interface homme-machine. 20

**IoT** Internet des Objets. 1, 14

**LED** Light-Emitting Diode. 36

**LoRaWAN** Long Range Wide Area Network. 22

**MQTT** Message Queuing Telemetry Transport. 21, 30

**MySQL** My Structured Query Language. 30

**PLC** automates programmables. 1, 20

**QGIS** Quantum Geographical Information System. 26

**RBAC** Role-Based Access Control. 22

**RTU** unités terminales distantes. 20

**SaaS** Software as a Service. 41

**SCADA** Supervisory Control and Data Acquisition. ii, 1, 24

**SOGERHWIT** Société Générale de Travaux Hydrauliques de la Wilaya de Tlemcen. 1, 3

**SPA** Société par Actions. 3

**SSH** Secure Shell. 33, 39

**SVG** Scalable Vector Graphics. 1, 38

**TCP/IP** Transmission Control Protocol/Internet Protocol. 32

**TLS/SSL** Transport Layer Security/Secure Sockets Layer. 21

**UML** Unified Modeling Language. 41

**VCC** Voltage Continuous Current. 34

**VNC** Virtual Network Computing. 39

**VPN** Virtual Private Network. 21

**VsCode** Visual Studio Code. 40

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'intégration des technologies numériques dans les systèmes d'automatisation industrielle a profondément transformé les méthodes traditionnelles de supervision et de contrôle. L'émergence de l'Internet des Objets (IoT), combinée à la puissance des microcontrôleurs et à la flexibilité des outils de développement low-code, ouvre la voie à des solutions intelligentes, évolutives et accessibles, y compris pour des infrastructures critiques telles que les réseaux de distribution d'eau.

Aujourd'hui, la gestion des infrastructures hydrauliques repose principalement sur des systèmes centralisés, composés d'automates programmables (PLC) couplés à des plateformes de contrôle et d'acquisition de données "Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)". Bien que ces solutions aient fait leurs preuves, elles souffrent d'un certain nombre de limitations : coûts élevés, complexité du déploiement, manque de flexibilité pour répondre à des besoins spécifiques et dépendance à l'égard de technologies propriétaires. Ces contraintes limitent leur adoption, en particulier dans les contextes locaux ou avec des budgets limités. Dans cette optique, la Société Générale de Travaux Hydrauliques de la Wilaya de Tlemcen (SOGERHWIT), société spécialisée dans les services d'eau en Algérie, a lancé une collaboration avec le laboratoire "Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC)" de l'Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen. L'objectif est de concevoir un outil logiciel alternatif, personnalisé, modulaire et peu coûteux pour la supervision et le contrôle des réseaux d'eau en utilisant des technologies open-source, tout en faisant appel à des compétences universitaires.

Le cœur du projet est basé sur le développement d'un package dédié à la plateforme Node-RED, un environnement de programmation visuelle orienté flux largement utilisé dans le domaine de l'IoT. Ce package rassemble plusieurs nœuds fonctionnels spécialisés, intégrés dans un ensemble cohérent :

- Dashboard : interface web intuitive pour la visualisation en temps réel et le pilotage à distance,
- Scalable Vector Graphics (SVG) : représentation schématique interactive des éléments du réseau,

- SQL : enregistrement, consultation et analyse des données collectées,
- Modbus : communication industrielle avec les capteurs et actionneurs connectés.

L'originalité de cette solution réside dans l'unification de ces fonctionnalités au sein d'un package personnalisable prêt à l'emploi, permettant une intégration rapide dans des environnements de supervision réels sans dépendre de modules externes disparates. De cette manière, le package développé vise à offrir une alternative pratique aux systèmes SCADA conventionnels, adaptée aux besoins opérationnels sur le terrain. Ainsi, pour valider son fonctionnement, un prototype physique a été conçu autour d'un Raspberry Pi 4, utilisé comme unité locale de traitement et de contrôle. Ce prototype intègre :

- des capteurs de niveau et de pression,
- des pompes,
- et des vannes connectées via des broches GPIO.

Le système permet une visualisation des mesures en temps réel sur l'interface graphique et de piloter les actionneurs manuellement ou automatiquement à l'aide de scénarios définis dans l'environnement Node-RED. Le système fournit ainsi un environnement de test réaliste, démontrant la faisabilité technique et les avantages opérationnels de la solution. De ce fait, afin de structurer méthodiquement le développement de cette solution et d'assurer une compréhension progressive des choix techniques et des résultats obtenus, ce manuscrit a été organisé en quatre chapitres complémentaires, chacun apportant une contribution spécifique à l'ensemble du projet :

- Le chapitre 1 est consacré à la présentation de SOGERHWIT, de son organisation, de ses ressources et de ses principales activités dans le domaine hydraulique.
- Le chapitre 2 explore les concepts fondamentaux liés à l'IoT, à la télégestion des réseaux d'eau et aux technologies associées.
- Le chapitre 3 décrit la conception de la solution logicielle proposée, l'architecture du système et le développement d'un package personnalisé dans Node-RED.
- Le chapitre 4 présente la mise en œuvre pratique du prototype, le déploiement du package développé, la configuration de l'interface de supervision, ainsi que les tests et les résultats obtenus.

Avec cette structure, le projet aboutit à une solution concrète, développée étape par étape, illustrant une approche méthodique qui a permis de concevoir un système de supervision fonctionnel, adaptable et aligné sur les besoins réels du terrain.

# CHAPITRE 1

## PRÉSENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

### 1.1 Introduction

L'accès à l'eau potable et la gestion des ressources hydriques sont des enjeux majeurs pour les sociétés modernes. Face à la croissance démographique, à l'urbanisation accélérée et aux défis environnementaux, assurer une distribution équitable de l'eau et un traitement efficace des eaux usées est devenu une nécessité vitale. Dans ce contexte, des entreprises spécialisées, comme SOGERHWIT, jouent un rôle essentiel en Algérie en garantissant la disponibilité et la qualité de l'eau pour les populations et les industries.

Les réseaux hydrauliques nécessitent une gestion efficace pour optimiser les ressources naturelles. Grâce aux technologies avancées, il est possible d'améliorer la distribution, réduire les pertes et prévenir les problèmes techniques. SOGERHWIT, en Algérie, développe des solutions innovantes pour la gestion de l'eau, la surveillance des réseaux et l'épuration, contribuant ainsi à la préservation des ressources hydriques et à l'amélioration des services d'eau.

Dans la section suivante, nous allons présenter en détail cette entreprise, son organisation, ses ressources et ses principales activités.

### 1.2 Vue d'ensemble de l'entreprise SOGERHWIT

#### 1.2.1 Présentation de l'entreprise

La SOGERHWIT est une entreprise publique nationale par actions de droit algérien, créée en 1973 par arrêté interministériel. Cette société est spécialisée dans la gestion des ressources en eau et les travaux d'infrastructure hydraulique. Elle est affiliée au Groupe d'Études et de Réalisations Hydrauliques (GERHYD), une entité nationale regroupant plusieurs entreprises du secteur hydraulique. En 1995, après son passage à l'autonomie, SOGERHWIT a été restructurée en Entreprise Publique Économique (EPE) sous forme de Société par Actions (SPA). Son capital

a progressivement augmenté pour atteindre 1 milliard de dinars (1 000 000 000 DA) [1], favorisant ainsi l'expansion de ses activités et l'intégration des entreprises "Hydro Urbain Ouest Oran" et "EGRUT Tiaret", renforçant ainsi son rôle dans le domaine des travaux hydrauliques.

SOGERHWIT est dotée de la certification ISO 9001 version 2015, attestant de la qualité de son management. Son siège est établi dans la zone semi-industrielle d'Abou Tachfine, à environ 4 km du centre-ville de Tlemcen, sur un terrain de 15 609  $m^2$ , comprenant 4 915,13  $m^2$  de structures administratives et d'exploitation [1].

L'entreprise dispose aussi d'un espace de 5 000  $m^2$  dans la zone industrielle de Tlemcen, destiné à la fabrication de béton prêt à l'emploi et au stockage de matériaux, ainsi que d'un site de 3 000  $m^2$  dans la zone industrielle de Naâma. Spécialisée dans les travaux hydrauliques.

## 1.2.2 Gestion des ressources et infrastructures

La gestion optimale des ressources humaines, matérielles et des infrastructures constitue un pilier fondamental dans le bon fonctionnement des opérations de SOGERHWIT.

### 1.2.2.1 Ressources humaines

SOGERHWIT dispose d'un effectif de plus de 2 000 employés, répartis en cinq catégories principales, qui contribuent à la réalisation de ses projets et à la gestion de ses activités au quotidien :

- Cadres dirigeants : 7
- Cadres : 143
- Agents de maîtrise : 435
- Agents d'exécution
- Agents de sécurité

### 1.2.2.2 Ressources matérielles

SOGERHWIT dispose d'un ensemble varié de ressources matérielles nécessaires à la réalisation de ses projets, comprenant :

- Équipements de terrassement et de travaux publics : excavatrices, bulldozers, chargeuses
- Moyens de transport : véhicules et camions adaptés aux chantiers
- Appareils de levage : grues, treuils et autres dispositifs de manutention
- Installations de production de béton : centrales à béton et équipements associés
- Matériels de canalisation et de distribution : tuyaux, vannes, pompes et dispositifs de régulation des flux

- Matériels électriques : armoires électriques, câbles et équipements nécessaires au fonctionnement des installations
- Matériels de surveillance et de contrôle : capteurs de pression, débit, température et qualité de l'eau

### 1.2.2.3 Infrastructures

SOGERHWIT dispose d'infrastructures essentielles pour la gestion efficace de ses projets hydrauliques, couvrant l'ensemble du cycle de l'eau, depuis la captation jusqu'à la distribution aux utilisateurs finaux. Ces infrastructures comprennent notamment :

- **Réservoir d'eau** : Le réservoir (voir Figure 1.1) est un ouvrage de stockage permettant d'accumuler d'importants volumes d'eau destinés à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation ou à divers usages industriels. Il régule la distribution en assurant une disponibilité constante de la ressource, notamment lors des variations de la demande ou en cas d'interruption de l'approvisionnement. Placé en amont des réseaux de distribution, il constitue une réserve stratégique essentielle au maintien du bon fonctionnement des systèmes hydrauliques.



FIG. 1.1 : Réservoir de stockage d'eau [2]

- **Forage d'eau** : Un forage d'eau (voir Figure 1.2) est un ouvrage de captage permettant d'extraire l'eau souterraine contenue dans les nappes phréatiques ou aquifères. Réalisé par un procédé de perforation mécanique, il traverse les différentes couches géologiques jusqu'à atteindre la ressource en eau, souvent à plusieurs dizaines ou centaines de mètres de profondeur. Le forage est généralement équipé d'une pompe pour remonter l'eau à la surface, ainsi que d'un tubage (casing) pour stabiliser les parois et éviter les infiltrations de particules. Utilisé pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole ou les besoins industriels, un forage bien conçu doit respecter des normes techniques et sanitaires pour garantir la qualité et la durabilité de la ressource.



FIG. 1.2 : Installation de forage hydraulique [3]

- **Château d'eau** : Les châteaux d'eau (voir Figure 1.3) sont des réservoirs surélevés en béton, acier ou matériaux composites, conçus pour stocker et distribuer l'eau potable sous pression dans les réseaux urbains et ruraux. Par leur hauteur, ils créent une pression hydraulique naturelle permettant d'alimenter les habitations et infrastructures sans recourir en permanence à des pompes. Ces installations jouent un rôle clé dans la régulation des flux, le lissage des pics de consommation et la sécurisation de l'approvisionnement en cas de panne électrique. Leur capacité varie généralement entre 50 et plusieurs milliers de mètres cubes, selon les besoins des populations desservies.



FIG. 1.3 : Château d'eau [4]

- **Grandes conduites d'eau** : Les grandes conduites d'eau (voir Figure 1.4) désignent des canalisations de grand diamètre, en acier, fonte ductile ou PVC renforcé, utilisées pour transporter de grandes quantités d'eau entre les principaux ouvrages d'un réseau hydraulique, tels que les forages, stations de pompage, stations de traitement, réservoirs

et châteaux d'eau. Elles permettent d'acheminer l'eau sur de longues distances tout en préservant sa qualité et en limitant les pertes. Ce dispositif garantit une alimentation continue et sécurisée des réseaux, en assurant un transfert efficace des ressources hydriques vers les zones de consommation ou de stockage.



FIG. 1.4 : Conduite principale de transport hydraulique [1]

- **Station de pompage** : Une station de pompage est une infrastructure hydraulique essentielle composée d'un ensemble d'équipements mécaniques et électriques conçue pour transférer des fluides, principalement de l'eau, à travers un réseau de distribution. Son rôle principal consiste à fournir l'énergie nécessaire pour déplacer l'eau d'un point bas vers un point haut ou pour maintenir une pression suffisante dans le réseau sur de longues distances. Ces installations sont essentielles dans divers domaines, notamment l'adduction d'eau potable, l'assainissement des eaux usées, les systèmes d'irrigation agricole et les applications industrielles.

Les stations de pompage sont généralement équipées de plusieurs composants clés, notamment des groupes de pompes (souvent centrifuges ou volumétriques), des conduites de refoulement, des vannes de régulation, des systèmes de filtration, ainsi que des équipements électriques et de contrôle-commande.

### 1.2.3 Structure organisationnelle

SOGERHWIT est structurée en plusieurs départements qui assurent la gestion et le bon fonctionnement de ses services. La figure 1.5 présente de manière détaillée l'organigramme de l'entreprise, illustrant la structure hiérarchique et les différents services.

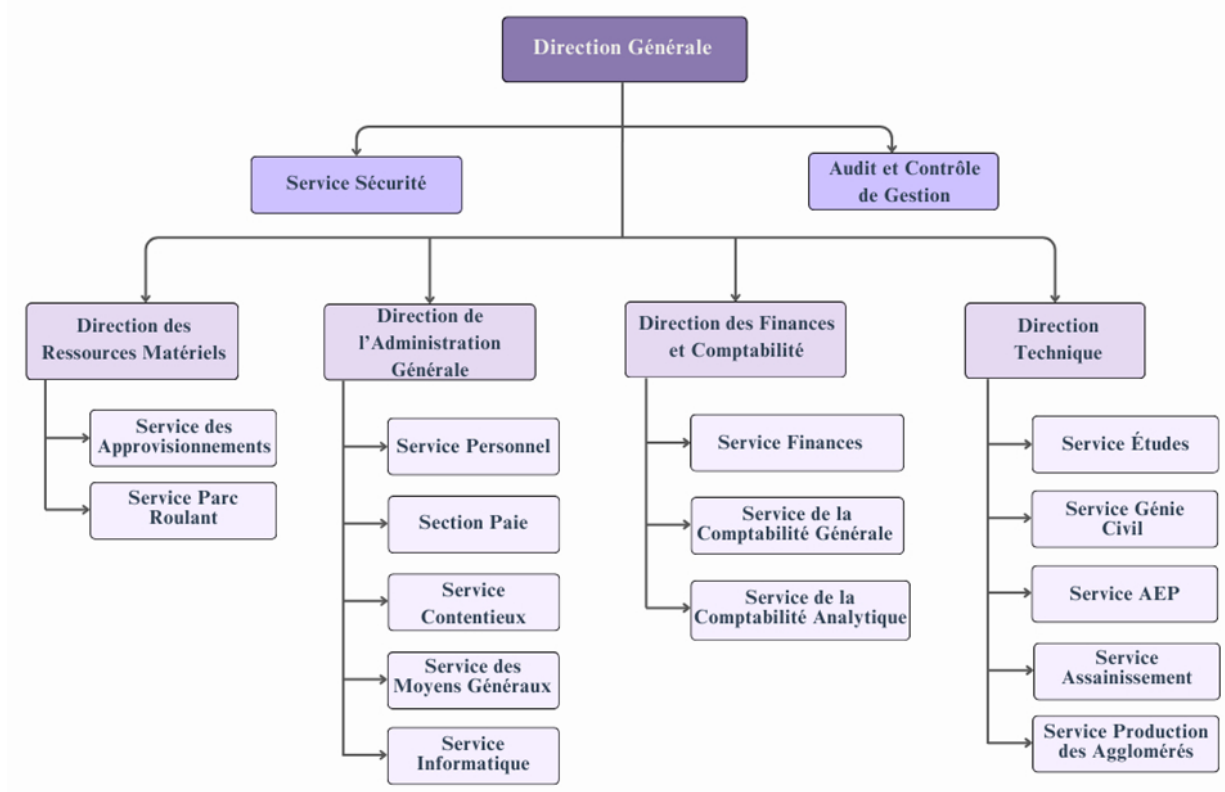


FIG. 1.5 : Organigramme de la SOGERHWIT

## 1.3 Activités principales de l'entreprise

SOGERHWIT déploie son expertise à travers plusieurs activités stratégiques, notamment :

### 1.3.1 Adduction et transfert d'eau

SOGERHWIT intervient dans l'adduction et le transfert d'eau sur de longues distances, en assurant le raccordement stratégique entre les principaux ouvrages hydrauliques tels que les barrages, les stations de dessalement, les stations de traitement et les forages. Par la mise en œuvre de grandes conduites et d'infrastructures performantes, l'entreprise garantit un acheminement fiable et optimisé de la ressource hydrique, indispensable à l'alimentation des zones urbaines, industrielles et agricoles. La Figure 1.6 illustre le projet de raccordement en aval de la station de dessalement d'eau de mer de Cap Djinnet qui a été réalisé par SOGERHWIT.



FIG. 1.6 : Raccordement en aval à partir de la station de dessalement d'eau de mer de Cap Djinet, réalisé par SOGERHWIT [1]

### 1.3.2 Adduction d'eau potable (AEP)

SOGERHWIT intervient dans des projets d'adduction d'eau potable (AEP) en assurant l'étude, la réalisation et la supervision des infrastructures nécessaires pour garantir un accès durable à une eau de qualité. L'entreprise se charge du transfert de l'eau à partir de différentes sources, telles que les barrages, les stations de traitement ou de dessalement, vers les centres de consommation, souvent situés à plusieurs dizaines de kilomètres. L'adduction d'eau potable implique plusieurs étapes fondamentales :

- **Captation de la ressource** : prélèvement de l'eau brute à partir de nappes phréatiques, barrages, rivières ou stations de dessalement à l'aide d'ouvrages adaptés.
- **Traitement de l'eau** : épuration de l'eau par des procédés physiques, chimiques et biologiques pour la rendre conforme aux normes sanitaires.
- **Transfert par des conduites adaptées** : acheminement de l'eau traitée via des canalisations de grand diamètre, tout en préservant sa qualité sur de longues distances.
- **Stockage** : accumulation de l'eau dans des réservoirs ou châteaux d'eau pour sécuriser l'alimentation et gérer les variations de la demande.
- **Distribution vers les zones de consommation** : mise à disposition de l'eau potable aux particuliers, industries et exploitations agricoles via les réseaux de distribution.

À titre d'exemple, SOGERHWIT participe au projet de sécurisation de l'alimentation en eau potable de la wilaya de Béchar, dont le maître d'ouvrage est l'ANBT (voir Figure 1.7). Ce projet, actuellement en cours de réception, concerne notamment la réalisation des travaux de

parachèvement du lot n°02 relatif aux stations de pompage, élément essentiel pour assurer un transfert fiable de la ressource.



FIG. 1.7 : Sécurisation AEP de Bechar [1]

### 1.3.3 Assainissement

L'entreprise assure une gestion intégrée des systèmes d'assainissement, depuis la collecte jusqu'à la valorisation des eaux usées (domestiques, industrielles et pluviales). Son approche globale combine l'expertise technique et le respect des normes environnementales pour garantir un cycle d'assainissement durable : conception et déploiement de réseaux de collecte optimisés, transport sécurisé vers les stations d'épuration, et traitement rigoureux permettant soit le rejet contrôlé, soit la réutilisation des eaux.

Au-delà de la conformité réglementaire, SOGERHWIT contribue, à travers ses projets, au développement durable et à la protection des ressources en eau.

### 1.3.4 Périmètre d'irrigation

Le périmètre d'irrigation désigne une zone spécifiquement aménagée pour la distribution et l'utilisation des ressources en eau à des fins agricoles. Dans le cadre des projets de l'entreprise, cela implique la gestion et l'optimisation de l'irrigation sur des superficies étendues, en utilisant des techniques modernes pour assurer une répartition efficace et durable de l'eau. Un exemple de ce type de projet est les travaux d'aménagement hydro-agricole du périmètre de Tafna Isser (6490 ha), où l'entreprise a mis en place un système d'irrigation performant pour garantir l'approvisionnement en eau des cultures, contribuant ainsi à la productivité et à la durabilité des activités agricoles dans la région. La Figure 1.8 montre le réseaux d'irrigation du périmètre de Tafna Isser réalisé par SOGERHWIT.



FIG. 1.8 : Réseau d'irrigation du périmètre agricole de Tafna Isser [1]

### 1.3.5 Réalisation des stations d'épuration

Une station d'épuration est une installation dédiée au traitement des eaux usées, visant à éliminer les polluants chimiques, biologiques et physiques pour rendre l'eau conforme aux normes environnementales avant son rejet ou réutilisation. Ce processus est essentiel pour protéger l'environnement et les ressources en eau.

SOGERHWIT a réalisé plusieurs projets dans ce domaine, dont l'une de ses réalisations majeures est la station d'épuration de la ville d'Ain El Kihel. Ce projet a permis de traiter efficacement les eaux usées de la ville. La station a une capacité de traitement de 23 250 équivalents habitants (Eq/Hab.) et un volume journalier de  $2790\text{ m}^3/j$ . La Figure 1.9 montre un exemple de station d'épuration réalisé par SOGERHWIT à Ain El Kihel.



FIG. 1.9 : Station d'épuration d'Ain El Kihel [1]

### 1.3.6 Télégestion

La télégestion est un système de gestion à distance des infrastructures, utilisant des technologies de communication pour surveiller, contrôler et optimiser le fonctionnement des équipements et des réseaux. Dans le domaine hydraulique, la télégestion permet une gestion plus efficace des ressources en eau, en facilitant la supervision des stations de pompage, des réservoirs, des stations de traitement et d'épuration, ainsi que des réseaux de distribution d'eau potable.

Dans le cadre de l'amélioration continue de ses solutions de télégestion, SOGERHWIT collabore avec l'Université de Tlemcen pour développer des solutions innovantes et adaptées aux besoins spécifiques de la gestion des réseaux hydrauliques. Ces systèmes permettent de collecter des données en temps réel, d'analyser les performances des équipements, de détecter d'éventuelles anomalies et de procéder à des ajustements instantanés afin de garantir une distribution optimale de l'eau.

La Figure 1.10 présente un exemple de projet de télégestion réalisé par SOGERHWIT à la ville nouvelle de Bouinan.



FIG. 1.10 : Télégestion du système d'AEP de la ville nouvelle de Bouinan [1]

### 1.3.7 Autres activités de l'entreprise

L'entreprise exerce également diverses autres activités, parmi lesquelles nous pouvons citer :

- Construction de châteaux d'eau,
- Travaux de génie civil (réservoirs d'eau, stations de pompage),
- Réalisation des stations de relevage et de lagunage,
- Développement des forages et installation d'équipements,
- Drainage et captage des sources,

- Production de béton prêt à l'emploi,
- Commercialisation de pièces hydrauliques,
- Réalisation des stations de dessalement,
- Fabrication de chaudronnerie et mécanique (coudes, brides, réservoirs...),
- Prestation de matériels de transport et engins de chantier,
- Réalisation des réseaux d'incendie

## 1.4 Conclusion

Ce premier chapitre a offert un aperçu complet de l'entreprise SOGERHWIT, en détaillant son organisation, la gestion de ses ressources, ainsi que ses activités majeures dans le secteur hydraulique. Parmi ses nombreuses missions figurent notamment la distribution d'eau potable, le traitement des eaux usées et l'innovation dans la supervision des réseaux, autant d'aspects qui illustrent son expertise et son fonctionnement. Ces informations constituent une base essentielle pour orienter notre projet de télégestion.

# CHAPITRE 2

## CONCEPTS FONDAMENTAUX DE L'INTERNET DES OBJETS

### 2.1 Introduction

La modernisation des réseaux d'eau repose aujourd'hui sur l'intégration des technologies avancées telles que l'IoT et les systèmes de télégestion. Ces outils permettent une surveillance continue, une prise de décision rapide et une optimisation des infrastructures hydrauliques. Dans ce contexte, il est essentiel de comprendre les concepts fondamentaux qui sous-tendent leur fonctionnement et leur déploiement.

Ce chapitre présente d'abord l'Internet des Objets, en définissant ses principes, en détaillant ses principaux composants ainsi que son architecture, et en explorant ses applications spécifiques dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Il s'intéresse ensuite à la télégestion des réseaux d'eau, en mettant en lumière ses objectifs, son mode de fonctionnement, les technologies de communication utilisées, ainsi que les enjeux liés à la sécurité des données. Enfin, une partie est consacrée à la supervision et à la gestion en temps réel, en précisant leur rôle stratégique dans l'exploitation efficace des réseaux hydrauliques et en exposant les outils et les méthodes de visualisation associés.

### 2.2 L'IoT et son rôle dans la gestion des réseaux d'eau

Dans cette section, nous présentons l'IoT, son architecture et son rôle dans la gestion des réseaux d'eau.

#### 2.2.1 Définition de l'IoT

L'IoT ou Internet des objets en français fait référence à un réseau d'appareils physiques ("objets") équipés de capteurs, de logiciels et d'autres technologies pour connecter et échanger

des données entre eux ainsi qu'avec d'autres dispositifs et systèmes sur Internet. Ces objets peuvent être aussi variés que des montres intelligentes, des machines industrielles et même des réfrigérateurs.

La figure 2.1 illustre ce concept en représentant un écosystème connecté d'objets intelligents interagissant via le cloud, dans différents contextes domestiques, industriels et urbains.

Cette technologie des objets se développe de plus en plus auprès des utilisateurs particuliers, mais elle s'est historiquement beaucoup étendue au sein des entreprises, et notamment dans le secteur industriel : on parle alors d'IoT pour Industrial Internet of Things, où elle permet d'optimiser la performance des machines grâce à une maintenance industrielle plus précise et préventive et ainsi de faciliter la prise de décision [5].

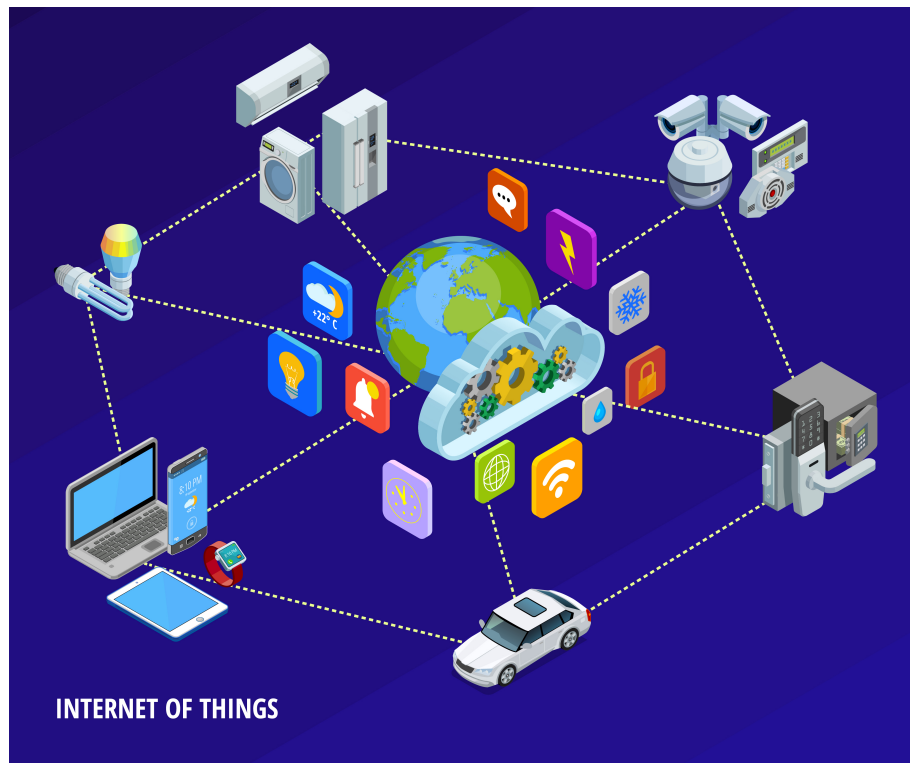


FIG. 2.1 : Internet des objets [6]

## 2.2.2 Composants et architecture d'un système IoT

Un système IoT repose sur une architecture structurée en plusieurs couches et sur un ensemble de composants interconnectés. Ces éléments travaillent ensemble pour permettre la collecte, la transmission, le traitement et l'exploitation intelligente des données.

### 2.2.2.1 Composants d'un système IoT

- **Les capteurs et les dispositifs connectés** : ils collectent des données et les transmettent sur le réseau.

La figure 2.2 présente quelques exemples typiques de dispositifs utilisés dans un système

IoT, tels que des capteurs, des caméras, des modules d'alarme, des lecteurs de badges et des interfaces de supervision.



FIG. 2.2 : Exemple de capteurs [7]

- **Les passerelles** : elles recueillent les données envoyées par les dispositifs connectés et assurent la transmission vers les systèmes de traitement.
- **Les applications cloud** : Ce sont des applications qui sont hébergées sur des serveurs dans le cloud, elles stockent et analysent les données transmises par les passerelles. Elles permettent de rendre compréhensibles pour les utilisateurs les données traitées et compilées par le réseau IoT [8].
- **Applications utilisateur** : Accessibles via des interfaces web ou mobiles, elles permettent aux opérateurs ou gestionnaires de suivre en temps réel l'état du réseau d'eau, de recevoir des alertes ou de déclencher des actions à distance.

### 2.2.2.2 Architecture en couches

L'architecture de l'IoT peut être structurée en couches comme c'est illustré dans la figure 2.3 :

- **Couche de perception** : La couche de perception interagit avec l'environnement physique pour recueillir des données brutes. Les dispositifs connectés à l'IoT tels que les capteurs et les caméras recueillent passivement des informations et des images qui seront communiquées via la couche de transport (p. ex., la couche réseau), tandis que les actionneurs indiquent aux appareils d'effectuer des tâches en fonction des données des capteurs ou des commandes supplémentaires dans les systèmes IoT. (Les actionneurs sont des dispositifs matériels qui convertissent l'énergie en mouvement).
- **Couche de transport** : La couche de transport, parfois appelée couche réseau, est responsable du flux et du transfert des données entre les capteurs de la couche de perception et la couche de traitement à travers divers réseaux (p. ex., transfert de données entre les appareils IoT et les systèmes dorsaux utilisant le WiFi, le Bluetooth, etc.).
- **Couche de traitement** : La couche de traitement des données, parfois appelée couche middleware, stocke, analyse et prétraite les données provenant de la couche de transport. Cela comprend des activités telles que l'agrégation de données, la traduction de protocoles et l'application de mesures de sécurité aux données prêtes pour la couche d'application. En outre, les courtiers de messages, les plates-formes IoT et les nœuds d'informatique de périphérie peuvent également être inclus dans cette couche.
- **Couche d'application** : La couche d'application contient des applications logicielles qui utilisent les données traitées et recueillies dans la couche de perception pour effectuer des tâches ou obtenir des informations grâce à l'analyse avancée. Les bases de données, les entrepôts de données et les lacs de données sont tous inclus dans la couche d'application.
- **Couche métier** : La couche métier est considérée comme étant la couche d'architecture IoT la plus couramment rencontrée puisqu'elle implique des interfaces utilisateur, des tableaux de bord et des outils de visualisation de données que la plupart des gens d'affaires sont habitués à utiliser quotidiennement. C'est dans la couche métier que toutes les données collectées et traitées créent de la valeur en fournissant des informations et alimentant les décisions commerciales [9].

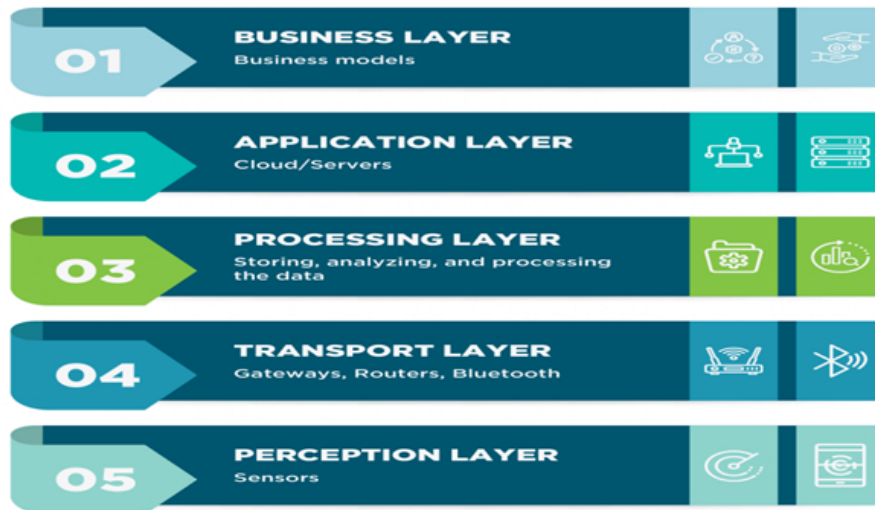


FIG. 2.3 : Architecture IoT à cinq couches [10]

## 2.2.3 Applications de l’IoT dans la gestion des infrastructures hydrauliques

Les infrastructures hydrauliques, essentielles pour assurer l’approvisionnement en eau potable, l’assainissement et l’irrigation, sont aujourd’hui confrontées à des problématiques critiques, telles que le vieillissement des réseaux, les pertes en eau liées aux fuites pouvant atteindre jusqu’à 30 % du volume distribué selon la banque mondiale, ainsi que l’aggravation du stress hydrique en raison des effets du changement climatique. Face à ces enjeux, l’IoT s’impose comme une technologie disruptive, offrant des perspectives innovantes pour la modernisation et la numérisation des systèmes de gestion de l’eau. En mobilisant un réseau de capteurs intelligents, de dispositifs embarqués et de plateformes de traitement de données, l’IoT permet la collecte, l’analyse et l’exploitation en temps réel d’informations critiques sur l’état des infrastructures hydrauliques. Cette approche favorise une gestion proactive, prédictive et optimisée des ressources. La présente section examine les principales applications de l’IoT dans ce domaine.

### 2.2.3.1 Détection de fuites en temps réel (Projet de Barcelone)

Dès 2011, la ville de Barcelone a mis en place Sentilo, une couche de capteurs open source, reliée à City OS, une plateforme pour collecter, analyser et diffuser les données (via open data). Ce système détecte automatiquement les anomalies (fuites, débits anormaux, zones de surconsommation) et permet une réaction immédiate, réduisant les pertes et optimisant le réseau [11].

### 2.2.3.2 Gestion intelligente de l’irrigation (Agriculture de précision en Californie)

En Californie, plusieurs exploitations agricoles utilisent des capteurs d’humidité du sol couplés à des vannes contrôlées automatiquement par des dispositifs IoT. Ces systèmes intelligents

permettent d'optimiser l'arrosage en fonction des besoins réels des cultures, avec des économies d'eau pouvant atteindre 40 % [12].

### **2.2.3.3 WaterWiSe à Singapour : surveillance intelligente de l'eau**

Le projet WaterWiSe à Singapour met en œuvre un réseau intelligent de capteurs pour surveiller en temps réel la pression et la qualité de l'eau dans le réseau de distribution. Grâce à une plateforme logicielle dédiée, les anomalies comme les fuites, les ruptures ou les changements de débit sont détectées instantanément, permettant une gestion proactive et optimisée du réseau. Cette approche illustre une transition vers une gestion urbaine intelligente de l'eau [13].

## **2.3 Télégestion des réseaux d'eau**

### **2.3.1 Définition et objectifs de la télégestion**

La télégestion est une technologie qui permet de gérer, superviser ou contrôler des équipements ou infrastructures depuis un emplacement centralisé. Elle s'appuie sur des dispositifs aptes à rassembler des informations depuis un lieu A (local ou éloigné) et à les acheminer vers un lieu B (centre de contrôle) par le biais de réseaux électroniques, informatiques et de télécommunications.

Par exemple, la télégestion permet d'autoriser le stockage de données sur un serveur central à partir d'un capteur ou d'un dispositif connecté, ou encore la gestion à distance d'un équipement (telle qu'une pompe ou une vanne) via une interface logicielle ou un téléphone intelligent.

La figure 2.4 illustre un poste de supervision typique dans lequel les données collectées sont analysées et visualisées en temps réel par un opérateur via une interface multi-écrans.

La télégestion trouve son application dans divers secteurs professionnels comme la maintenance industrielle, la gestion de l'énergie, les réseaux d'eau ou encore les services destinés aux individus.

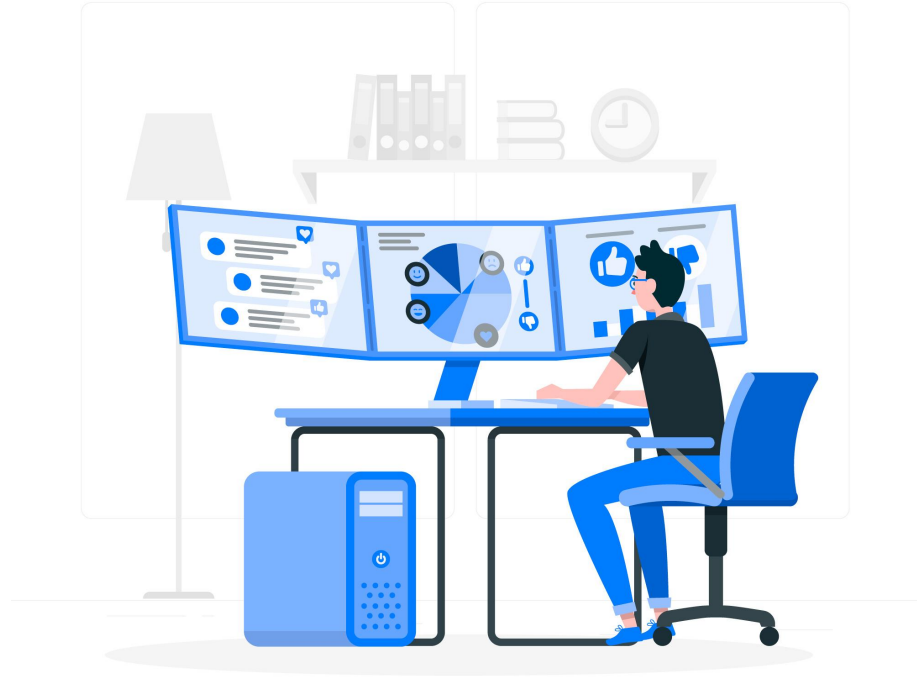


FIG. 2.4 : Surveillance des Données en Temps Réel [14]

### 2.3.2 Principes de fonctionnement d'un système de télégestion

Comme nous l'avons déjà mentionné, la télégestion est un terme utilisé pour désigner des systèmes centralisés conçus pour contrôler et surveiller l'ensemble d'un site industriel ou des équipements complexes répartis sur de vastes zones. Presque toutes les actions de contrôle sont réalisées automatiquement par des PLC ou des unités terminales distantes (RTU).

Prenons l'exemple d'un processus industriel d'approvisionnement en eau : le PLC peut, dans ce cas, contrôler le débit d'eau de refroidissement et le système de télégestion peut enregistrer et afficher tous les changements liés aux conditions d'alarme en cas de variations ou de perte de débit, d'une élévation importante de la température, etc.

Les données sont collectées au niveau d'une interface de programmation applicative ou d'une RTU. Elles incluent les rapports d'état des équipements surveillés ainsi que les relevés de compteurs. Elles seront alors formatées de façon à ce que l'opérateur de la salle de commande puisse prendre les mesures nécessaires pour ajouter ou outrepasser les commandes normales du PLC (ou de la RTU), en utilisant une interface homme-machine (IHM). Ainsi, la RTU peut se connecter à l'équipement physique et convertir tous les signaux électriques provenant de cet équipement en valeurs numériques, telles que l'état ouvert ou fermé d'une vanne ou d'un commutateur, les mesures de débit ou de pression, la tension du courant, etc. De cette manière, la RTU peut

contrôler automatiquement l'équipement ou permettre à un opérateur de le faire, par exemple en fermant ou en ouvrant une vanne ou un interrupteur, ou en réglant la vitesse de la pompe.

### 2.3.3 Technologies et protocoles de communication utilisés en télégestion

La télégestion des réseaux d'eau repose sur l'utilisation de technologies et de protocoles de communication avancés pour garantir une gestion à distance efficace, fiable et sécurisée des infrastructures. Ces technologies permettent non seulement la surveillance des paramètres en temps réel, mais aussi l'intervention à distance sur les équipements pour optimiser le fonctionnement du réseau. Voici un aperçu des principales technologies et protocoles utilisés dans ce contexte :

1. **Modbus** : Le Modbus est l'un des protocoles les plus utilisés pour la communication entre les appareils de terrain (capteurs, vannes, compteurs) et les systèmes de supervision. Ce protocole de communication série (RS-485, RS-232). Il permet de collecter des données telles que la pression, le débit, et la température, et d'envoyer des commandes aux équipements à distance (comme l'ouverture ou la fermeture de vannes) [15].
2. **Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)** : Le protocole MQTT est un protocole léger de messagerie, spécialement adapté aux environnements de télégestion où les réseaux peuvent être intermittents et de faible bande passante. Il est utilisé principalement pour la collecte et la transmission de données en temps réel. MQTT permet de créer des communications bidirectionnelles entre les dispositifs IoT et le système de supervision, tout en optimisant la consommation énergétique et la bande passante. Il est particulièrement utilisé pour la surveillance de capteurs à distance [16].
3. **IPsec** : Le protocole IPsec est un ensemble de protocoles qui sécurise les échanges de données sur les réseaux IP. Il permet de garantir la confidentialité et l'intégrité des communications entre les équipements de terrain (comme les stations de pompage) et les serveurs de supervision en chiffrant les données et en authentifiant les échanges. Cela est crucial dans la télégestion, où les données sensibles, telles que les niveaux d'eau ou les températures des réservoirs, doivent être protégées contre les cyberattaques [17].
4. **Transport Layer Security/Secure Sockets Layer (TLS/SSL)** : Le protocole TLS/SSL est utilisé pour sécuriser les communications sur Internet, notamment dans les systèmes de supervision des réseaux d'eau qui utilisent des interfaces web pour la gestion et la surveillance. Ce protocole chiffre les données échangées via des connexions HTTP (HTTPS), garantissant ainsi la sécurité des informations transmises entre les dispositifs distants et les interfaces de supervision [18].
5. **Virtual Private Network (VPN)** : Les réseaux VPN sont utilisés pour créer des tunnels sécurisés entre les sites distants (stations de traitement, postes de pompage, etc.) et le centre de supervision. En chiffrant les échanges, les VPN assurent une communication

sécurisée, même sur des réseaux publics comme Internet. Ils sont particulièrement utiles pour les connexions à distance et pour garantir la confidentialité des informations échangées [19].

6. **Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)** : Le protocole LoRaWAN est une technologie de communication sans fil adaptée aux réseaux IoT et aux environnements ruraux où la couverture mobile est limitée. Elle est utilisée dans la télégestion des réseaux d'eau pour la communication à longue portée avec des capteurs et des dispositifs sur le terrain, notamment pour la mesure de niveaux d'eau, de pression ou pour la gestion des fuites [20].

## **2.3.4 Sécurité et protection des données dans les systèmes de télégestion**

### **2.3.4.1 Chiffrement des communications**

Les données échangées entre les équipements et les serveurs de supervision doivent être chiffrées pour éviter toute interception. Les solutions couramment utilisées incluent IPsec, pour le chiffrement des données au niveau réseau, TLS/SSL, pour sécuriser les échanges sur des protocoles comme HTTP (HTTPS), et VPN pour créer un tunnel chiffré entre les sites distants et le centre de supervision.:

### **2.3.4.2 Authentification et contrôle d'accès**

Avant d'autoriser l'accès aux systèmes, il est important de vérifier l'identité de l'utilisateur ou de l'équipement. Cela peut être effectué grâce à l'utilisation de mots de passe forts ou de certificats numériques, un contrôle d'accès basé sur les rôles "Role-Based Access Control (RBAC)", où chaque utilisateur dispose de droits spécifiques selon sa fonction, et la double authentification (2FA) pour renforcer la sécurité.

### **2.3.4.3 Intégrité des données**

Il est crucial de s'assurer que les données transmises n'ont pas été altérées. Cela peut être garanti par l'utilisation de signatures numériques et de hachage (SHA-256, etc.) des messages pour détecter toute modification.

### **2.3.4.4 Détection des intrusions et journalisation**

Des pare-feux et des systèmes de détection d'intrusion (IDS) permettent d'identifier les tentatives d'accès non autorisées. De plus, les logs de sécurité doivent enregistrer toutes les actions pour audit et analyse.

### 2.3.4.5 Mise à jour et durcissement des systèmes

Les systèmes doivent être régulièrement mis à jour pour corriger les vulnérabilités. Il est également nécessaire de durcir les équipements, par exemple, en désactivant les ports inutiles et en filtrant les adresses IP.

### 2.3.4.6 Sécurité physique

Dans un système de télégestion, les équipements peuvent être installés dans des lieux isolés (stations de pompage, postes électriques, etc.). Il est donc essentiel de limiter l'accès physique aux dispositifs et d'installer des systèmes d'alarme ou de vidéosurveillance.

## 2.4 Supervision et gestion en temps réel des réseaux d'eau

La supervision des réseaux d'eau désigne l'ensemble des systèmes, technologies et procédures utilisés pour surveiller, contrôler et optimiser en temps réel le fonctionnement des infrastructures liées à la distribution de l'eau potable ou au traitement des eaux usées. Elle permet notamment de :

- suivre les débits, pressions et niveaux dans les canalisations et réservoirs,
- détecter rapidement les anomalies (fuites, pannes, surconsommation...),
- piloter à distance les équipements (vannes, pompes, stations de traitement...),
- optimiser la performance et la sécurité du réseau.

### 2.4.1 Importance de la supervision des réseaux d'eau

La supervision des réseaux d'eau est un élément essentiel de la gestion durable des ressources en eau. Elle permet de répondre à des enjeux environnementaux et économiques actuels à savoir :

1. **Garantir la qualité et la continuité du service** : Grâce à une surveillance continue, la supervision des réseaux d'eau permet d'assurer que l'eau qui arrive aux consommateurs est potable, en bonne qualité et distribuée sans interruption. En cas de contamination ou d'incident, les systèmes de supervision permettent une réaction rapide, ce qui est crucial pour la sécurité publique.
2. **Détection précoce des anomalies et des fuites** : Les capteurs et les systèmes de supervision en temps réel permettent de détecter rapidement les fuites ou les anomalies dans le réseau, comme les baisses de pression ou les défaillances des pompes. Cela permet une intervention préventive avant que le problème ne s'aggrave, limitant ainsi les pertes d'eau et réduisant les coûts de maintenance.

3. **Optimisation des ressources** : La supervision permet d'optimiser l'utilisation des ressources en eau en ajustant le débit et la pression dans les canalisations en fonction des besoins réels. Cela réduit non seulement la consommation d'eau, mais aussi les coûts liés à l'énergie et à la gestion du réseau. Ce suivi permet également une gestion proactive des équipements, réduisant ainsi les risques de panne.
4. **Gestion proactive des équipements** : L'automatisation via des automates programmables et des systèmes de supervision permet de piloter à distance les équipements du réseau. Cela réduit les déplacements physiques des techniciens et améliore l'efficacité du système, tout en réduisant les risques de défaillance humaine.
5. **Prévention des risques environnementaux** : Les réseaux d'eau peuvent entraîner des dégâts environnementaux importants en cas de fuites majeures ou de mauvaises pratiques de gestion. La supervision permet de surveiller constamment les réservoirs et les stations de traitement pour éviter la pollution de l'environnement et garantir la conformité aux normes sanitaires.
6. **Réduction des coûts opérationnels** : Une supervision efficace réduit les coûts de maintenance, car elle permet de détecter les problèmes à un stade précoce et d'éviter les interventions coûteuses sur le terrain. En optimisant l'usage des ressources, elle permet également de réduire les coûts liés à la consommation énergétique du réseau.
7. **Conformité aux réglementations** : Les systèmes de supervision aident les opérateurs à respecter les réglementations environnementales et sanitaires, telles que les normes de qualité de l'eau et de gestion des ressources. La traçabilité des données collectées permet aussi de prouver la conformité lors des audits ou inspections.
8. **Amélioration de la gestion des crises** : En cas de crise (ex. : fuite majeure, panne de traitement, ou contamination), la supervision permet une réaction rapide. Elle facilite la coordination entre les différentes parties prenantes et réduit ainsi l'impact sur les usagers, permettant une récupération plus rapide du service normal.

## 2.4.2 Outils de visualisation des données en temps réel

### 2.4.2.1 SCADA

Les systèmes SCADA sont largement utilisés dans la gestion des réseaux d'eau. Ils collectent les données provenant de différents capteurs (débit, pression, qualité de l'eau, etc.) et permettent une visualisation en temps réel sur des interfaces graphiques. SCADA inclut souvent des fonctionnalités pour :

- Suivre en temps réel l'état des équipements.
- Gérer les alarmes et notifications en cas de problème.

- Piloter à distance les équipements (vannes, pompes, réservoirs).
- Analyser les données historiques pour optimiser les performances du réseau.

Exemples de logiciels SCADA populaires :

- Wonderware,
- Siemens WinCC,
- Schneider Electric Vijeo Citect.

### 2.4.2.2 Dashboards (Tableaux de bord)

Les tableaux de bord (ou Dashboards) sont des interfaces graphiques permettant de visualiser les données collectées en temps réel sous forme de graphes, cartes, tableaux, etc. Ces outils sont souvent utilisés pour une gestion centralisée du réseau.

La figure 2.5 illustre un exemple d'interface de supervision affichant des indicateurs visuels pour faciliter l'analyse des données en temps réel.

Ils permettent de :

- Visualiser les données clés telles que la pression, le débit, la consommation d'eau,
- Suivre les tendances pour détecter des comportements anormaux,
- Intégrer des cartes interactives pour afficher la position géographique des équipements,

Des outils comme Power BI, Grafana, ou Tableau sont fréquemment utilisés dans ce contexte, notamment pour leurs capacités de connecter plusieurs sources de données et de créer des visualisations personnalisées.



FIG. 2.5 : Tableau de bord [21]

### 2.4.2.3 Logiciels GIS (Systèmes d'Information Géographique)

Les logiciels GIS permettent de visualiser des données géographiques en temps réel et d'afficher des informations détaillées sur la topographie et l'état des infrastructures du réseau d'eau. Ces systèmes sont souvent intégrés aux systèmes SCADA pour offrir une vue géospatiale complète du réseau.

La figure 2.6 présente un exemple d'interface de type GIS, utilisée pour la localisation et le suivi d'équipements via des données cartographiques.

- Arc Geographic Information System (ArcGIS) : Il permet une gestion géospatiale avancée des réseaux d'eau,
- Quantum Geographical Information System (QGIS) : C'est un logiciel open source permettant de superposer des données géographiques et des mesures techniques.

Ces outils permettent de localiser rapidement des pannes ou des fuites et de planifier des interventions sur le terrain.



FIG. 2.6 : Logiciel de navigation GPS[22]

#### 2.4.2.4 Plateformes Cloud et IoT

Les solutions basées sur le Cloud et l'IoT permettent une collecte en temps réel des données provenant de nombreux capteurs déployés sur le réseau (station de traitement, réservoirs, canalisations, etc.). Ces données sont ensuite envoyées vers une plateforme centralisée accessible depuis n'importe quel appareil connecté, facilitant ainsi la surveillance à distance.

La figure 2.7 illustre une architecture typique basée sur le cloud, intégrant différents objets connectés et services en ligne.

On peut citer comme exemples de plateformes IoT : IBM Watson IoT, Azure IoT, Thing-Speak.



FIG. 2.7 : Infrastructure cloud computing [23]

#### 2.4.3 Lien entre supervision et télégestion

Le lien entre la supervision et la télégestion réside dans leur complémentarité. La supervision permet de surveiller en temps réel les performances du réseau d'eau, tandis que la télégestion va plus loin en offrant la possibilité d'intervenir à distance sur les équipements, afin de résoudre les problèmes identifiés. La supervision génère des données en temps réel, telles que la pression dans une conduite ou la température d'un réservoir, qui sont cruciales pour le bon fonctionnement de la télégestion. Ces données permettent à l'opérateur de prendre des décisions basées sur des informations précises, comme l'ajustement des paramètres du réseau, par exemple en ouvrant ou fermant une vanne à distance. La télégestion repose donc sur des systèmes de supervision pour collecter les informations essentielles, tandis que la supervision s'appuie sur la télégestion pour

agir directement sur le réseau en temps réel et résoudre des problèmes tels que des fuites ou des niveaux d'eau anormaux. Par exemple, si un réservoir affiche une pression anormale grâce à un système de supervision SCADA, l'opérateur reçoit une alerte sur son tableau de bord. À l'aide de la télégestion, l'opérateur peut ajuster les vannes ou activer une pompe à distance pour rééquilibrer la pression, sans avoir à se rendre physiquement sur site.

## 2.5 Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les concepts essentiels liés à l'Internet des Objets, à la télégestion ainsi qu'à la supervision en temps réel des réseaux d'eau. L'analyse de ces technologies a mis en évidence leur rôle central dans l'évolution des infrastructures hydrauliques vers des systèmes plus intelligents, automatisés et sécurisés.

La compréhension de ces concepts fondamentaux constitue un préalable indispensable à la conception d'une solution innovante, répondant aux exigences d'efficacité, de fiabilité et de durabilité dans la gestion des réseaux d'eau.

## CHAPITRE 3

# SOLUTION DE TÉLÉGESTION PROPOSÉE (WATER-NETWORK)

### 3.1 Introduction

Après avoir exposé le contexte général et les fondements théoriques liés à la gestion des réseaux d'eau, ce chapitre présente la conception ainsi que la solution que nous proposons pour la supervision et la télégestion d'un réseau hydraulique. Contrairement aux solutions traditionnelles basées sur des automates ou des systèmes SCADA propriétaires, notre solution repose sur l'intégration des technologies de l'IoT avec des outils logiciels open-source, permettant de superviser le réseau en temps réel, d'analyser les données collectées et d'interagir avec les différents composants du système de manière simple et efficace.

Dans le cadre de notre projet, une solution complète a été développée, incluant la création d'un outil dédié sous la forme d'un package personnalisé pour Node-RED, appelé "*Water network*" ainsi que la mise en place d'une interface utilisateur interactive permettant la visualisation et le pilotage en temps réel du réseau.

### 3.2 Solution proposée (Water network)

Dans cette section, nous présentons les objectifs de la solution proposée, qui consiste à développer un package appelé "Water network" et l'architecture de cette solution.

#### 3.2.1 Objectifs de la solution proposée

Notre solution vise à développer un package nommé Water Network, basé sur la plateforme Node-RED. Ce package a pour but de faciliter la supervision et le contrôle des réseaux d'eau, en s'inspirant de nœuds existants et en les adaptant aux spécificités du domaine hydraulique.

L'objectif principal de cette solution est de mettre en place un environnement intégré et accessible, permettant de concevoir et de déployer des systèmes SCADA simplifiés. Cette solution agit comme une boîte à outils spécialisée, facilitant le travail des ingénieurs dans la création de solutions adaptées à leurs besoins concrets.

Le package regroupe ainsi plusieurs nœuds personnalisés :

- **Node-red-dashboard** : pour la création d'interfaces web conviviales, accessibles via un navigateur, permettant de consulter en temps réel les états des équipements, de visualiser les mesures (pression, débit, niveau, etc.) et d'interagir avec le système via des commandes (boutons, curseurs, indicateurs).
- **Node-red-contrib-ui-svg** : pour la représentation graphique personnalisée des réseaux d'eau sous forme de plans ou de schémas animés (canalisations, pompes, vannes, réservoirs, etc.), avec prise en charge de l'interactivité et des animations (clignotement, couleur dynamique, états visuels).
- **Node-red-contrib-modbus** : pour la communication avec les équipements industriels utilisant le protocole Modbus (notamment RTU ou TCP), largement utilisé dans les automates programmables, capteurs et actionneurs présents dans les systèmes hydrauliques.
- **Node-red-contrib-mqtt** : pour l'intégration de dispositifs IoT et la communication distante avec des passerelles ou des plateformes cloud à l'aide du protocole MQTT, reconnu pour sa légèreté et son efficacité.
- **Node-red-node-mysql** : pour la persistance des données, permettant d'enregistrer dans une base "My Structured Query Language (MySQL)" les mesures, alarmes, événements ou états du réseau afin de pouvoir effectuer des analyses historiques, des suivis de performance, ou des rapports automatisés.

Les objectifs spécifiques peuvent être résumés en quelques points :

- Proposer une solution clé en main qui regroupe tous les outils nécessaires pour superviser un réseau d'eau. L'idée est de réduire le temps de développement et de simplifier la mise en place pour les utilisateurs finaux.
- Rendre l'affichage du réseau simple et clair, avec des interfaces SVG dynamiques qui montrent bien l'état du réseau et son évolution. Ces interfaces vont aussi refléter la configuration du terrain, ce qui aide à mieux comprendre comment tout fonctionne.
- Permettre de surveiller le réseau à distance et en temps réel. On combine la stabilité de Modbus pour les équipements locaux et la flexibilité de MQTT pour les objets connectés ou les interfaces cloud.
- Stocker les données de manière organisée en intégrant une base MySQL. Cela permettra de suivre l'historique des données, de faire des analyses et d'améliorer continuellement le système de supervision.

- Rendre la solution accessible à tout le monde, que ce soit pour les collectivités, les petites entreprises, les fermes ou les industries. Le tout avec une approche low-code qui facilite l'utilisation, sans avoir besoin de se plonger dans du code compliqué.

### 3.2.2 Architecture générale de la solution proposée

L'architecture proposée s'articule autour d'une approche modulaire intégrant la collecte, la transmission, le traitement et la visualisation des données. Elle repose sur une chaîne fonctionnelle reliant les équipements terrain à l'interface utilisateur, assurant ainsi le suivi en temps réel du réseau et le contrôle à distance des équipements. La Figure 3.1 représente le schéma général de cette architecture.

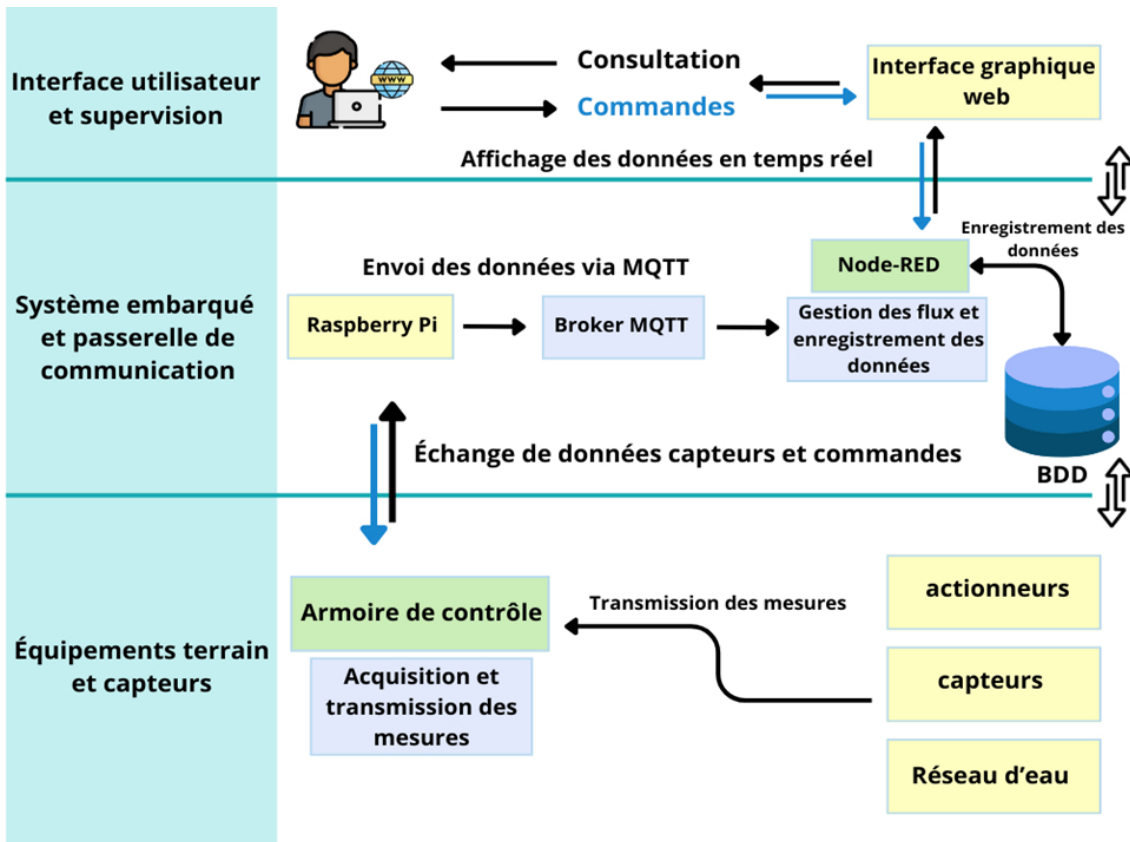


FIG. 3.1 : Architecture générale de la solution proposée

### 3.3 Technologies et moyens mis en oeuvre

Dans cette section, nous présentons les technologies et les outils mis en oeuvre pour le développement de la solution "Water network".

### 3.3.1 Protocoles et technologies de communication

Plusieurs protocoles de communication standards ont été mobilisés afin d’assurer une interconnexion fluide et efficace entre les différents composants du système.

#### 3.3.1.1 Le protocole MQTT

Le protocole MQTT est un protocole léger de messagerie est particulièrement adapté aux applications IoT où les ressources sont limitées et les communications doivent être rapides et peu gourmandes en bande passante. Dans notre projet, MQTT est utilisé pour assurer la communication bidirectionnelle entre les capteurs de niveau et de pression, les actionneurs (comme les pompes et les vannes), et le Raspberry Pi agissant comme passerelle centrale. Fonctionnant selon un modèle publish/subscribe, il permet aux capteurs de publier leurs données sur des topics spécifiques, tandis que le Raspberry Pi ou tout autre composant peut s’abonner à ces topics pour recevoir instantanément les mises à jour [24]. Cette architecture favorise la réactivité du système, permet une supervision en temps réel, et facilite l’ajout ultérieur de nouveaux équipements ou fonctionnalités sans modifier l’ensemble de l’infrastructure.

#### 3.3.1.2 Le protocole TCP/IP

Le protocole "Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP)" constitue la base des communications sur les réseaux informatiques modernes. Dans notre solution, il est utilisé pour interconnecter l’ensemble des composants du système localement, notamment le Raspberry Pi, l’ordinateur de supervision, et les éventuels serveurs de base de données. TCP/IP garantit la fiabilité des transmissions en assurant la livraison ordonnée et complète des paquets de données [25]. Grâce à lui, les flux MQTT peuvent circuler correctement sur le réseau local, et les services web, tels que le dashboard Node-RED, peuvent être consultés depuis n’importe quel appareil connecté au même réseau. Ce protocole est également indispensable si l’on envisage une extension future vers un déploiement à distance ou une intégration dans un cloud privé.

#### 3.3.1.3 Le protocole HTTP

HyperText Transfer Protocol (HTTP) est le protocole de communication standard utilisé pour la transmission des données sur le Web. Dans notre projet, il est utilisé pour accéder à l’interface de supervision développée avec Node-RED. Le tableau de bord, accessible via une URL HTTP (par exemple `http://localhost:1880/ui`), permet aux utilisateurs de visualiser en temps réel l’état du réseau hydraulique, les données issues des capteurs, ainsi que de contrôler à distance les équipements via une interface intuitive. HTTP facilite ainsi l’interaction entre l’utilisateur final et le système sans nécessiter l’installation d’un logiciel spécifique : un simple navigateur web suffit. Ce protocole contribue ainsi à garantir la simplicité d’accès au système et une compatibilité multiplateforme, des atouts essentiels pour une solution moderne et accessible [26].

### 3.3.1.4 Le protocole SSH

Secure Shell (SSH) [27] est un protocole de communication sécurisé permettant d'accéder à distance à des systèmes informatiques via un réseau non sécurisé. Dans le cadre de notre projet, SSH assure une administration distante sécurisée du Raspberry Pi, qui agit comme passerelle centrale du réseau hydraulique. Grâce à SSH, les développeurs et les administrateurs peuvent se connecter au terminal du Raspberry Pi, effectuer des mises à jour, déployer de nouveaux scripts ou surveiller les processus en temps réel, sans avoir besoin d'un accès physique à l'appareil. Ce protocole repose sur une authentification par mot de passe ou par clé publique/privée, garantissant ainsi la confidentialité et l'intégrité des échanges.

## 3.3.2 Outils matériels utilisés

Pour réaliser le prototype du réseau d'eau, un ensemble d'outils matériels a été sélectionné afin de permettre le fonctionnement complet et fiable du système.

### 3.3.2.1 Raspberry Pi 4

Le Raspberry Pi 4 Model B est un nano-ordinateur monocarte conçu pour un large éventail d'applications, de la formation au prototypage électronique. Il présente les caractéristiques suivantes [28] :

- Il est équipé d'un processeur Broadcom BCM2711, quad-core Cortex-A72 (ARM v8) 64 bits cadencé à 1,5 GHz.
- Sa mémoire vive varie entre 1 Go, 2 Go, 4 Go ou 8 Go de LPDDR4-3200 SDRAM, selon le modèle choisi.
- Pour la connectivité sans fil, il dispose du Wi-Fi 5 (dual-band 2,4 GHz et 5,0 GHz) et du Bluetooth 5.0.
- Il est doté de 2 ports USB 3.0 et de 2 ports USB 2.0.
- Le port Ethernet Gigabit permet une connexion réseau rapide.
- Il offre deux sorties micro HDMI, pouvant supporter des résolutions jusqu'à 4Kp60, ainsi qu'une sortie audio stéréo 3,5 mm et une sortie composite vidéo [29].
- Le stockage se fait par carte microSD, ce qui permet de stocker le système d'exploitation et les données.
- L'alimentation se fait par un port USB-C (5V/3A minimum), mais peut également être réalisée via GPIO.
- Il dispose de 40 broches GPIO compatibles avec les versions précédentes.
- Ses dimensions sont de  $88\text{ mm} \times 58\text{ mm} \times 19,5\text{ mm}$ , et son poids est de 46 g [29].

La Figure 3.2 illustre une architecture générale d'un Raspberry Pi 4 Model B avec ses différents composants.

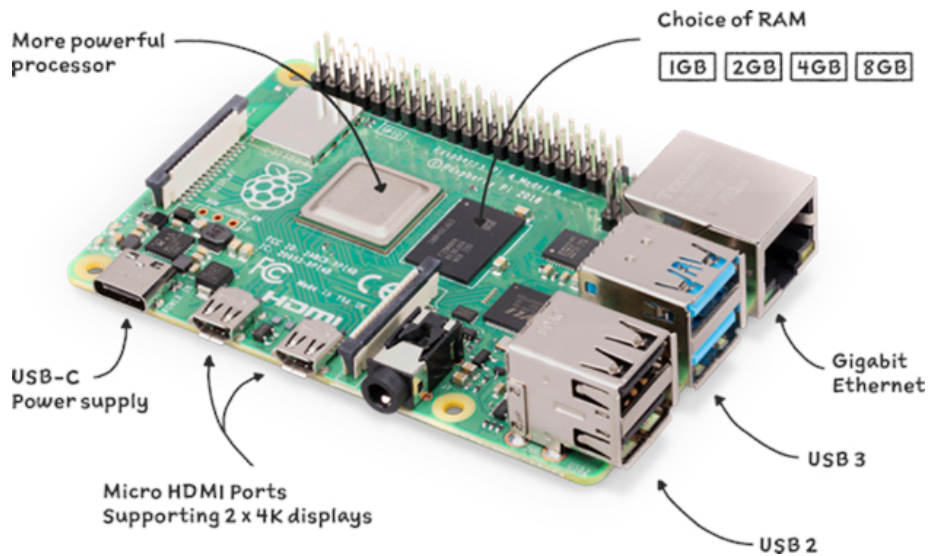


FIG. 3.2 : Carte Raspberry Pi 4 [30]

Dans ce projet, le Raspberry Pi 4 Model B est utilisé comme le cœur du système de contrôle, servant de plateforme principale pour le traitement des données et la gestion des communications entre les différents composants.

### 3.3.2.2 Capteurs de niveau d'eau

Le capteur de niveau d'eau est un dispositif permettant de détecter et de mesurer la hauteur d'un liquide dans un réservoir ou une conduite, en s'appuyant sur différentes technologies telles que les ultrasons, la pression ou la conductivité [31]. Il est couramment utilisé dans les systèmes automatisés afin de surveiller le niveau de remplissage et de déclencher des actions comme la fermeture d'une vanne ou l'arrêt d'une pompe lorsque le niveau atteint un seuil prédéfini.

Dans le cadre de ce projet, le capteur de niveau d'eau est utilisé pour surveiller en temps réel le niveau d'eau dans l'ensemble des réservoirs du réseau, permettant ainsi une gestion efficace du remplissage et de la distribution. Les capteurs de niveau d'eau sont connectés avec :

- Sortie analogique ou numérique vers une broche de microcontrôleur.
- "Voltage Continuous Current (VCC)" pour l'alimentation (généralement 5V ou 3.3V).
- "Ground (GND)" pour la connexion à la masse ou au point de référence.

La Figure 3.3 montre un exemple de capteur de niveau d'eau qu'on a utilisé dans le cadre de notre projet de fin d'études.



FIG. 3.3 : Capteur de niveau à ultrasons [32]

### 3.3.2.3 Capteurs de pression

Le capteur de pression est un dispositif utilisé pour mesurer la pression exercée par un fluide (liquide ou gaz) dans un système donné. Il convertit cette pression en un signal électrique exploitable par un système de contrôle [33]. Ce type de capteur est essentiel dans les systèmes automatisés pour détecter les variations de pression et agir en conséquence, comme la régulation de pompes ou l'ouverture de soupapes afin de maintenir des conditions de fonctionnement optimales et sécurisées.

Dans ce projet, le capteur de pression permet de surveiller la pression de l'eau dans les différentes sections du réseau, ce qui facilite la détection d'éventuelles anomalies, telles que des fuites, des obstructions ou des surpressions, et contribue à garantir un fonctionnement stable du système hydraulique.



FIG. 3.4 : Capteur de pression d'eau [34]

Les capteurs de pression sont généralement connectés comme suit :

- Sortie analogique (ou numérique) vers une broche analogique ou numérique d'un micro-contrôleur pour lire la pression.
- VCC pour l'alimentation (généralement 5V ou 3.3V).

- GND pour la connexion à la masse.

### 3.3.2.4 Pompe

La pompe est un dispositif électromécanique conçu pour déplacer un fluide d'un point à un autre en générant une pression suffisante pour vaincre les pertes de charge dans un circuit hydraulique. Son fonctionnement repose sur des principes mécaniques tels que la rotation, l'oscillation ou la translation, qui permettent de créer une différence de pression nécessaire à l'aspiration et au refoulement de l'eau. On distingue plusieurs types de pompes selon leur mode de fonctionnement, parmi lesquelles les pompes centrifuges, volumétriques ou péristaltiques. Elle est largement utilisée dans les réseaux d'eau pour assurer la circulation et la distribution du liquide, notamment dans les systèmes de remplissage de réservoirs ou d'alimentation sous pression [35].

Dans le cadre de ce projet, une pompe est intégrée afin d'assurer le transfert de l'eau entre les différentes composantes du réseau. Son activation est conditionnée par les données fournies par les capteurs, garantissant ainsi une gestion intelligente et efficace de la distribution hydraulique. La pompe sera simulée à l'aide d'une "Light-Emitting Diode (LED)" représentant son état de fonctionnement (ON/OFF). La Figure 3.5 illustre l'exemple de pompe utilisée dans le cadre de notre projet.



FIG. 3.5 : Pompe hydraulique [36]

### 3.3.2.5 Vanne

La vanne est un composant mécanique essentiel dans tout système hydraulique, utilisé pour contrôler l'écoulement d'un fluide à travers un circuit. Elle permet d'ouvrir, de fermer ou de moduler le passage de l'eau dans les différentes sections du réseau, en agissant directement sur la pression ou le débit selon les exigences opérationnelles. Les vannes existent sous plusieurs formes (à boisseau, papillon, à clapet, à bille, etc.) selon la nature du fluide, la pression du système et la précision de régulation souhaitée.

Dans les systèmes modernes et automatisés, les vannes ne sont plus manipulées manuellement mais sont commandées par des dispositifs motorisés. Ces dispositifs permettent d'effectuer des

ouvertures et fermetures partiellement ou totalement, avec une grande précision, et peuvent être intégrés à un système de contrôle intelligent. Cela rend possible le pilotage à distance, la programmation d'actions conditionnées par des données (comme le niveau ou la pression de l'eau), et l'intégration dans des boucles de régulation automatisées.

Dans le cadre de ce projet, les vannes régulent le passage de l'eau entre les réservoirs et les autres éléments du réseau, permettant d'isoler certaines parties du circuit ou d'assurer un remplissage contrôlé.

### 3.3.2.6 Armoire de contrôle

L'armoire de contrôle est un équipement industriel conçu pour héberger et sécuriser les composants électriques et électroniques essentiels d'un système automatisé, incluant les unités de commande, les dispositifs de protection et les interfaces de communication. Fabriquée à partir de matériaux robustes tels que l'acier galvanisé, l'aluminium ou le plastique ABS renforcé, elle garantit une protection optimale contre les contraintes environnementales, notamment l'humidité, les poussières et les agents corrosifs. Installée principalement dans des environnements techniques, tels que les salles de contrôle ou les ateliers industriels, elle allie l'accessibilité pour la maintenance et la résistance aux perturbations externes. Son alimentation électrique, adaptée aux besoins des équipements internes, supporte des tensions variant généralement de 24 V à 230 V, tandis que des dispositifs de sécurité intégrés, des disjoncteurs, et des fusibles et relais de protection assurent une prévention efficace contre les courts-circuits et les surtensions. Par ailleurs, des systèmes de ventilation ou de refroidissement y sont souvent incorporés afin de réguler la température interne et d'assurer la fiabilité opérationnelle des composants sur le long terme [18].

### 3.3.3 Outils logiciels

Dans cette sous-section, nous présentons les outils logiciels qu'on a utilisés pour mettre en oeuvre notre plateforme *"Water network"*.

#### 3.3.3.1 Node-Red

Node-RED est un outil de programmation open-source, permettant de connecter des périphériques matériels, des API et des services en ligne de manière créative et simple. Il s'agit avant tout d'un outil visuel conçu pour l'IoT, mais peut également être utilisé pour d'autres applications afin d'assembler très rapidement des flux de services variés.

Node-RED est assemblé à l'aide de blocs de code logiciel JavaScript, appelés nœuds. Ces nœuds préfabriqués réduisent le risque de développement logiciel et accélèrent la mise sur le marché. Les nœuds sont glissés et déposés visuellement pour rendre le développement d'applications IoT plus simple, plus facile à répéter et plus rapide à l'échelle.

Node-RED fonctionne sur les ordinateurs Windows, Mac et Linux, ainsi que sur les passerelles industrielles et les E/S. Certaines offres d'Advantech, comme le EKI-1241NR, sont livrées avec Node-RED préinstallé, et seront bientôt disponibles dans une série de passerelles IoT compatibles

avec Node-RED. En outre, certains des dispositifs basés sur RISC de la série Moxa US ont également la flexibilité d'installer Node-RED, comme c'est montré dans le livre blanc "*Comment installer Node-RED sur un dispositif Moxa*".

La capacité de mettre ce type de logique sur le bord du réseau permet aux données d'être traitées, reformatées ou triées avant qu'elles ne soient transmises plus loin dans le réseau ou dans le cloud. Cela réduit le trafic qui est envoyé selon une architecture Fog Computing.

Node-RED présente les caractéristiques suivante [37] :

- Il prend en charge l'édition de flux par navigateur, ce qui le rend convivial, accessible et visuel.
- Il est construit sur Node.js, qui est un modèle d'E/S sans blocage et léger, ce qui le rend léger et efficace.
- Les flux créés dans Node-RED sont stockés en utilisant JSON, et peuvent être importés et exportés et partagés avec facilité.
- Il peut être exécuté localement.
- Il peut fonctionner dans des environnements cloud comme Bluemix, MS-Azure, FRED etc.
- La bibliothèque de nœuds est en constante croissance dans Node-RED.
- Il permet de prendre en charge les protocoles MQTT, Modbus, CoAP, AMQP, BLE, OPC UA et même mDNS.
- Il permet également la création de l'interface utilisateur d'une manière simple et interactive.

### 3.3.3.2 Inkscape

Inkscape [38] est un éditeur de graphiques vectoriels gratuit et open-source ; il peut être utilisé pour créer ou modifier des graphiques vectoriels tels que des illustrations, des diagrammes, des arts de ligne, des graphiques, des logos et des peintures complexes. Le format principal des graphiques vectoriels d'Inkscape est "SVG", cependant de nombreux autres formats peuvent être importés et exportés.

Inkscape peut rendre des formes vectorielles primitives (par ex. rectangles, ellipses, polygones, arcs, spirales, étoiles et boîtes 3D) et du texte. Ces objets peuvent être remplis avec des couleurs solides, des motifs, des dégradés de couleur radiaux ou linéaires et leurs bordures peuvent être caressées, les deux avec une transparence réglable. L'intégration et le traçage optionnel de graphiques matriciels sont également pris en charge, ce qui permet à l'éditeur de créer des graphiques vectoriels à partir de photos et d'autres sources matricielles. Les formes créées peuvent être manipulées à l'aide de transformations telles que le déplacement, la rotation, la mise à l'échelle et l'inclinaison.

### 3.3.3.3 PuTTY

PuTTY est un émulateur de terminal gratuit et open-source, une application de transfert de fichiers en réseau et une console série pour les plates-formes Windows. Il nous permet de se connecter à des ordinateurs ou appareils distants en utilisant divers protocoles tels que "SSH", Telnet, login, et plus encore. PuTTY est largement utilisé par les administrateurs système, les ingénieurs réseau et les développeurs pour la gestion et le contrôle des systèmes distants.

PuTTY offre une gamme d'avantages qui en font un choix populaire pour les tâches d'accès à distance et d'administration. D'abord, il est léger et facile à installer, nécessitant peu de ressources du système. En outre, PuTTY prend en charge une large gamme de protocoles, nous permettant de se connecter à divers types de systèmes. Il fournit également des méthodes de cryptage sécurisées, assurant la confidentialité de vos connexions. PuTTY est hautement personnalisable, nous permettant d'adapter l'interface et les paramètres à nos préférences. Enfin, il est open-source, ce qui signifie qu'il est constamment amélioré et mis à jour par une communauté de développeurs [39].

### 3.3.3.4 VNC viewer

Virtual Network Computing (VNC) Viewer [40] est un logiciel qui permet aux utilisateurs d'accéder à distance et de contrôler le bureau d'un autre ordinateur. Il fonctionne en conjonction avec un serveur VNC, qui doit être installé sur l'ordinateur que nous souhaitons contrôler. Une fois le serveur configuré, nous pouvons télécharger VNC Viewer sur notre appareil et se connecter à l'ordinateur distant, ce qui nous permet de voir et d'interagir avec son bureau comme si nous étions assis devant lui.

VNC Viewer prend en charge divers systèmes d'exploitation, y compris Windows, Linux et Mac, ce qui le rend polyvalent pour différents environnements. Il permet également de transmettre les événements du clavier et de la souris de notre appareil à l'ordinateur distant et transmettre les mises à jour graphiques de l'écran à notre appareil sur un réseau.

Cet outil est utile pour des tâches telles que le support technique à distance ou l'accès aux fichiers en déplacement. En outre, VNC Viewer est libre d'utilisation et peut être installé avec ou sans autorisations administratives, selon la plateforme.

### 3.3.3.5 Edraw max

Edraw Max nous permet de créer et publier facilement divers diagrammes d'affaires pour représenter efficacement n'importe quel concept ou idée. L'interface intuitive et les fonctionnalités étendues le rendent accessible aux débutants comme aux professionnels expérimentés. Avec des bibliothèques pré-dessinées et plus de 2000 symboles vectoriels à notre disposition, le processus de diagramming devient incroyablement simple et efficace.

Edraw Max inclut toutes les bibliothèques et exemples de toute la gamme de produits EDRAW, nous assurant d'avoir tous les outils nécessaires à portée de main.

### 3.3.3.6 VsCode

Visual Studio Code (VsCode) est un éditeur de code source développé par Microsoft. Il est gratuit, open-source et disponible sur plusieurs plateformes (Windows, macOS, Linux).

VsCode est conçu pour être léger tout en offrant une riche gamme de fonctionnalités, telles que :

- *Support multi-langages* : Il supporte de nombreux langages de programmation, comme JavaScript, Python, C++, Java, et bien d'autres, grâce à des extensions.
- *Extensions* : VsCode propose une vaste bibliothèque d'extensions pour ajouter des fonctionnalités comme des débogueurs, des linters, des thèmes, et des intégrations avec des outils comme Git, Docker, etc.
- *Débogage intégré* : Il permet de déboguer directement dans l'éditeur avec un support pour de nombreux langages.
- *Contrôle de version intégré* : Il offre une intégration Git pour faciliter le suivi des versions du code.
- *Interface personnalisable* : Il est hautement configurable, permettant aux utilisateurs de personnaliser les raccourcis, les thèmes, et l'apparence de l'interface selon leurs préférences.

### 3.3.3.7 MySQL workbench

MySQL Workbench est un outil visuel unifié pour les architectes de bases de données, les développeurs et les administrateurs de bases de données. MySQL Workbench fournit des outils complets de modélisation de données, de développement SQL et d'administration pour la configuration du serveur, l'administration des utilisateurs, la sauvegarde et bien plus encore. MySQL Workbench est disponible sur Windows, Linux et Mac OS X [41].

### 3.3.3.8 Mosquitto broker

Eclipse Mosquitto est un courtier de messages open-source (sous licence EPL/EDL) qui implémente les versions 5.0, 3.1.1 et 3.1 du protocole MQTT. Mosquitto est léger et peut être utilisé sur tous les appareils, des ordinateurs à carte unique de faible puissance aux serveurs complets.

Le protocole MQTT fournit une méthode légère pour effectuer la messagerie en utilisant un modèle de publication/abonnement. Cela le rend approprié pour la messagerie de l'IoT, par exemple avec des capteurs à faible puissance ou des appareils mobiles tels que les téléphones, les ordinateurs embarqués ou les microcontrôleurs.

Le projet Mosquitto fournit également une bibliothèque C pour la mise en oeuvre des clients MQTT, et les très populaires clients MQTT mosquitto\_pub et mosquitto\_sub de ligne de commande. Mosquitto fait partie de la Fondation Eclipse, et est un projet *"iot.eclipse.org"*, avec son développement piloté par Cedalo [42].

### 3.3.3.9 Github

GitHub est une plate-forme de collaboration et de contrôle des versions en ligne pour les développeurs de logiciels. Microsoft, le plus grand contributeur unique de GitHub, a acquis la plateforme pour 7,5 milliards de dollars en 2018. GitHub, qui est offert par le biais d'un modèle commercial de logiciel en tant que service "Software as a Service (SaaS)", a été lancé en 2008. Il a été fondé sur Git, un système de gestion de code open-source créé par Linus Torvalds pour rendre les logiciels plus rapides.

Git est utilisé pour stocker le code source d'un projet et suivre l'historique complet de toutes les modifications apportées à ce code. Il permet aux développeurs de collaborer plus efficacement sur un projet en fournissant des outils pour gérer les changements potentiellement conflictuels de plusieurs développeurs.

GitHub permet aux développeurs de changer, d'adapter et d'améliorer les logiciels à partir de ses dépôts publics gratuitement dans le cadre de divers plans payants. Chaque dépôt public et privé contient tous les fichiers d'un projet, ainsi que l'historique de révision de chaque fichier. Les dépôts peuvent avoir plusieurs collaborateurs et propriétaires [43].

## 3.4 Fonctionnalités et modélisation UML de "Water network"

Dans cette section, nous présentons les fonctionnalités principales de "Water network" et son modélisation "Unified Modeling Language (UML)" pour illustrer son fonctionnement.

### 3.4.1 Fonctionnalités principales de "Water network"

Le package développé permet la visualisation et le pilotage d'un réseau d'eau simplifié, constituant une solution pédagogique et fonctionnelle pour démontrer les capacités d'une gestion intelligente et centralisée. Il intègre plusieurs fonctionnalités avancées visant à améliorer la supervision, le contrôle et l'analyse des réseaux hydrauliques. Parmi les principales fonctionnalités offertes, on peut citer :

- La surveillance en temps réel de l'état des composants du réseau, tels que les pompes, les vannes ou les capteurs. Cette supervision permet aux opérateurs de visualiser instantanément l'état de fonctionnement de chaque élément (par exemple, une pompe en marche ou une vanne ouverte), ce qui facilite le diagnostic et l'intervention rapide.
- Le contrôle à distance des équipements. Les utilisateurs autorisés peuvent activer ou désactiver à distance les pompes et les vannes, ce qui permet une réaction rapide en cas de dysfonctionnement, sans déplacement sur le terrain.
- La traçabilité des opérations via l'enregistrement automatique dans une base de données. Chaque action effectuée (ouverture ou fermeture d'une vanne, démarrage ou arrêt d'une

pompe, etc.) est historisée, ce qui permet un suivi rigoureux et une analyse a posteriori en cas d'incident.

- Une interface de visualisation interactive basée sur des images SVG. Le réseau est représenté graphiquement à l'aide d'éléments vectoriels cliquables, ce qui facilite la compréhension de l'état global du système.
- La gestion des utilisateurs avec des rôles différenciés. Le système permet la création de comptes avec des droits d'accès personnalisés, afin de restreindre ou d'autoriser certaines opérations selon le profil de l'utilisateur.
- La consultation des statistiques sous forme de graphiques dynamiques. Ces visualisations permettent d'analyser les performances du réseau, telles que les temps de fonctionnement des équipements, les fréquences d'activation ou les périodes de forte consommation.
- L'envoi de notifications via l'application Telegram. Une alerte est automatiquement envoyée aux opérateurs en cas d'événement critique, tel qu'une panne ou un dépassement de seuil, afin d'assurer une réactivité maximale, même à distance.
- Une carte dynamique permettant de localiser les différents sites du réseau supervisé. Chaque site peut être sélectionné pour consulter ses données spécifiques (état des équipements, alertes, etc.), ce qui offre une vue géographique centralisée et facilite la gestion multi-sites.

### 3.4.2 Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation présenté par la Figure 3.6 illustre les principales interactions entre les utilisateurs du système et ses fonctionnalités, en mettant en évidence les services offerts à travers l'interface de supervision.

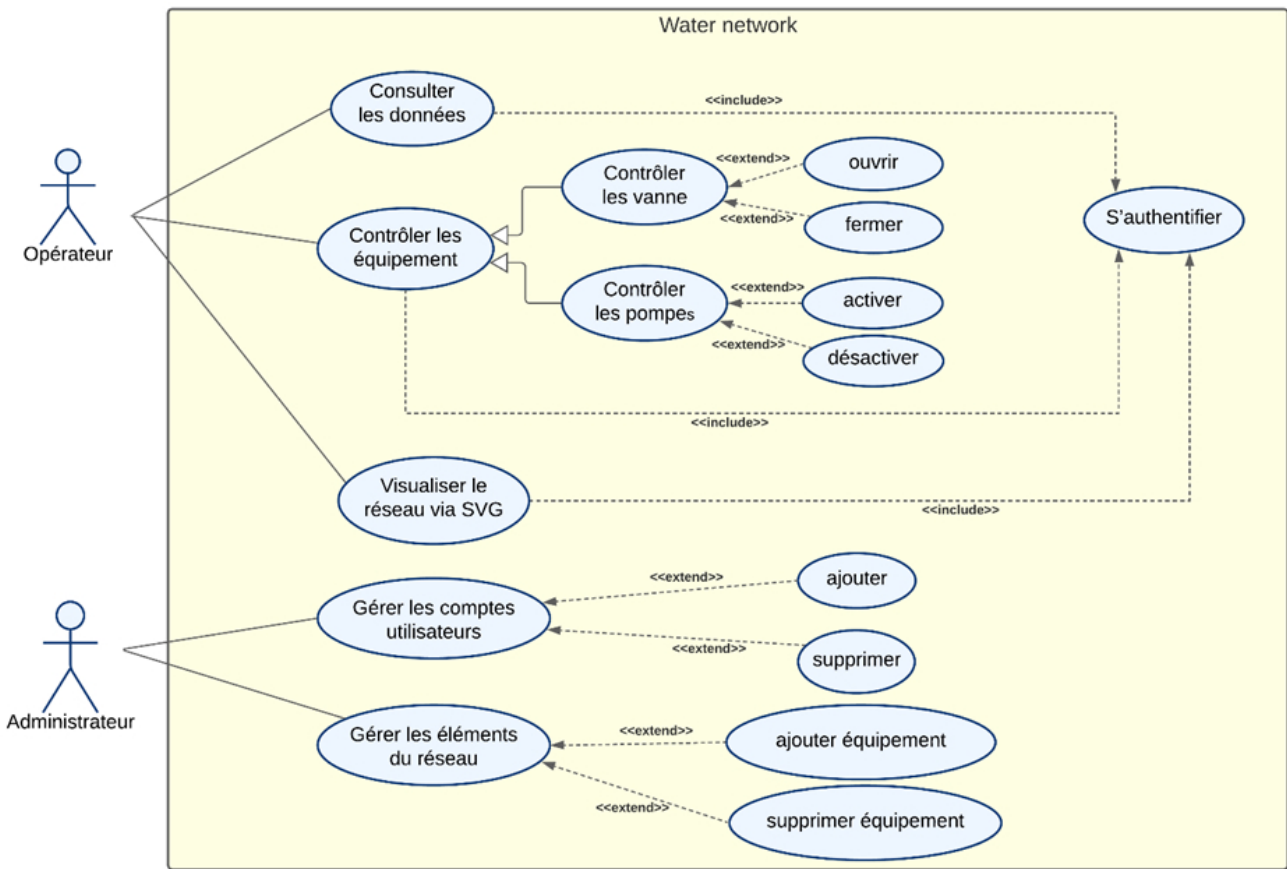


FIG. 3.6 : Diagramme de cas d'utilisation de "Water network"

### 3.4.3 Diagramme de classes

Le diagramme de classes présenté par la Figure 3.7 décrit la structure statique du système de supervision du réseau hydraulique, en modélisant les entités principales, leurs attributs, leurs méthodes, ainsi que les relations entre elles.

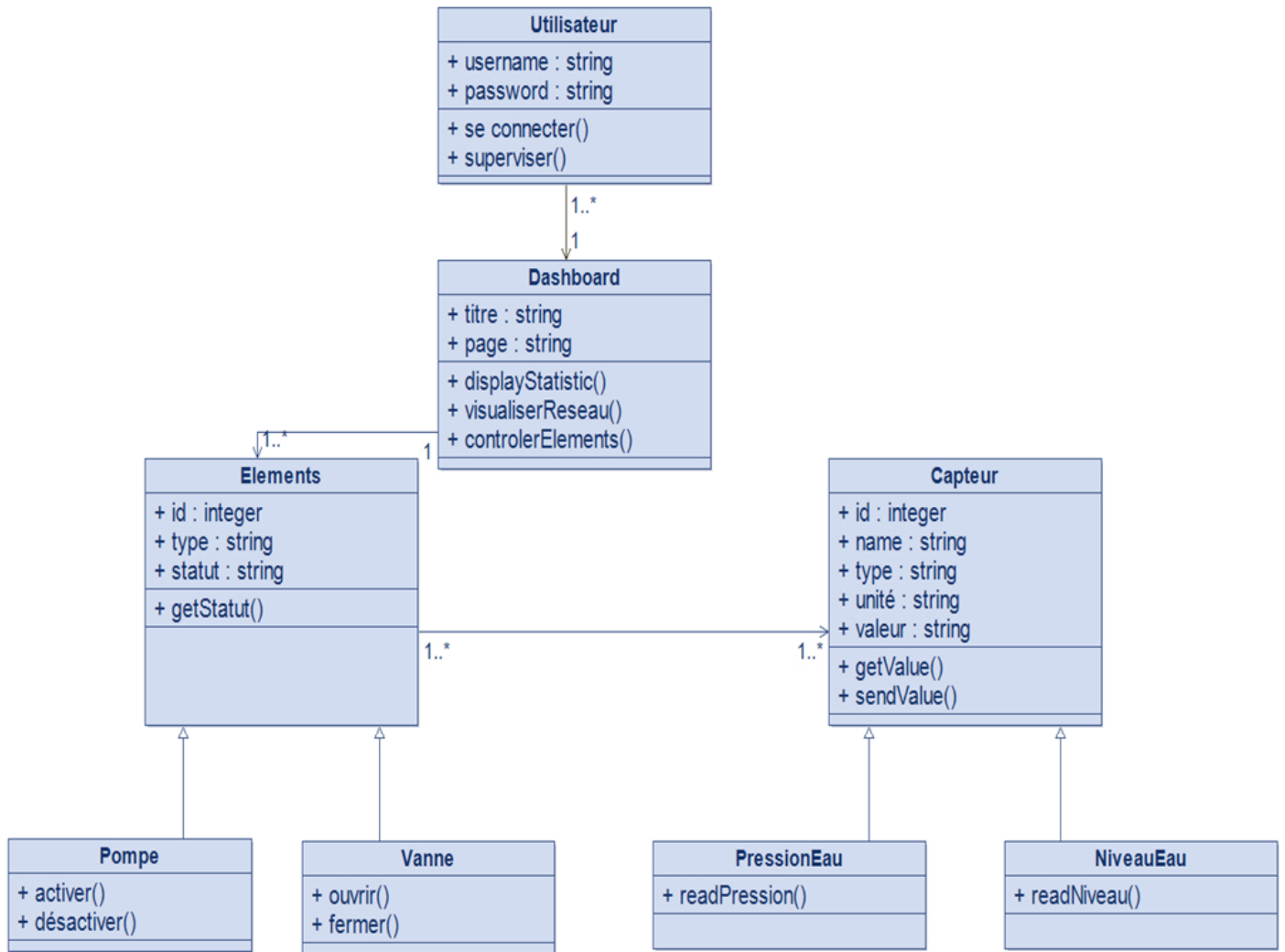


FIG. 3.7 : Diagramme de classes de "Water network"

### 3.4.4 Diagramme de séquence de "Water network"

- **Authentification**

Le diagramme de séquence illustré par la Figure 3.8 présente les différentes étapes du processus d'authentification, en précisant l'enchaînement des interactions nécessaires à la vérification des identifiants et à l'ouverture d'une session sécurisée.

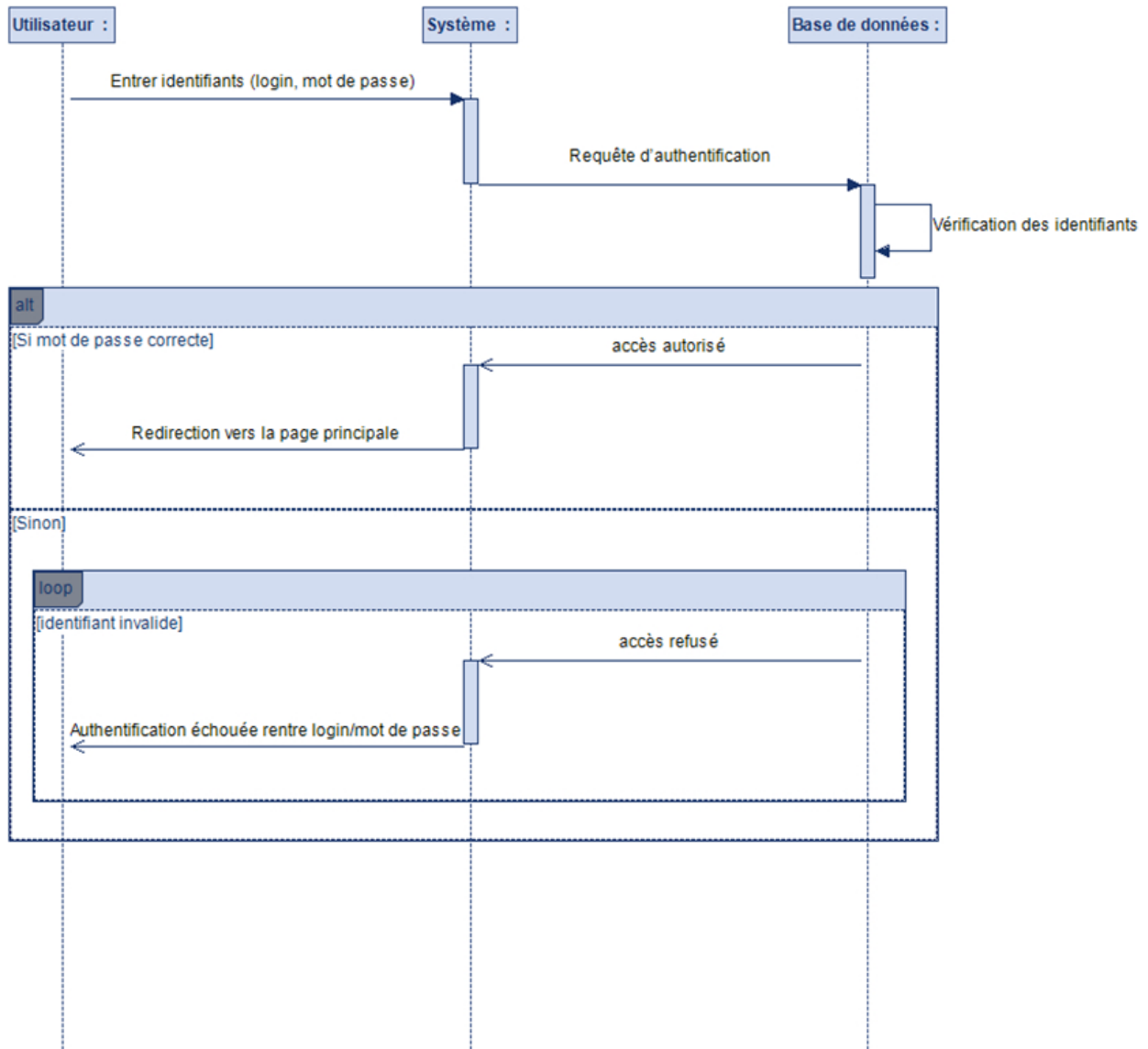


FIG. 3.8 : Diagramme de séquence : "Authentification"

- **Contrôle des vannes et des pompes**

Dans le diagramme de séquence présenté par la Figure 3.9, il est possible de suivre le déroulé des opérations de commande à distance des vannes et des pompes, illustré par la séquence des échanges permettant de réaliser les actions sur le terrain à partir de l'interface de supervision.

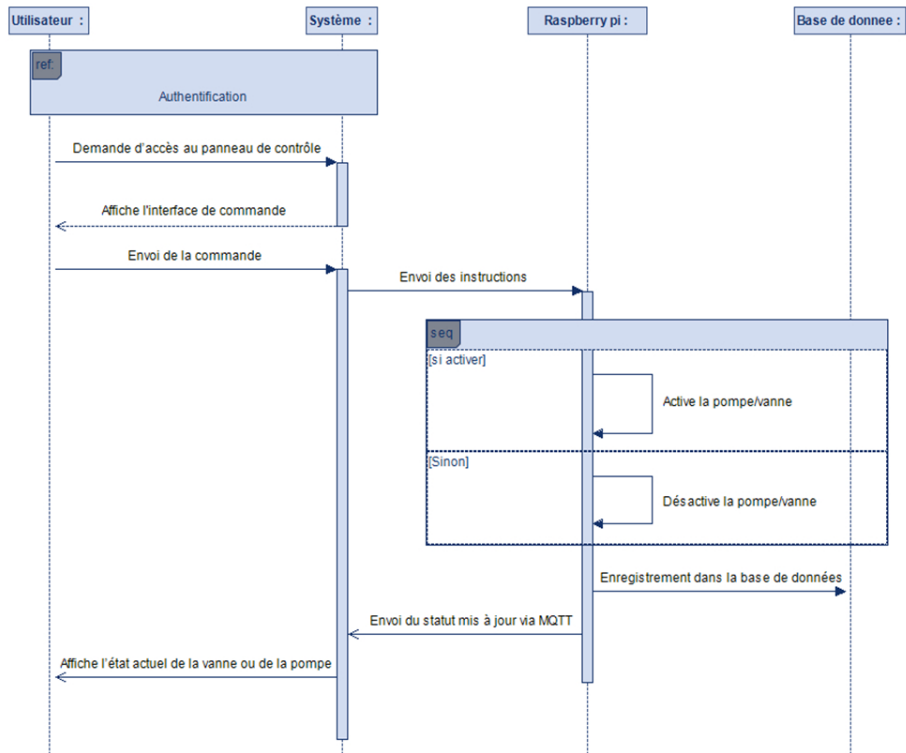


FIG. 3.9 : Diagramme de séquence : "Contrôle des vannes et des pompes"

- Consultation des statistiques** Dans le diagramme de séquence présenté par la Figure 3.10, on peut suivre le déroulement des opérations de consultation des statistiques, représenté par la succession des échanges permettant d'accéder aux données et de les afficher depuis l'interface de supervision.

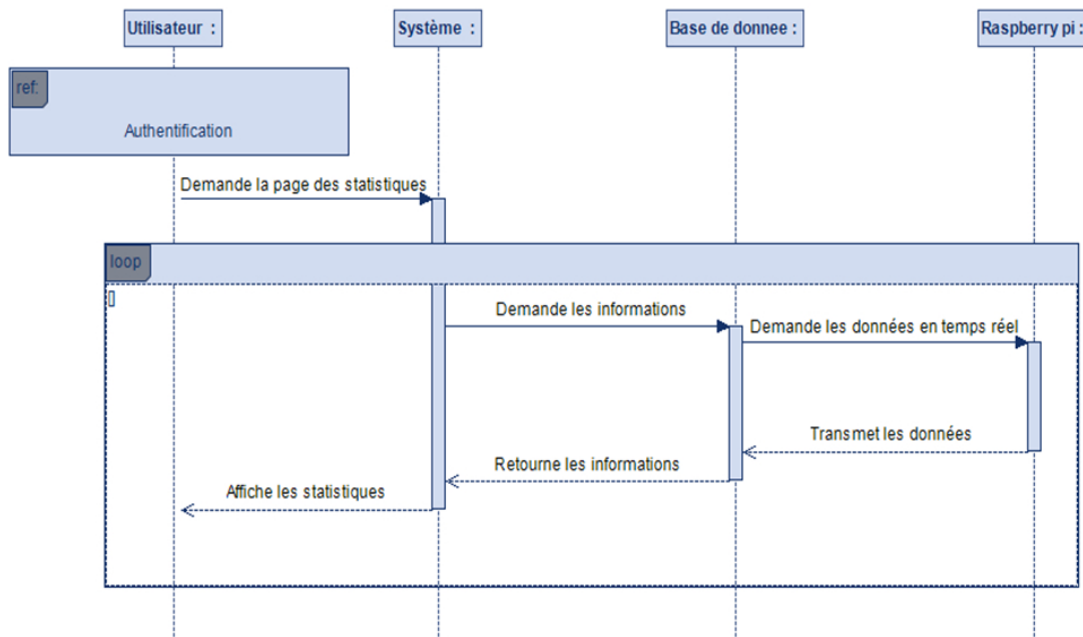


FIG. 3.10 : Diagramme de séquence : "Consultation des statistiques"

## 3.5 Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons établi les bases de la solution "Water Network" en définissant clairement ses objectifs, en présentant l'architecture générale du système, et en identifiant les technologies, protocoles et outils nécessaires à sa mise en œuvre. Les fonctionnalités principales ont également été précisées, offrant une vision globale et cohérente du système à développer. Cette phase de conception constitue une étape essentielle, car elle oriente l'ensemble du processus de réalisation technique et garantit une bonne adéquation entre les besoins identifiés et les choix technologiques retenus.

Le prochain chapitre sera consacré au développement et à la mise en œuvre de la solution.

## CHAPITRE 4

# DÉVELOPPEMENT ET MISE EN ŒUVRE DE LA SOLUTION PROPOSÉE

### 4.1 Introduction

Ce chapitre détaille le processus de développement et de mise en œuvre du système de supervision basé sur Node-RED. Il décrit d'abord les étapes techniques de l'installation, de la configuration et du déploiement du paquetage personnalisé sur l'environnement cible, en l'occurrence un Raspberry Pi. Il se concentre ensuite sur la conception de l'interface utilisateur, la gestion des flux de données en temps réel et l'intégration de composants interactifs pour la visualisation et le contrôle du réseau d'eau.

La phase suivante concerne la réalisation effective du prototype, y compris l'assemblage des équipements, la configuration des communications et la validation fonctionnelle du système. Les résultats des tests effectués sur la plate-forme complètent ce chapitre, en fournissant une évaluation pratique des fonctionnalités développées. L'ensemble de ces étapes constitue une base solide pour démontrer la faisabilité et l'efficacité de la solution proposée.

### 4.2 Déploiement du package et configuration de l'environnement Node-RED

Dans cette section, nous présentons la mise en place de l'environnement Node-RED.

#### 4.2.1 Accès distant et configuration réseau du système

##### Configuration du Wi-Fi

La configuration se fait selon les étapes suivantes :

1. Créer un fichier nommé *"wpa\_supplicant.conf"* contenant les paramètres du réseau Wi-Fi (voir la Figure 4.1).

```
country=DZ
ctrl_interface=DIR=/var/run/wpa_supplicant GROUP=netdev
update_config=1

network={
    ssid="SSID"
    psk="password"
    key_mgmt=WPA-PSK
}
```

FIG. 4.1 : Le fichier de configuration *"wpa\_supplicant.conf"*

2. Copier le fichier *"wpa\_supplicant.conf"* sur la carte SD avant de la démarrer.

**Accès à distance via PuTTY et VNC** Le processus d'accès distant utilise PuTTY qui est un client SSH, Telnet et RDP gratuit largement utilisé pour se connecter à des serveurs distants sous Linux/Windows.

1. Identifier l'adresse IP du Raspberry via l'interface de votre modem/routeur.
2. Ouvrir PuTTY, entrer l'adresse IP et le numéro de port 22 (par défaut pour SSH), puis cliquer sur Open. La figure 4.2 présente l'interface de PuTTY pour un accès distant.

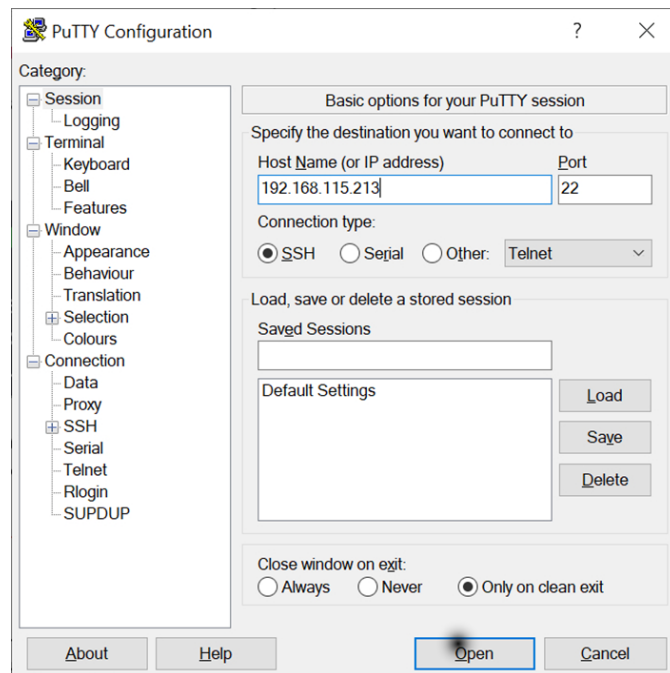
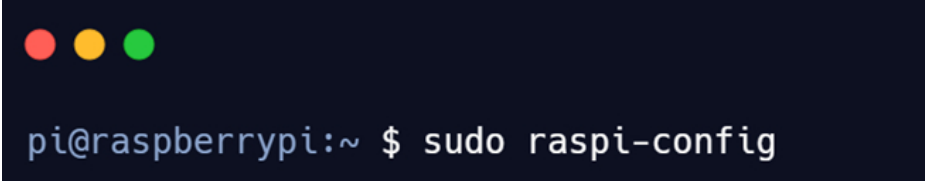


FIG. 4.2 : Interface PuTTY

3. Se connecter avec les identifiants par défaut : pi / raspberry.
4. Dans la configuration, nous saisissons la commande comme s'est montré dans la Figure 4.3 et nous activons SSH et VNC dans l'onglet "options" de l'interface.



```
pi@raspberrypi:~ $ sudo raspi-config
```

FIG. 4.3 : Commande de configuration du Raspberry Pi

5. Utiliser VNC Viewer pour une connexion graphique distante avec l'adresse IP comme montre la Figure 4.4.

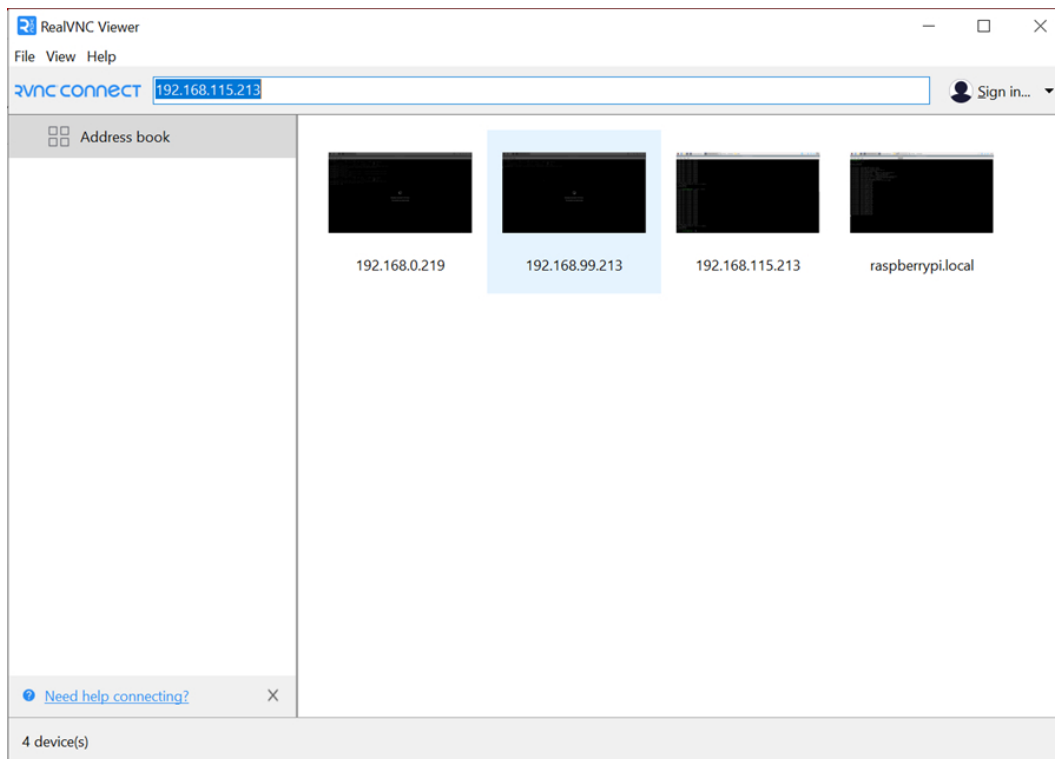



FIG. 4.4 : Interface de VNC

6. Installer node-red dans raspberry à l'aide de la commande présentée dans la Figure 4.5.



```
C:\Users\PcTec> bash <(curl -sL  
https://raw.githubusercontent.com/node-red/linux-  
installers/master/deb/update-nodejs-and-nodered)
```

FIG. 4.5 : Commande d'installation de Node-RED sur Raspberry Pi

## 4.2.2 Intégration et déploiement du package personnalisé

Le processus d'intégration et de déploiement du package personnalisé "Water Network" se fait comme suit :

1. Ajouter le package personnalisé en suivant les étapes présentées dans la Figure 4.6.

```
C:\Users\PcTec> cd .node-red
C:\Users\PcTec> npm install /chemin/vers/ton/package
# Exemple :
npm install C:\Users\PcTec\Documents\waterNetwork
```

FIG. 4.6 : Commandes pour d'ajout d'un package dans Node-RED

2. Vérifier l'installation en entrant dans node-red et voir l'apparition du package "Water Network" comme montre la Figure 4.7.

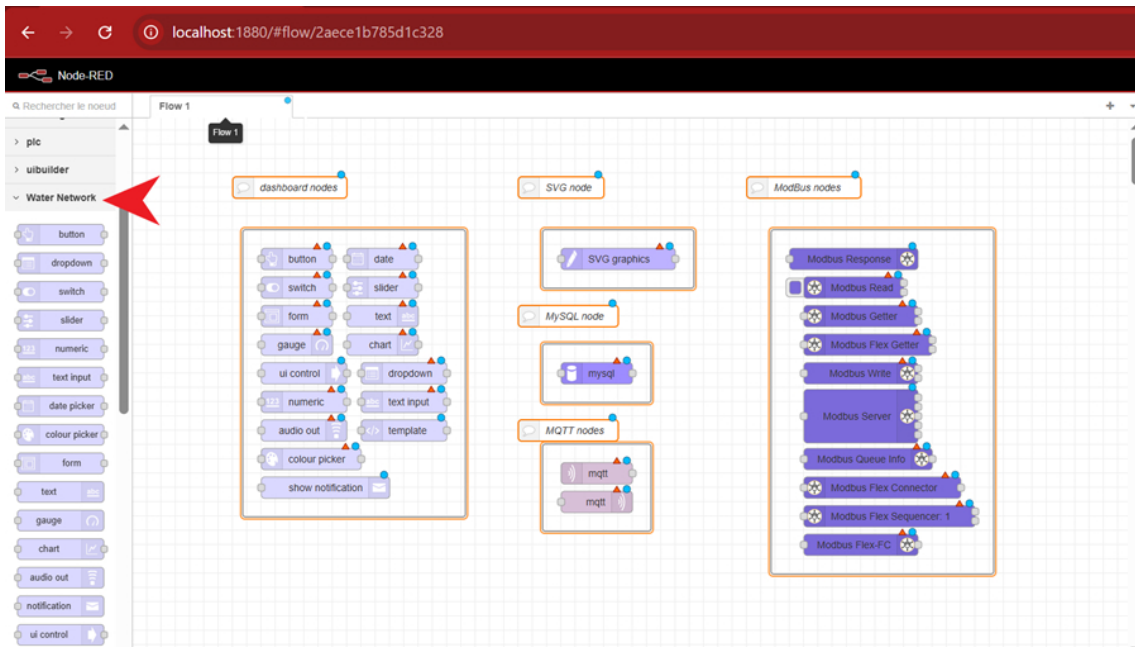


FIG. 4.7 : Intégration du package "Water Network"

## 4.2.3 Connexion aux services externes et protocoles de communication

Dans cette sous-section, nous présentons comment se fait la connexion à des services externes et les protocoles nécessaires pour réaliser cette connexion.

## Connexion à MySQL

La connexion à MySQL se fait comme suit :

1. Lancer MySQL Workbench (Figure 4.8).

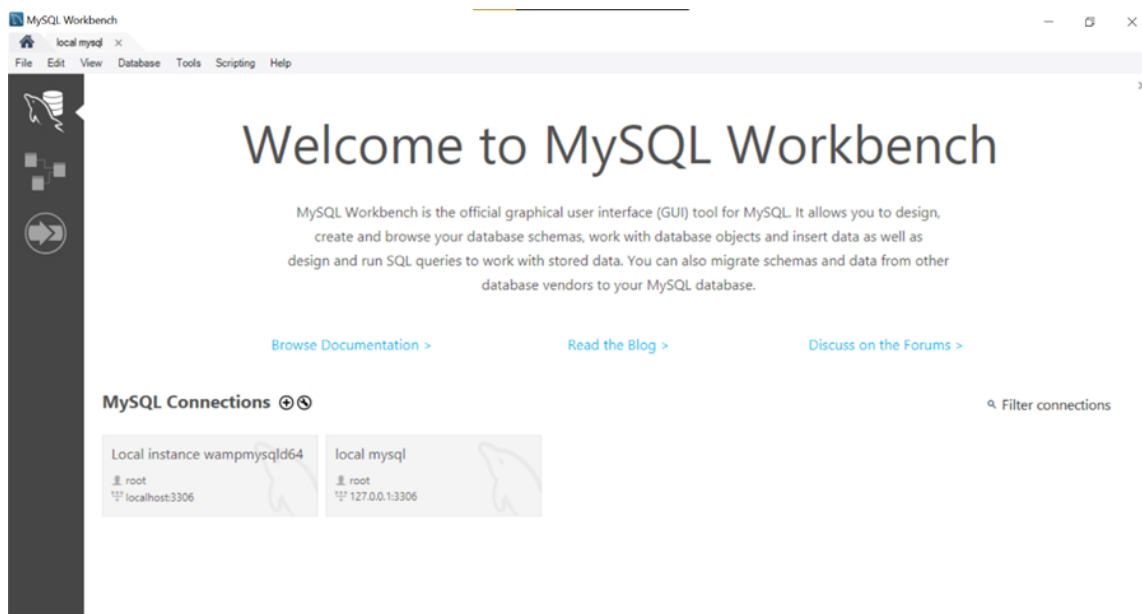


FIG. 4.8 : Interface de MySQL Workbench

2. Créer une nouvelle connexion avec les paramètres du serveur local comme montre la Figure 4.9.

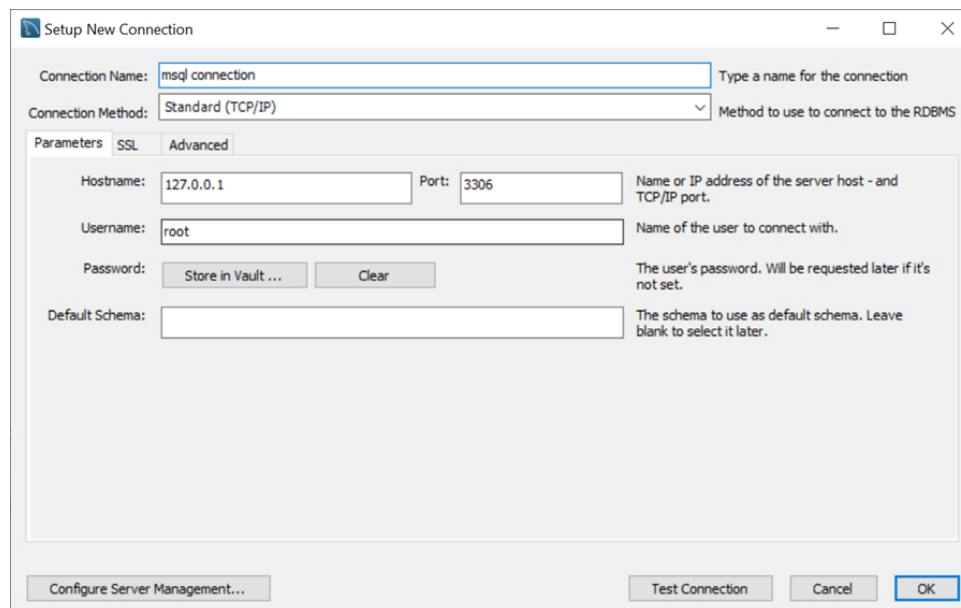


FIG. 4.9 : Création d'une connexion MySQL

3. Accéder à cette connexion et créer une base de données.

4. Dans Node-RED, ajouter un nœud mysql.
5. Configurer la connexion : hôte, port, utilisateur, mot de passe, base de données comme montre la Figure 4.10.

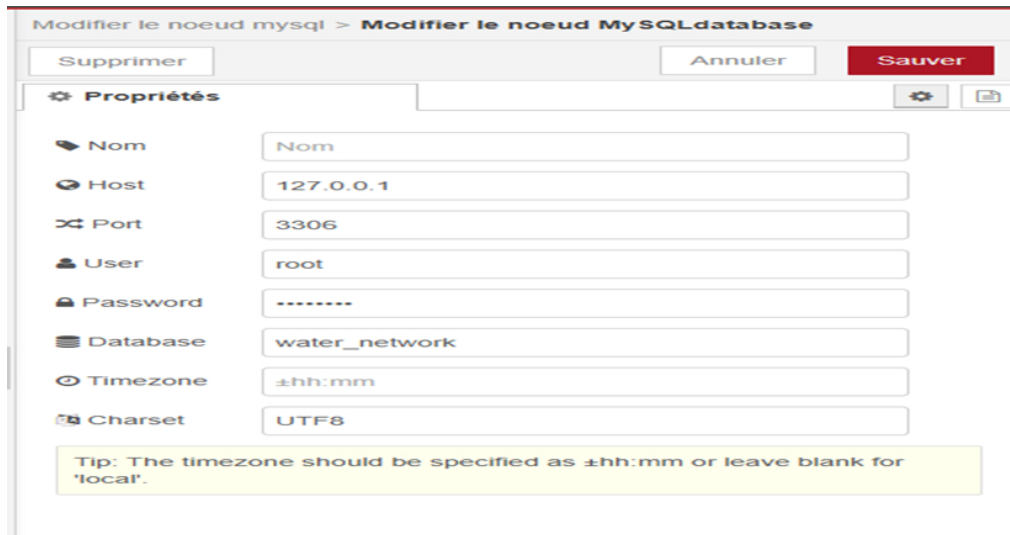


FIG. 4.10 : Configuration de MySQL sur Node-Red

6. Les données peuvent maintenant être insérées ou lues via les flux Node-RED.

**Configuration de MQTT** La configuration de MQTT se fait selon les étapes suivantes :

1. Télécharger et installer Mosquitto depuis : <https://mosquitto.org/>.
2. Dans Node-RED :
  - Ajouter un nœud "MQTT in" pour recevoir des données.
  - Ajouter un nœud "MQTT out" pour envoyer des données.

La figure 4.11 illustre un exemple d'utilisation du protocole MQTT.



FIG. 4.11 : Exemple d'utilisation du protocole MQTT

3. Exemple :
  - Le Raspberry Pi reçoit les données avec "MQTT in".
  - Le PC Windows envoie les données avec "MQTT out".

4. Configurer les nœuds avec l'adresse IP du broker, le port (1883), et le topic commun (voir Figure 4.12).

The figure displays two side-by-side screenshots of a web-based configuration interface for MQTT nodes. The left screenshot, titled 'Modifier le nœud mqtt out > Ajouter un nouveau nœud', shows the configuration for a new MQTT out node. It includes fields for 'Nom' (Name), 'Serveur' (Server) set to '192.168.115.213', 'Protocole' (Protocol) set to 'MQTT V3.1.1', and 'Client ID' (Client ID) set to 'Laisser vide pour s'auto générer'. There are also checkboxes for 'Se connecter automatiquement' (checked), 'Utiliser TLS' (unchecked), and 'Utiliser une session propre' (checked). The right screenshot, titled 'Modifier le nœud mqtt in', shows the configuration for an existing MQTT in node. It includes a 'Supprimer' (Delete) button, 'Serveur' (Server) set to '192.168.115.213:1883', 'Action' (Action) set to 'S'abonner à un seul sujet', 'Sujet' (Topic) set to 'hello/test', 'QoS' (QoS) set to '2', 'Sortie' (Output) set to 'détection automatique (objet JSON ar', and 'Nom' (Name) set to 'Nom'.

FIG. 4.12 : Configuration du MQTT

## 4.3 Conception de l'interface de supervision

Dans cette section, nous présentons l'interface qui permet de superviser les différents équipements contrôlés à savoir les pompes et les vannes ainsi que l'état des différents réservoirs.

### 4.3.1 Conception du tableau de bord

Notre interface de supervision a été conçue à partir du tableau de bord intégré à Node-RED, offrant une supervision claire et en temps réel de l'état du réseau d'eau. Le tableau de bord se compose principalement de :

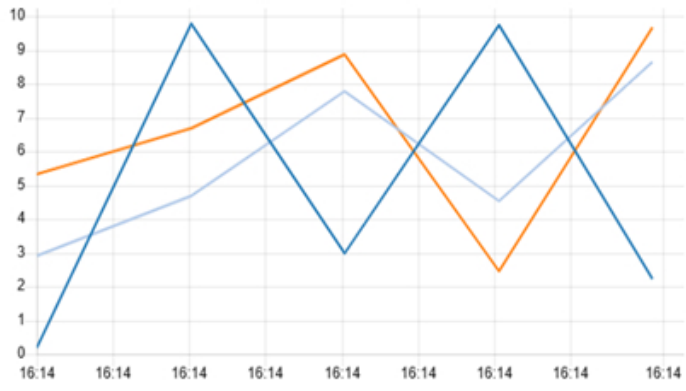
- Deux tables d'information distinctes sont utilisées pour regrouper les données critiques du système :
  - La première table est consacrée à l'état des actionneurs, affichant l'état des pompes et des vannes, indiquant si chaque composant est en fonctionnement ou arrêté.
  - La seconde table présente les données des récupérées par les capteurs, en particulier les niveaux d'eau mesurés dans les réservoirs, ainsi que les pressions hydrauliques mesurées à la sortie des pompes.
- Un ensemble de jauges dynamiques, comprenant des jauges circulaires fournissant une représentation visuelle des niveaux d'eau dans les réservoirs, et des jauges semi-circulaires affichant en temps réel les pressions mesurées à la sortie des pompes comme montre la

figure 4.13. Ces jauges permettent une lecture intuitive et instantanée des principales grandeurs physiques du réseau.

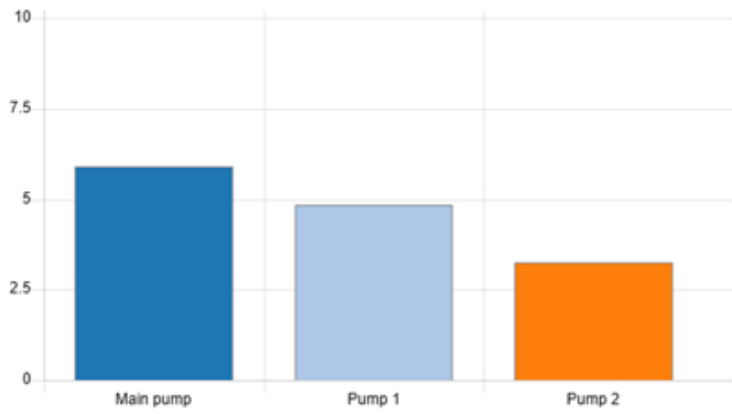


FIG. 4.13 : Jauge de niveau d'eau en temps réel

- Une section graphique, intégrant un graphique linéaire qui trace l'évolution des niveaux d'eau dans le temps comme montre la Figure 4.14a, ainsi qu'un histogramme à barres qui présente les pressions actuelles des pompes comme c'est illustré par la Figure 4.14b.



(a) Variation du niveau d'eau



(b) Variation de la pression d'eau

FIG. 4.14 : Variation du niveau et de la pression d'eau

### 4.3.2 Intégration du schéma SVG interactif et un panneau de commande

Dans cette section, une représentation graphique du réseau hydraulique a été conçue à l'aide de la technologie SVG afin de fournir une visualisation interactive et intuitive du système supervisé. Le schéma intègre plusieurs icônes personnalisées représentant les éléments clés du réseau : réservoirs, pompes, vannes, canalisations et capteurs. La figure 4.15 illustre le schéma interactif du réseau hydraulique.

- Le réservoir est représenté par une icône dans laquelle le niveau d'eau est affiché dynamiquement, à l'aide d'une animation verticale synchronisée avec les données des capteurs à ultrasons.
- Les pompes et les vannes sont représentées par des icônes, et leur état de fonctionnement (marche/arrêt) est indiqué par des voyants lumineux situés sur un panneau latéral, qui changent de couleur en fonction des signaux reçus.
- Les canalisations illustrent visuellement la structure du réseau et les connexions entre les éléments.
- Les capteurs (niveau, pression) sont positionnés aux points stratégiques du dessin et permettent une visualisation directe des données mesurées.

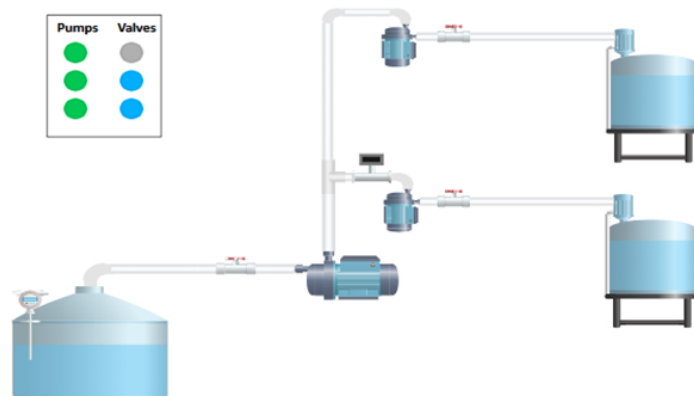


FIG. 4.15 : Schéma interactif du réseau hydraulique (SVG)

Un panneau de commande permet à l'utilisateur de contrôler manuellement les pompes et les vannes via des boutons ON/OFF. Toute action déclenche une mise à jour immédiate de l'état visuel affiché sur l'interface comme montre la Figure 4.16.

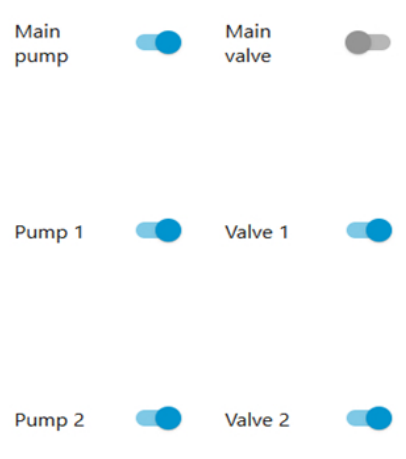


FIG. 4.16 : Panneau de commande des équipements

Le code SVG a été structuré avec des identifiants et des classes spécifiques pour faciliter l'intégration avec Node-RED, permettant des interactions dynamiques et réactives. Les animations et les effets visuels (comme le changement de couleur des voyants) améliorent l'ergonomie et la lisibilité de l'interface.

### 4.3.3 Autres onglets de l'interface : localisation et historique

En complément du schéma SVG principal, l'interface de supervision intègre deux onglets supplémentaires destinés à enrichir la visualisation et le suivi du système :

1. **Carte de localisation des sites** : un onglet dédié affiche une carte interactive montrant la position géographique des différents sites d'intervention. Chaque site est représenté par un marqueur géolocalisé, ce qui permet d'avoir une vision claire de la répartition du réseau sur le terrain.

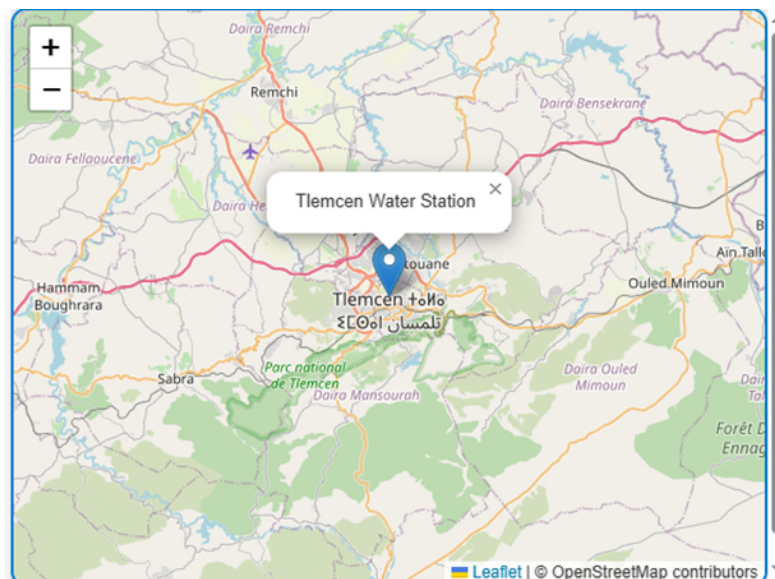


FIG. 4.17 : Carte interactive de localisation des sites d'intervention

La Figure 4.17 présente la carte interactive de localisation des sites d'intervention.

2. **Historique des données** : un deuxième onglet présente un tableau mis à jour automatiquement et affichant l'évolution des données mesurées (niveaux, pression, état de l'actionneur). Seules les vingt dernières lignes sont conservées pour une lisibilité optimale. La Figure 4.18 illustre l'affichage des données mesurées par les différents capteurs.

System Activity Log

Time	Pump 1	Pump 2	Pump 3	Valve 1	Valve 2	Valve 3	Level 1 (m)	Level 2 (m)	Pressure (bar)
6/16/2025, 11:21:54 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:21:24 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:20:54 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:20:24 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:19:54 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:19:24 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:18:54 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:18:24 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/16/2025, 11:17:54 PM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:09:28 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:08:58 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:08:28 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:07:58 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:07:28 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:06:58 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40
6/16/2025, 10:06:28 PM	OFF	OFF	ON	CLOSED	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.40

FIG. 4.18 : Historique des mesures et des états du système

#### 4.3.4 Supervision et contrôle en temps réel

Le fonctionnement en temps réel du système est structuré autour d'un flux logique conçu en Node-RED. Les données provenant des capteurs (niveau, pression) sont capturées, traitées et affichées instantanément sur l'interface utilisateur grâce à un ensemble de nœuds interconnectés.

La communication entre les capteurs/actionneurs et Node-RED est basée sur le protocole MQTT, garantissant un échange de messages rapide et fiable. Chaque donnée reçue via des nœuds "MQTT in" est traitée, injectée dans les composants graphiques de l'interface (ui\_gauge, ui\_text, ui\_template, etc.), et simultanément stockée dans une base de données MySQL à l'aide de nœuds MySQL, afin de constituer un historique structuré pour l'analyse. La Figure 4.19 montre comment la table est remplie à partir de la base de données MySQL.

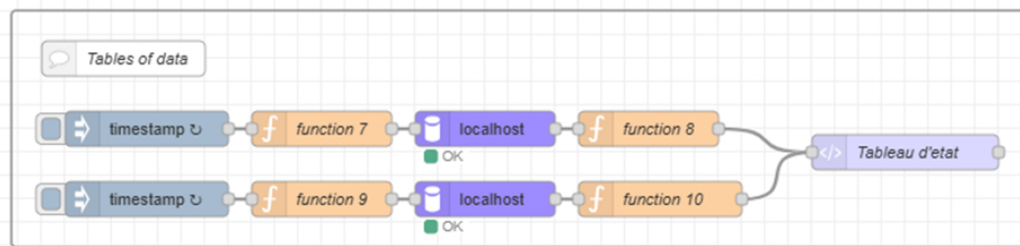


FIG. 4.19 : Exemple de remplissage du tableau depuis MySQL

Les commandes utilisateurs, déclenchées par les boutons ON/OFF du tableau de bord, sont envoyées aux équipements via des nœuds "MQTT out", et leur statut de retour est traité pour mettre à jour dynamiquement les voyants lumineux ou les animations SVG. Ce cycle d'acquisition, de traitement, d'affichage et d'archivage assure une supervision fluide et cohérente de l'ensemble du réseau. La Figure 4.20 illustre un exemple de commande des pompes et des vannes dans un système hydraulique.

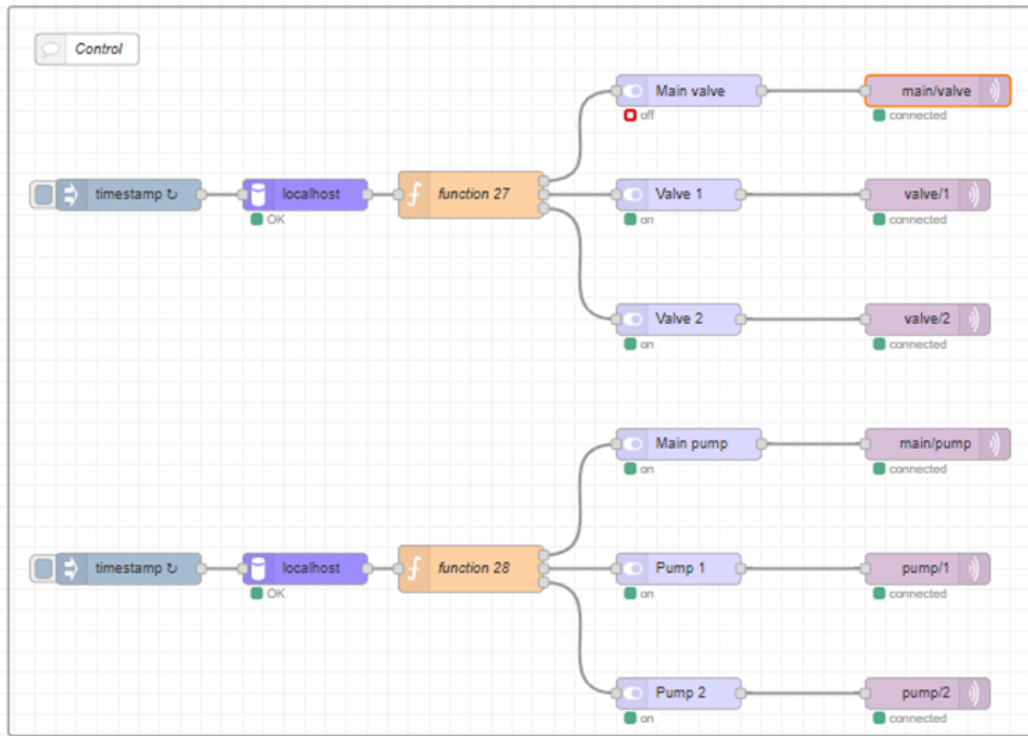


FIG. 4.20 : Exemple de commande des pompes et des vannes

## 4.4 Réalisation du prototype et validation

Dans cette section, nous présentons le prototype réalisé et exploité pour assurer la télégestion des ressources en eau.

### 4.4.1 Assemblage du système matériel

Le prototype a été réalisé dans un coffret électrique regroupant les équipements nécessaires à l'acquisition des données, au contrôle des actionneurs et à la communication avec le système de supervision. L'objectif est de proposer une solution compacte, modulaire et fonctionnelle, conforme aux standards de l'industrie comme montre la Figure 4.21.

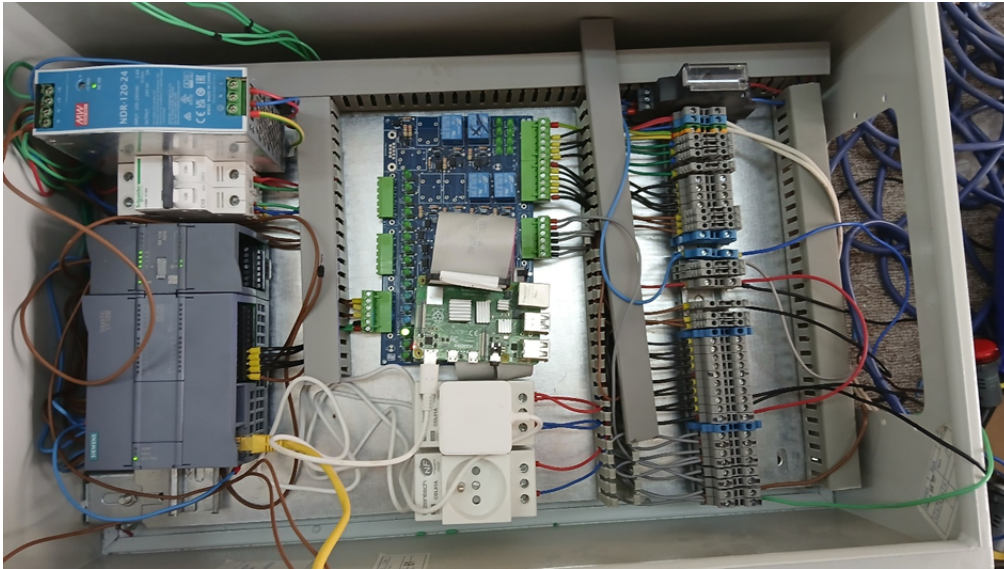


FIG. 4.21 : Vue globale du coffret électrique assemblé

Les principaux composants du système sont :

- **Automate Siemens S7-1200**

Il est utilisé pour l'acquisition des données analogiques issues du capteur à ultrasons. Ce choix garantit une lecture précise, stable, et adaptée aux environnements industriels. La Figure 4.22 présente l'automate Siemens câblé dans le coffret, connecté au capteur à ultrasons.



FIG. 4.22 : Automate Siemens câblé dans le coffret, connecté au capteur à ultrasons

- **Raspberry Pi 4**

Il est utilisé pour le pilotage des actionneurs via une carte à relais et pour la lecture de signaux numériques. Son faible coût et sa flexibilité permettent une adaptation rapide en phase de prototypage.

- **Carte à relais 8 canaux**

Cette carte reçoit les signaux de commande du Raspberry Pi et pilote les actionneurs (pompes, vannes...). La Figure 4.23 présente la carte à relais 8 canaux.



FIG. 4.23 : Carte à relais utilisée pour le contrôle des actionneurs

- **Alimentation 24V DC (type Mean Well NDR-75-24)**

Cette alimentation fournit l'énergie nécessaire à l'ensemble des composants en courant continu sécurisé.

- **Disjoncteurs de protection**

Ces disjoncteurs assurent la sécurité électrique du système face aux courts-circuits et surintensités.

- **Borniers de distribution et câblage**

Ces composants facilitent un câblage propre, sécurisé et bien organisé.

- **Connexion Ethernet et "General Purpose Input/Output (GPIO)"**

Elles sont utilisées pour les échanges de données entre les composants ainsi qu'avec le réseau local.

L'assemblage physique du système est expliqué dans un schéma de circuit clair, illustrant les connexions entre les composants (automate, Raspberry Pi, alimentation, capteurs, relais, etc.).

L'installation électrique présentée dans la Figure 4.24 est composée d'un automate Siemens S7-1200 chargé de la gestion des entrées et sorties numériques et analogiques, ainsi que d'un micro-ordinateur Raspberry Pi 4 utilisé pour l'acquisition de données et la supervision. L'alimentation générale est fournie en 24V DC pour l'ensemble des équipements de commande, tandis que la

puissance est assurée par un circuit 230V AC protégé et commandé par relais. Des capteurs (comme un capteur ultrasonique) sont connectés à l'automate pour la détection d'objets ou de distances, tandis que des actionneurs tels que des voyants lumineux sont pilotés par les sorties du Raspberry Pi. L'ensemble de l'installation est protégé par une mise à la terre assurant la sécurité des équipements et des opérateurs.

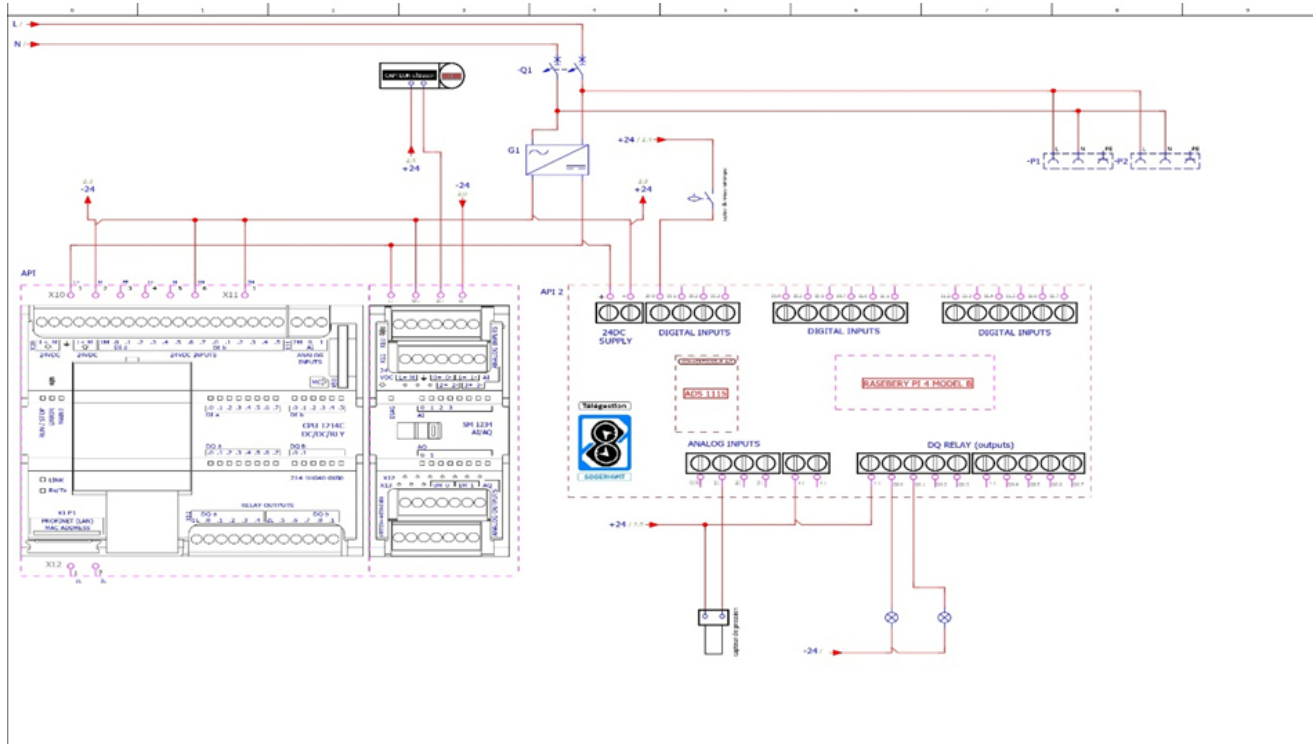


FIG. 4.24 : Schéma de câblage du prototype

L'interface utilisateur, la logique de traitement et la supervision sont hébergées sur un ordinateur personnel exécutant Node-RED. Ce dernier reçoit les données publiées par l'automate et le Raspberry Pi via le protocole MQTT, les traite, et les affiche sur une interface web accessible localement.

Ce choix d'architecture permet de séparer la couche d'acquisition matérielle de la couche de traitement logiciel, ce qui facilite la maintenance, l'évolution du système et son adaptation à d'autres environnements industriels.

#### 4.4.2 Programmation et mise en service

Une fois l'assemblage du système matériel terminé, la phase suivante consiste à effectuer la programmation et la mise en service. Cette étape vise à configurer la logique de fonctionnement, assurer la communication entre les composants, et relier l'ensemble à l'interface de supervision développée dans Node-RED.

#### Chargement des flux et configuration des entrées/sorties

Le flux Node-RED, développé pour gérer la logique de supervision du réseau, a été importé

dans l'environnement du Raspberry Pi 4. Ce flux orchestre le traitement des données issues des capteurs, le contrôle des actionneurs, ainsi que l'actualisation de l'interface graphique.

Le Raspberry Pi est configuré avec :

- Deux sorties numériques sur les broches GPIO 38 et 40, utilisées pour représenter le contrôle de la vanne principale et de la pompe principale. La Figure 4.25 montre la configuration d'un GPIO en sortie.

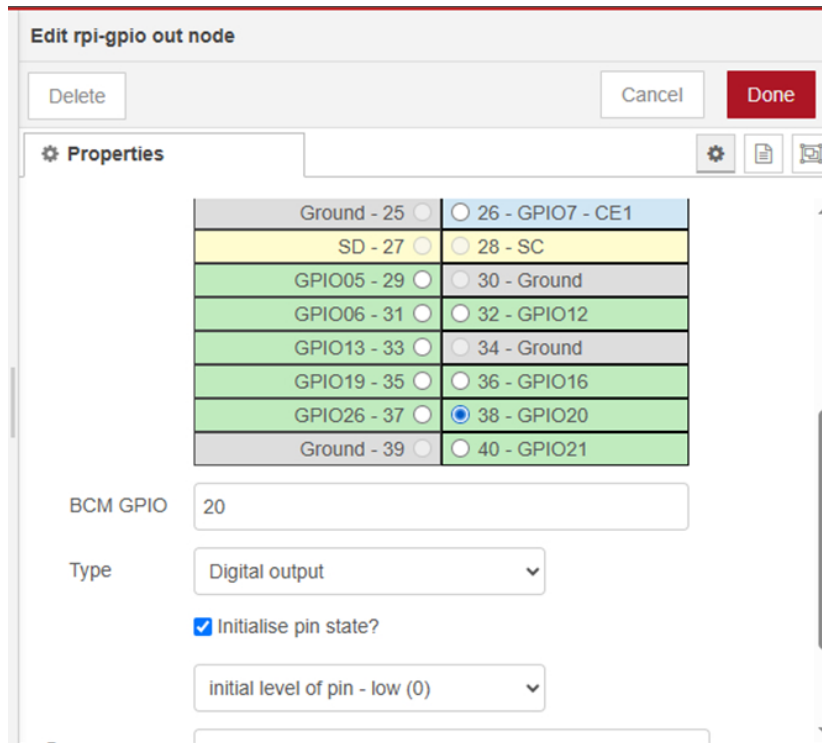


FIG. 4.25 : Configuration d'un GPIO en sortie

- Une entrée numérique sur la broche GPIO 7, reliée à un capteur de niveau à sortie digitale.
- Une entrée analogique via un convertisseur ADS1115, connectée à un capteur de pression.
- Une autre entrée analogique, provenant d'un automate Siemens S7, utilisée pour la lecture d'un capteur de niveau à sortie analogique, intégré au système comme mesure externe.

Cette configuration permet de centraliser les données et de piloter les équipements depuis Node-RED, tout en assurant une compatibilité avec les signaux numériques et analogiques présents dans le réseau. La Figure 4.26 illustre le flux Node-RED du Raspberry Pi.

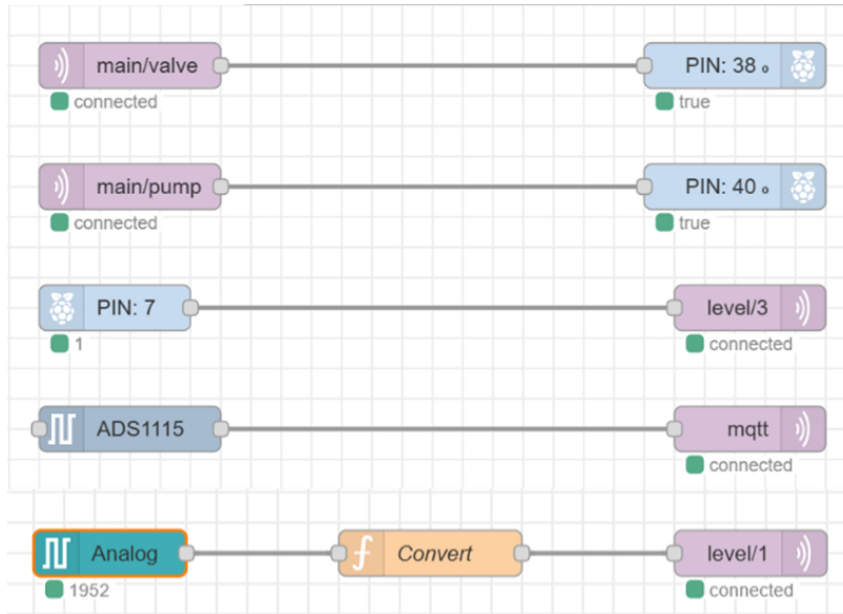


FIG. 4.26 : Flux Node-RED du Raspberry Pi

### Test de communication avec les composants

Avant de procéder aux tests fonctionnels complets, une vérification de la communication entre les deux environnements Node-RED a été effectuée. Le système se compose de deux flux distincts :

- Un flux exécuté sur un poste Windows, contenant l'interface de supervision,
- Un autre sur le Raspberry Pi, chargé de la gestion des capteurs et actionneurs.

La liaison entre ces deux environnements est assurée via le protocole MQTT, configuré à l'aide des nœuds *MQTT in* et *MQTT out* comme montre la Figure 4.27 :

```

6/16/2025, 11:09:11 PM node: debug 3
main/valve : msg.payload : boolean
false

6/16/2025, 11:09:12 PM node: debug 3
main/valve : msg.payload : boolean
false

6/16/2025, 11:09:13 PM node: debug 3
main/valve : msg.payload : boolean
false

```

FIG. 4.27 : Trafic MQTT entre les deux environnements Node-RED

- Le Raspberry Pi publie les mesures des capteurs vers le broker MQTT, que le poste Windows interroge pour mettre à jour l'interface.

- En sens inverse, les commandes de contrôle envoyées depuis l'interface sont transmises au Raspberry Pi via des topics MQTT spécifiques.

Les tests ont confirmé la bonne circulation des messages entre les deux instances, sans erreurs ni déconnexions, assurant ainsi une base fiable pour le fonctionnement global du système.

### 4.4.3 Test global et résultats observés

Une fois la communication entre les composants validée, un test global du système a été mené pour observer son comportement en situation réelle. Ce test a permis d'évaluer l'ensemble des fonctionnalités interconnectées : acquisition des données, affichage sur l'interface, commandes à distance, et retour d'état.

Le test commence par une authentification sécurisée via l'interface de connexion comme montre la Figure 4.28. Une fois identifié, l'utilisateur est dirigé vers le tableau de bord, qui centralise les informations essentielles du réseau supervisé.

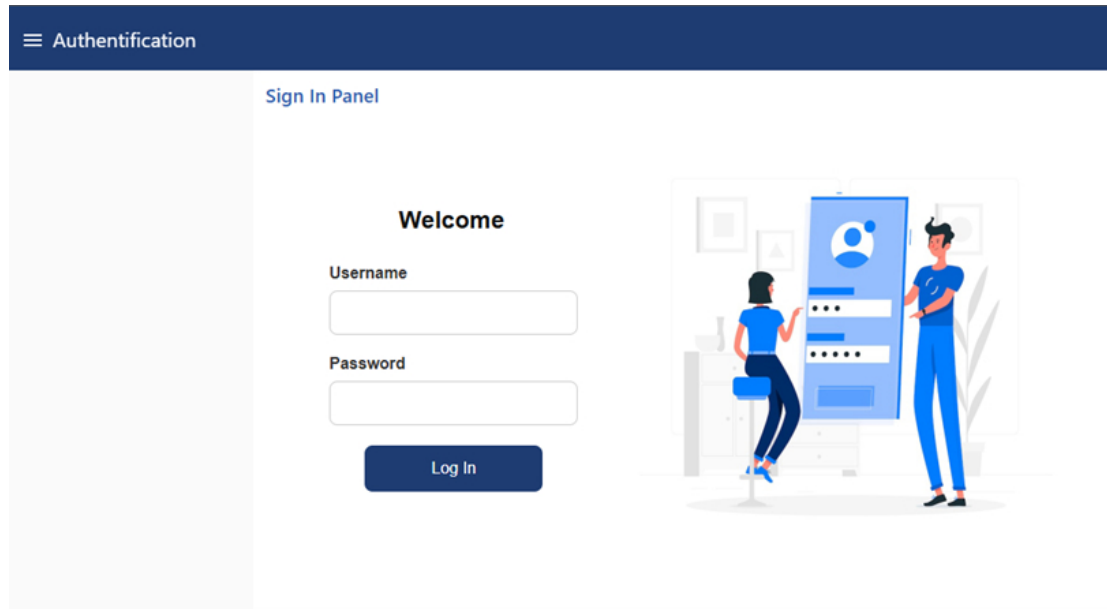


FIG. 4.28 : Page d'authentification

L'affichage en temps réel des données permet de constater immédiatement le bon fonctionnement du système. Les valeurs des capteurs, notamment les niveaux d'eau et la pression, sont mises à jour sans latence. Le capteur de pression, bien que fonctionnel, a fourni une valeur minimale constante en l'absence de pression réelle, ce qui est attendu hors d'un environnement hydraulique opérationnel.

La Figure 4.29 illustre l'affichage des données des capteurs et la Figure 4.30 représente l'évolution de ces données capturées via des évaluations statistiques.

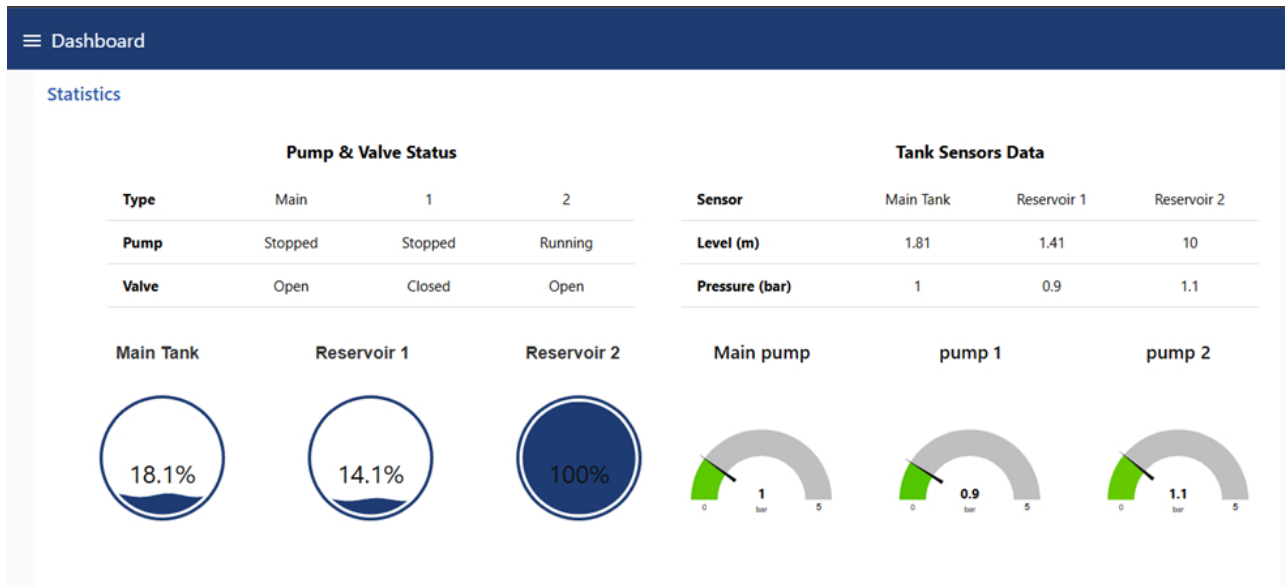


FIG. 4.29 : Affiche en temps réel des données

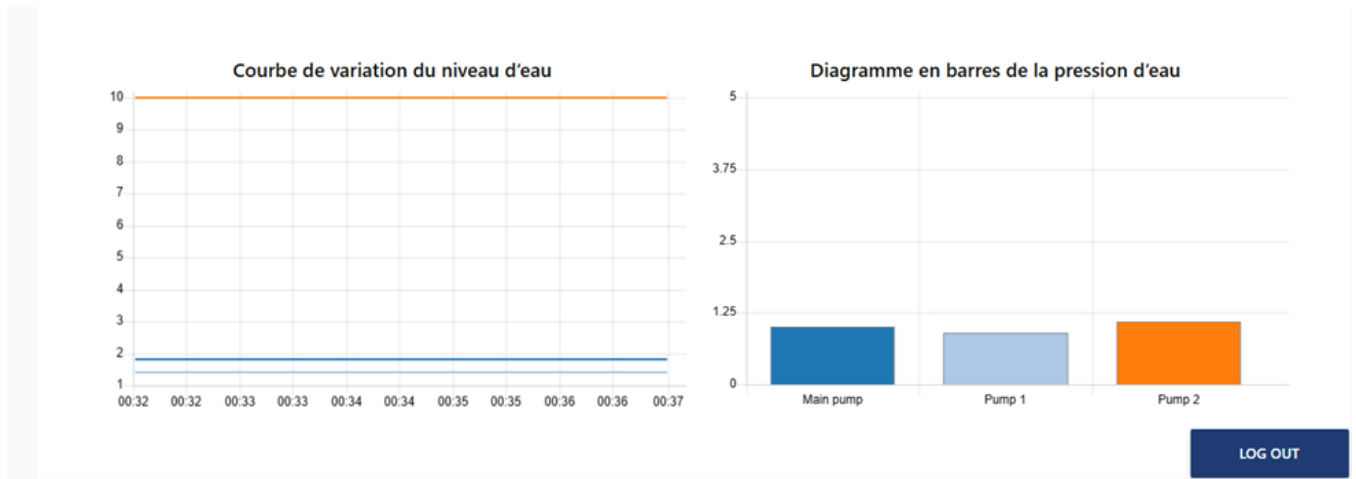


FIG. 4.30 : Tableau de bord des statistiques

L'utilisateur accède ensuite au schéma SVG interactif (voir Figure 4.31), qui illustre graphiquement l'état du réseau. Les animations reflètent fidèlement les niveaux d'eau, et les voyants lumineux réagissent aux changements d'état des pompes et des vannes. Lors du test, les commandes ON/OFF ont été exécutées avec succès, déclenchant les équipements physiques et mettant à jour l'affichage visuel de manière instantanée.

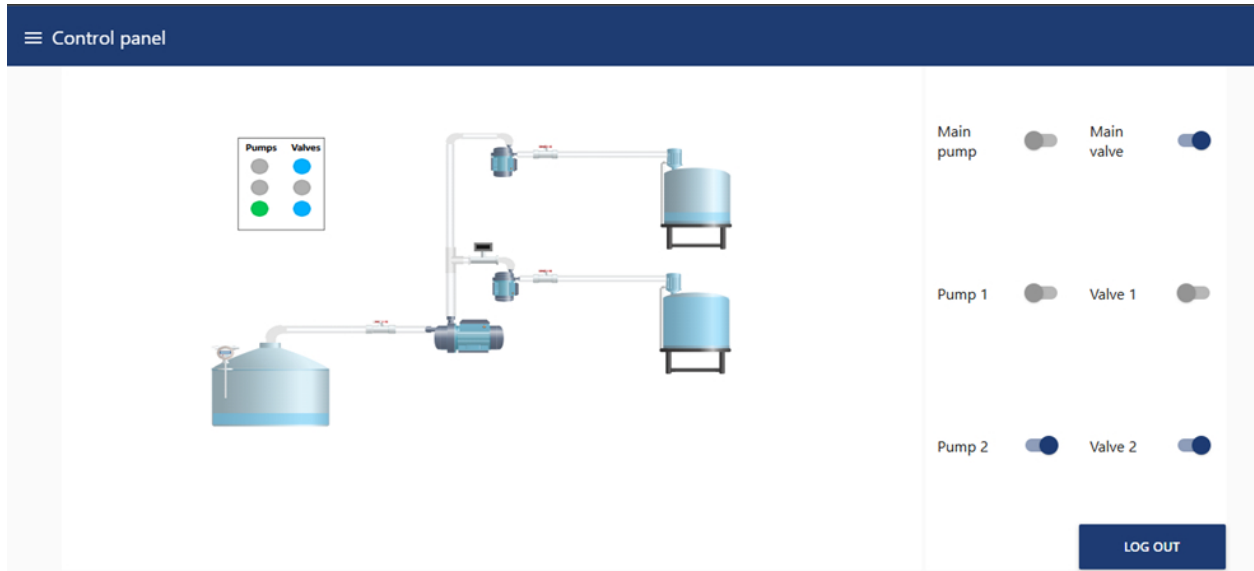


FIG. 4.31 : Interface de supervision (SVG) et de commande

Dans l'onglet *Historique* comme montre la Figure 4.32 , l'utilisateur peut suivre l'évolution récente des données : le tableau enregistre automatiquement les informations.

The screenshot shows a 'History' interface with a table of captured data. The table has the following columns: TIME, PUMP 1, PUMP 2, PUMP 3, VALVE 1, VALVE 2, VALVE 3, LEVEL 1 (M), LEVEL 2 (M), and PRESSURE (BAR). The data shows a consistent state over time, with Pump 1 and Pump 2 off, Pump 3 on, Valve 1 open, Valve 2 closed, and Valve 3 open. Level 1 is constant at 1.81 M and Level 2 at 10.00 M, with Pressure constant at 1.00 BAR.

TIME	PUMP 1	PUMP 2	PUMP 3	VALVE 1	VALVE 2	VALVE 3	LEVEL 1 (M)	LEVEL 2 (M)	PRESSURE (BAR)
6/17/2025, 12:38:19 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:37:49 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:37:19 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:36:49 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:36:19 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:35:49 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:35:19 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:34:49 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:34:19 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:33:28 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:32:58 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00
6/17/2025, 12:32:13 AM	OFF	OFF	ON	OPEN	CLOSED	OPEN	1.81	10.00	1.00

FIG. 4.32 : Historique des données capturées

Enfin, l'onglet *Carte* comme c'est présenté dans la Figure 4.33 permet de visualiser les sites d'intervention sur le terrain, grâce à une carte interactive affichant les localisations géographiques des installations surveillées.

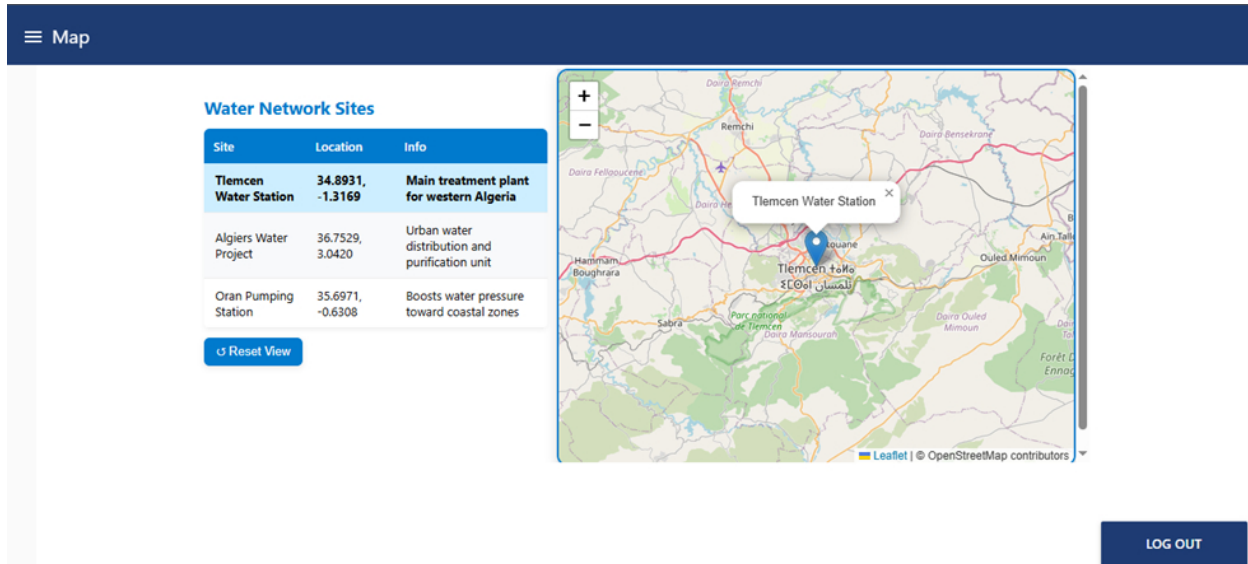


FIG. 4.33 : Carte des chantiers

En complément, une fonctionnalité de notification via Telegram a été intégrée, permettant d’alerter automatiquement l’utilisateur en cas d’anomalie détectée (niveau d’eau critique, pompe inactive, etc.). Ces messages contiennent à la fois un résumé de l’état général du réseau et un diagnostic intelligent facilitant la réactivité et la maintenance à distance. La Figure 4.34 illustre des exemples de notification par Télégram.

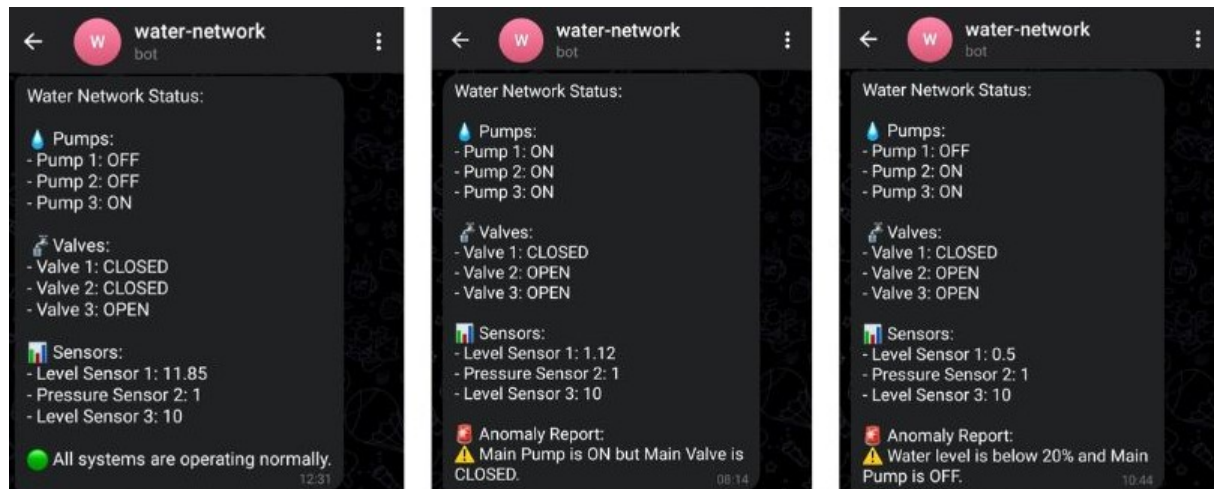


FIG. 4.34 : Messages automatisés de supervision sur Telegram

Tout au long de ce scénario, le système a démontré une stabilité parfaite, sans interruptions ni erreurs, validant ainsi la fiabilité et l’efficacité de l’interface de supervision développée.

## 4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les étapes de développement, d'intégration et de mise en œuvre du système de supervision, depuis la configuration de l'environnement jusqu'à la réalisation du prototype. L'ensemble des résultats obtenus a permis de démontrer le bon fonctionnement du système développé, ainsi que sa conformité aux exigences techniques définies pour la surveillance et le contrôle d'un réseau hydraulique à distance.

La solution proposée permet de gérer à distance un système hydraulique, de garantir une distribution équitable de l'eau dans les différents quartiers d'une ville et de rationaliser la consommation de cette précieuse ressource.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

A travers ce projet, nous avons voulu apporter une contribution concrète à la numérisation des réseaux d'eau, en développant un package Node-RED conçu pour répondre aux réalités du terrain. Ce travail, réalisé dans le cadre de notre projet de fin d'études, s'inscrit dans la dynamique encouragée par le décret ministériel 1275, qui vise à rapprocher l'université du monde professionnel.

Notre expérience en entreprise chez SOGERHWIT a joué un rôle clé dans la mise en place de cette solution. Elle nous a permis de mieux comprendre les contraintes spécifiques liées à la supervision d'un réseau hydraulique et d'adapter notre approche en conséquence. Cette immersion nous a notamment permis de concevoir un outil capable d'assurer la communication via MQTT, la visualisation des données en temps réel via des graphiques SVG, l'enregistrement structuré dans une base de données MySQL, et l'intégration d'un tableau de bord interactif pour la supervision et le pilotage centralisé du système.

Ce projet de fin d'études a également été une réelle opportunité de mettre en pratique nos connaissances en matière de développement, de systèmes embarqués et d'IoT industriel. Il nous a permis de sortir d'un cadre purement académique et de nous confronter à de véritables défis techniques et opérationnels.

Nous espérons que ce package pourra évoluer et être réutilisé dans d'autres projets, notamment dans le cadre de la modernisation des infrastructures de gestion de l'eau à l'échelle locale ou nationale.

## Références Bibliographiques

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] SOGERHWIT. *SOGERHWIT*. Last accessed 18 April 2025. URL : <http://sogerhwit.com>.
- [2] H. OCCIDENTE. *Réservoirs pour réseaux d'incendie*. Last accessed 10 June 2025. 2025. URL : <https://www.hidrosferaoccidente.com/redes-contraincendio>.
- [3] PINDULA. *Government : Drilling A Borehole Requires A Permit From ZINWA*. Last accessed 10 June 2025. 2023. URL : <https://news.pindula.co.zw/2023/07/15/government-drilling-borehole-require-a-permit-from-zinwa/>.
- [4] LAVENIR.CI. *Accès à l'eau potable : Cocody doté de deux nouveaux châteaux d'eau d'ici fin avril*. Last accessed 10 June 2025. 26/02/2024. URL : <https://www.lavenir.ci/gouv-infos/6976-acces-a-leau-potable-cocody-dote-de-deux-nouveaux-chateaux-deau-dici-fin-avril>.
- [5] VISIATIV. *Définition : IoT*. Last accessed 04 April 2025. URL : <https://www.visiativ.com/definition/iot>.
- [6] MACROVECTOR. *Bannière isométrique Internet des objets à domicile*. [https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/banniere-isometrique-internet-of-things-home\\_3861875.htm](https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/banniere-isometrique-internet-of-things-home_3861875.htm). Image issue de Freepik, consultée le 9 mai 2025.
- [7] MACROVECTOR. *Icônes isométriques de sécurité à domicile avec éléments d'alarme et système de surveillance vidéo*. [https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/icones-isometriques-securite-domicile-definies-elements-alar-me-systeme-surveillance-video\\_6841936.htm](https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/icones-isometriques-securite-domicile-definies-elements-alar-me-systeme-surveillance-video_6841936.htm). Image issue de Freepik, consultée le 9 mai 2025.
- [8] DATI-PLUS. *IoT Architecture : Comment est construit un réseau IoT ?* Last accessed 10 April 2025. URL : <https://dati-plus.com/iot-architecture>.
- [9] MONGODB. *IoT Architecture Explained*. Last accessed 10 April 2025. URL : <https://www.mongodb.com/resources/basics/cloud-explained/iot-architecture>.

- [10] A. ITSEKSON. *What Are the 7 Layers of IoT Architecture ?* Last accessed 12 April 2025. 2025. URL : <https://jelvix.com/blog/iot-architecture-layers>.
- [11] M. EUKLIDIAS. *Tomorrow*. Last accessed 10 April 2025. 2023. URL : <https://www.tomorrow.city/bercelonas-innovative-smart-water-management-makes-the-most-of-every-drop/>.
- [12] E. N. LOFTON. *Smart irrigation contrillers and their importance in water conservation*. Last accessed 10 April 2025. 2025. URL : <https://ucanr.edu/blog/socal-urban-water-resources-blog/article/smart-irrigation-controllers-and-their-importance>.
- [13] Michael ALLEN et al. "Case study : A smart water grid in Singapore". In : *Water Practice and Technology* 7 (jan. 2012). Last accessed 11 April 2025.
- [14] STORYSET. *Illustration concept d'analyse de sentiments*. [https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/illustration-concept-analyse-sentiments\\_12832600.htm](https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/illustration-concept-analyse-sentiments_12832600.htm). Image issue de Freepik, consultée le 9 mai 2025.
- [15] A. SINGH. *Modbus communication protocol for industrial machines*. Last accessed 12 April 2025. 2024. URL : <https://www.hacktronic.com/modbus-communication-protocol-for-industrial-machines>.
- [16] ADMIN. *Introduction to message queuing telemetry transport (MQTT) protocol*. Last accessed 12 April 2025. 2024. URL : <https://www.upskillcampus.com/blog/message-queuing-telemetry-transport/>.
- [17] PELION. *Securing IoT communication*. Last accessed 12 April 2025. 2024. URL : <https://pelion.com/knowledge-base/ipsec-internet-protocol-security>.
- [18] SSL. *What is SSL/TLS : an in-depth guide ssl support team*. Last accessed 12 April 2025. 2023. URL : <https://www.ssl.com/article/what-is-ssl-tls-an-in-depth-guide>.
- [19] LINKEDIN. *Securing remote scada operations with a modern VPN architecture*. Last accessed 11 June 2025. 2023. URL : [www.linkedin.com/pulse/securing-remote-scada-operations-with-a-modern-vpn-architecture-idbuc](http://www.linkedin.com/pulse/securing-remote-scada-operations-with-a-modern-vpn-architecture-idbuc).
- [20] KAMSTRUP. *Understunding lorawan for water management*. Last accessed 11 June 2025. 2025. URL : <https://www.kamstrup.com/en-en/insights/lorawan-smart-water-metering>.
- [21] PIKISUPERSTAR. *Tableau de bord affaires du panneau utilisateur*. [https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/tableau-bord-affaires-du-panneau-utilisateur\\_6145189.htm](https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/tableau-bord-affaires-du-panneau-utilisateur_6145189.htm). Image issue de Freepik, consultée le 9 mai 2025.

- [22] MACROVECTOR. *Ordinateur portable avec logiciel de navigation GPS*. [https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/ordinateur-portable-logiciel-navigation-gps\\_5151531.htm](https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/ordinateur-portable-logiciel-navigation-gps_5151531.htm). Image issue de Freepik, consultée le 9 mai 2025.
- [23] MACROVECTOR. *Composition isométrique des services cloud avec éléments connectés en infrastructure cloud computing*. [https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/composition-isometrique-services-cloud-gros-elements-infrastructure-cloud-computing-connectes-lignes-pointillees-illustration-vectorielle\\_7199787.htm](https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/composition-isometrique-services-cloud-gros-elements-infrastructure-cloud-computing-connectes-lignes-pointillees-illustration-vectorielle_7199787.htm). Image issue de Freepik, consultée le 9 mai 2025.
- [24] Mohammad Faiz USMANI. *MQTT Protocol for the IoT – Review Paper*. Last accessed 22 May 2025. 2021. URL : [https://www.researchgate.net/publication/373640610\\_MQTT\\_Protocol\\_for\\_the\\_IoT\\_-\\_Review\\_Paper](https://www.researchgate.net/publication/373640610_MQTT_Protocol_for_the_IoT_-_Review_Paper).
- [25] EBYTE. *Pile de protocoles de communication : protocole TCP et protocole IP*. Last accessed 28 May 2025. 29/11/2024. URL : <https://www.fr-ebyte.com/news/1678>.
- [26] D. LACOUR. *Protocole HTTP : définition et fonctionnement*. Last accessed 28 May 2025. 26/09/2022. URL : <https://nordvpn.com/fr/blog/protocole-http/>.
- [27] T. YLONEN et C. LONVICK. *The Secure Shell (SSH) Protocol Architecture*. Last accessed 28 May 2025. 2006. URL : <https://datatracker.ietf.org/doc/rfc4251/>.
- [28] R. PI. *Raspberry Pi 4 Tech Specs*. Last accessed 28 May 2025. 2025. URL : <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/>.
- [29] R. ZWETSLOOT. *Raspberry Pi 4 specs and benchmarks*. Last accessed 28 May 2025. 2025. URL : <https://magazine.raspberrypi.com/articles/raspberry-pi-4-specs-benchmarks>.
- [30] KITRONIK. *Raspberry Pi 4 Model B/8GB*. Last accessed 10 June 2025. 2025. URL : <https://kitronik.co.uk/products/5043-raspberry-pi-4-model-b-8gb>.
- [31] P. SENSING. *Les types de méthodes les plus courantes de détection de niveau et leurs différences*. Last accessed 28 May 2025. 2025. URL : <https://www.processsensing.com/fr-fr/blog/Les-types-de-m%C3%A9thodes-les-plus-courantes-de-d%C3%A9tection-de-niveau-et-leurs-diff%C3%A9rences.htm>.
- [32] SUPMEEAUTO. *SUP-ZP Ultrasonic level transmitter*. Last accessed 10 June 2025. 2025. URL : <https://www.supmeauto.com/ultrasonic-level-meter/zp-ultrasonic-level-meter>.
- [33] C. KOLSTAD. *Qu'est-ce qu'un capteur de pression ?* Last accessed 28 May 2025. 2025. URL : <https://tameson.fr/pages/transducteurs-de-pression-leur-fonctionnement>.

- [34] RS-ONLINE. *RS PRO Relative Pressure Sensor for Oil, Water, 50mbar Max Pressure Reading, Current*. Last accessed 10 June 2025. 2025. URL : <https://www.rs-online.vn/p/pressure-trans-0-50mbar-g-4-20ma/8285707/>.
- [35] STUDYSMARTER. *Pompes à fluides*. Last accessed 28 May 2025. 2025. URL : <https://www.studysmarter.fr/resumes/ingenierie/mecanique-des-fluides-en-ingenierie/pompes-a-fluides/>.
- [36] ZONLIDA. *Solar Surface DC Vortex Pump Low Voltage 24V/ 48V/ 72V*. Last accessed 10 June 2025. 2025. URL : <https://zonlida.com/our-product/solar-surface-vortex-pump/>.
- [37] M. LUNDBERG. *What is Node-RED?* Last accessed 13 April 2025. 2025. URL : <https://www.impulse-embedded.co.uk/info/what-is-node-red.htm>.
- [38] MICROSOFT. *Microsoft*. Last accessed 13 April 2025. 2025. URL : <https://apps.microsoft.com/detail/9pd9bhglfc7h?hl=en-US&gl=US>.
- [39] LENOVO. *Lenovo*. Last accessed 13 April 2025. 2025. URL : <https://www.lenovo.com/us/en/glossary/putty/?orgRef=https%5C%253A%5C%252F%5C%252Fsearch.brave.com%5C%252>.
- [40] VNC-Viewer TEAM. *Access remote desktops with this app*. Last accessed 13 April 2025. 2025. URL : <https://vnc-viewer.en.softonic.com/>.
- [41] MYSQL. *MySQL*. Last accessed 13 April 2025. 2025. URL : <https://www.mysql.com/products/workbench/>.
- [42] MOSQUITTO. *Mosquitto*. Last accessed 13 April 2025. 2025. URL : <https://mosquitto.org/>.
- [43] B. LUTKEVICH. *What is GitHub?* Last accessed 13 April 2025. 2024. URL : <https://www.techtarget.com/searchitoperations/definition/GitHub>.

BUSINESS MODEL CANVAS (BMC)

## **Business Model Canvas (BMC)**



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen

## Business Model Canvas

# BMC

**N° de projet :** FS-074.

**Faculté/Institut :** Faculté des sciences.

**Département :** informatique.

**Nom du projet :** Développement d'un Package Node-RED dédié aux Réseaux d'Eau.

**Encadrant 1 :** Lehsaini Mohammed.

**Co-encadrant 1 :** Benaissa Amine.

**Etudiants :**

- Benaissa Hanane.
- Zitouni Ikram.

Année universitaire : 2024/2025



## 1- Proposition de valeur :

### a. Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?

- Coût élevé des systèmes de supervision classiques.
- Difficulté de déploiement dans les zones éloignées.
- Accès limité aux données en temps réel sur tout le réseau.
- Absence d'interface personnalisable et intuitive.
- Manque de flexibilité pour ajouter ou modifier des équipements.
- Faible adaptabilité aux petits réseaux distribués.

### b. Quels besoins de nos clients satisfont nos produits ou services ?

- La surveillance continue et en temps réel du réseau d'eau.
- La distribution équitable et maîtrisée de la ressource.
- La réduction des coûts liés à l'exploitation et à la maintenance.
- L'accès à des données fiables pour orienter les décisions.
- L'automatisation des opérations pour améliorer l'efficacité.
- La visualisation claire et intuitive de l'état des infrastructures.
- La supervision des réseaux en milieux ruraux ou étendus.

### c. En quoi notre offre est-elle différente de celle de nos concurrents ?

- Développement d'un package Node-RED spécifique aux réseaux d'eau, contrairement aux solutions génériques existantes.
- Intégration d'éléments graphiques adaptés aux infrastructures hydrauliques (pompes, réservoirs, vannes, fuites, etc.).
- Compatibilité native avec les protocoles industriels comme Modbus et MQTT.
- Utilisation de technologies open source, économiques et facilement personnalisables.
- Architecture légère permettant une utilisation dans des zones à connectivité limitée.
- Approche modulaire répondant aux besoins spécifiques des collectivités et opérateurs locaux.

### d. Quelles est notre proposition unique de valeur ?

Nous proposons un package Node-RED entièrement conçu pour les réseaux d'eau, intégrant une interface graphique interactive avec des éléments spécifiques aux infrastructures hydrauliques. Cette solution sur mesure, développée en interne, se distingue par son adaptation directe aux besoins du terrain, son ouverture technologique et sa capacité à fonctionner dans des environnements à faible connectivité.

## 2- Segments de clients :

### a. Quels sont nos clients principaux ?

- Collectivités locales et municipalités.
- Agences publiques de gestion des ressources en eau.
- Entreprises spécialisées dans la maintenance ou l'exploitation des réseaux hydrauliques.
- Exploitants agricoles utilisant l'irrigation automatisée.
- Complexes résidentiels, touristiques ou hôteliers avec infrastructures hydrauliques internes.
- Zones industrielles disposant de réseaux d'eau autonomes.
- Organisations non gouvernementales (ONG) opérant en milieu rural.
- Bureaux d'études et intégrateurs IoT.
- Universités et centres de recherche.

### b. Quels sont les différents segments de clients que nous visons ?

- Petites et moyennes collectivités rurales à budget limité.
- Exploitants agricoles ayant besoin d'un suivi simple et fiable de l'irrigation.
- ONG ou projets de développement opérant dans des zones isolées.
- Complexes résidentiels ou touristiques avec une infrastructure légère à superviser.
- Bureaux d'études ou établissements académiques développant des prototypes ou tests de terrain.
- Startups ou acteurs locaux cherchant une solution open-source et économique.

### c. Quels sont les besoins spécifiques de chaque segment de clients ?

- **Collectivités rurales**  
Suivi en temps réel, alertes simples, solution peu coûteuse et facile à maintenir.
- **Exploitants agricoles**  
Contrôle à distance de l'irrigation, surveillance des niveaux et des débits, autonomie énergétique.
- **ONG et projets de développement**  
Système déployable rapidement, faible coût, fonctionnement dans des zones sans infrastructure.
- **Complexes résidentiels ou touristiques**  
Supervision locale, alertes de niveau ou de panne, visualisation intuitive.
- **Bureaux d'études et établissements académiques**  
Plateforme ouverte, personnalisable, adaptée aux tests de terrain ou à la formation.
- **Startups et intégrateurs locaux**  
Système modulaire, interopérable avec d'autres solutions IoT, support open-source.

### d. Comment pouvons-nous catégoriser nos clients en groupes distincts ?

- Selon leur nature : acteurs publics, privés et associatifs
- Selon leur usage : utilisateurs de réseaux étendus ou de sites isolés
- Selon leur objectif : projets pilotes, éducatifs ou expérimentaux
- Selon leurs ressources : clients à faible, moyen ou haut budget



- Selon leur localisation : zones rurales, urbaines ou hors réseau

### **3- Relation avec les clients :**

#### **a. Quel type de relation chaque segment de clients attend il de nous ?**

- Une relation de confiance basée sur la fiabilité et la transparence pour les collectivités locales et agences publiques.
- Un accompagnement technique personnalisé pour les entreprises d'exploitation et maintenance.
- Un support réactif et une formation adaptée pour les petites collectivités rurales.
- Une collaboration étroite et des échanges réguliers avec les ONG et organismes de développement durable.
- Un service flexible et évolutif répondant aux besoins spécifiques des industries.

#### **b. Comment entretenons-nous actuellement les relations avec nos clients ?**

Nous maintenons une relation directe et personnalisée avec notre client principal, SOGERHWIT. La collaboration repose sur des échanges réguliers pour bien comprendre leurs besoins spécifiques et développer une interface sur mesure adaptée à leur réseau d'eau. Le suivi se fait à travers des réunions techniques fréquentes et des tests sur le terrain, ce qui nous permet d'ajuster rapidement notre solution en fonction de leurs retours et d'assurer une adaptation optimale.

#### **c. Comment pouvons-nous améliorer ou personnaliser nos interactions avec nos clients ?**

Nous pouvons renforcer nos interactions en mettant en place des outils de communication plus réactifs, comme des plateformes de messagerie instantanée dédiées au suivi du projet. Offrir des sessions de formation et d'accompagnement personnalisées permettra aussi de mieux répondre aux besoins spécifiques de chaque client. Par ailleurs, instaurer un système de retour d'expérience structuré facilitera la prise en compte rapide des remarques et suggestions. Enfin, proposer des démonstrations régulières des évolutions du produit et des mises à jour adaptées renforcera la confiance et l'engagement de nos clients.

### **4-Canaux de distribution :**

#### **a- Par quels canaux nos clients veulent-ils être atteints ?**

Nos clients préfèrent être contactés principalement via des échanges directs et personnalisés, tels que les réunions en présentiel ou les visioconférences, qui permettent un dialogue clair et



efficace. Ils apprécient également l'utilisation d'emails pour le partage de documents techniques et les comptes rendus.

### **b- Quels canaux sont les plus efficaces pour atteindre chaque segment de clients ?**

Pour les collectivités locales et les agences publiques, les réunions en présentiel et les visioconférences sont particulièrement efficaces, car elles facilitent les échanges approfondis et la présentation de solutions techniques. Les entreprises de maintenance et d'exploitation privilégient souvent les emails et les plateformes numériques dédiées, qui permettent un suivi précis des interventions et une communication claire. Les petites collectivités rurales bénéficient d'un contact plus direct via des appels téléphoniques et des messageries instantanées, adaptés à leurs besoins de réactivité.

### **c- Comment pouvons-nous intégrer différents canaux pour améliorer l'expérience clients ?**

Nous pouvons améliorer l'expérience client en combinant des canaux complémentaires selon les préférences et les besoins de chaque segment. Par exemple, les réunions en visioconférence peuvent être accompagnées de comptes rendus envoyés par email pour assurer un suivi clair. Une plateforme en ligne centralisée pourrait regrouper les documents techniques, les rapports, et permettre des échanges en temps réel. L'ajout d'un canal de messagerie instantanée pour les demandes urgentes renforcerait la réactivité. En intégrant ces canaux de manière cohérente, nous offrons une communication fluide, accessible et adaptée à chaque type de client.

## **5-Partenaires clés :**

### **a. Qui sont nos partenaires clés ?**

- SOGERHWIT, en tant que client principal et partenaire de terrain pour le développement et le test de la solution.
- Les fournisseurs de matériel électronique et de capteurs pour l'installation du réseau physique.
- Les institutions académiques et centres de recherche pour l'appui technique et l'innovation.
- Les collectivités locales et agences publiques comme relais pour la diffusion et l'adoption de la solution.

### **b. Quels sont les partenariats qui nous aident à réduire les coûts, à accéder à de nouvelles ressources ou à améliorer notre proposition de valeur ?**

- La collaboration avec SOGERHWIT permet de tester directement la solution sur le terrain sans coûts supplémentaires de simulation.
- Les partenariats avec des fournisseurs locaux réduisent les coûts logistiques et facilitent l'approvisionnement en matériel.



- Les partenariats institutionnels facilitent l'accès à des financements, des données officielles et des opportunités de déploiement à grande échelle.

### c. Comment pouvons-nous aligner nos intérêts avec ceux de nos partenaires ?

Nous pouvons aligner nos intérêts en mettant en place une collaboration basée sur des objectifs communs, comme l'amélioration de la gestion de l'eau et la réduction des pertes. Il est essentiel d'impliquer les partenaires dès les premières phases du développement pour qu'ils contribuent activement aux choix techniques et stratégiques. En valorisant leurs retours et en adaptant notre solution à leurs besoins réels, nous renforçons leur engagement. De plus, proposer un partage équitable des bénéfices, qu'ils soient économiques ou sociaux, permet de créer une relation de partenariat durable, fondée sur la confiance et la co-construction.

## 6-Activités clés :

### a. Quelles sont les actions principales que nous devons entreprendre pour livrer notre proposition de valeur ?

- Création d'un package Node-RED sur mesure pour superviser et contrôler les réseaux d'eau en temps réel.
- Connexion des capteurs (débit, pression, niveau) via l'armoire de commande en MQTT.
- Stockage des données dans MySQL pour analyse et historique.
- Déploiement de l'interface de supervision sur un navigateur web.

### b. Quelles sont les opérations essentielles pour notre entreprise ?

- Installation et configuration de l'armoire de commande (automate, relais, alimentation, protection).
- Communication entre équipements (RTU) et système central via Modbus TCP/RTU.
- Maintenance logicielle (mise à jour du package SVG, sécurité Node-RED).

### c. Quelles sont les activités qui créent le plus de valeur pour nos clients ?

- Supervision en direct du réseau avec affichage visuel clair.
- Commande manuelle ou automatique des éléments du réseau via le dashboard.
- Réduction des pertes d'eau et optimisation des interventions techniques.
- Système d'authentification sécurisé pour contrôler les accès.

## 7- Ressources clés :

### a. Quels sont nos actifs matériels, immatériels et humains essentiels ?

#### ❖ Matériels :

- Armoire de commande (automate programmable, relais, bornier, alimentation 24V).

- Capteurs (débitmètres, pressostats, détecteurs de niveau).
- Équipements réseaux (switch industriel, modem, pc portable).
- Raspberry pi 4.
- ❖ **Immatériels :**
- Plateforme principale : Node-RED (open source).
- Interface : Dashboard Node-RED.
- Base de données : MySQL, avec structure optimisée.
- Communication : MQTT et Modbus.
- ❖ **Humains :**
- Développeur Node-RED / intégrateur SCADA.
- Technicien en automatisme.

**b. Quels sont les outils, les technologies ou les partenariats dont nous avons besoin pour réussir ?**

- Node-RED (plateforme open-source principale).
- MySQL pour le stockage des données.
- Dashboard Node-RED pour l'interface utilisateur.
- Partenariats avec fournisseurs de capteurs et armoires.

**c. Quels sont les principaux avantages concurrentiels de nos ressources ?**

- Système open-source et personnalisable, sans coût de licence SCADA classique.
- Intégration facile dans des réseaux existants (industries, collectivités locales).
- Visualisation SVG temps réel avec interactivité.
- Interface web légère, sans logiciel propriétaire à installer.

## 8- Charges et coûts :

**a. Quels sont les coûts fixes et variables associés à notre modèle économique ?**

❖ **Fixes :**

- **Salaire de l'ingénieur développeur** : environ 80 000 DZD pour un mois de travail consacré au développement du package Node-RED SVG (interface, intégration des éléments graphiques, communication avec les capteurs).
- **Temps supplémentaire pour les tests et le design** : environ 20 000 DZD pour la validation des fonctionnalités, l'animation SVG, et la conception de l'interface utilisateur.
- **Matériel de base** : environ 50 000 DZD pour l'achat d'un Raspberry Pi 4, d'une carte microSD, d'un boîtier électrique, de câbles et d'une alimentation.
- **Capteurs** : environ 30 000 DZD pour un capteur de niveau à ultrasons et un capteur de pression.
- **Microcontrôleurs et composants électroniques** : environ 15 000 DZD pour des cartes NodeMCU, relais, connecteurs, etc.



- **Documentation technique** : environ 10 000 DZD pour la rédaction des guides d'utilisation, schémas de câblage, et notices de déploiement.

❖ **Variables :**

- **Maintenance logicielle** : environ 20 000 DZD/an pour les mises à jour du package Node-RED, les correctifs, et l'amélioration continue des fonctionnalités.
- **Remplacement de capteurs défectueux** : environ 15 000 DZD/an, en prévoyant le remplacement d'environ 2 capteurs (niveau ou pression) par an.
- **Interventions techniques sur site** : environ 10 000 DZD/an, pour les déplacements et la main-d'œuvre en cas de panne ou de besoin d'ajustement.
- **Hébergement web ou local (facultatif)** : environ 12 000 DZD/an si l'on utilise un serveur cloud (VPS) pour l'interface à distance et le stockage de données.

**b. Quels sont les coûts les plus importants pour notre entreprise ?**

- **Développement complet du package Node-RED personnalisé** : environ 100 000 DZD, incluant les fonctionnalités de dessin SVG, animation des éléments, affichage dynamique et stockage des données.
- **Installation et configuration des équipements sur le terrain** : environ 40 000 DZD, couvrant les frais de main-d'œuvre, câblage, tests, et mise en service des capteurs, microcontrôleurs et interfaces.
- **Support technique personnalisé** : environ 30 000 DZD/an, selon les besoins spécifiques des clients pour l'assistance, la formation, ou les adaptations du système.

**c. Comment pouvons-nous réduire les coûts ou améliorer l'efficacité de nos opérations ?**

- Automatisation du déploiement avec scripts Node-RED (JSON).
- Utilisation de composants standards et reconfigurables.
- Réutilisation du package sur plusieurs projets (scalabilité).
- Centralisation de gestion à distance.

## 9- Revenus :

**a. Quels produits ou services nos clients sont-ils prêts à payer ?**

- Installation clé en main du système (dashboard + armoire + configuration).
- Support technique annuel (contrat de maintenance).
- Services complémentaires (historique de consommation, rapports PDF, etc.).

**b. Quels sont les différents moyens par lesquels nous pouvons générer des revenus ?**

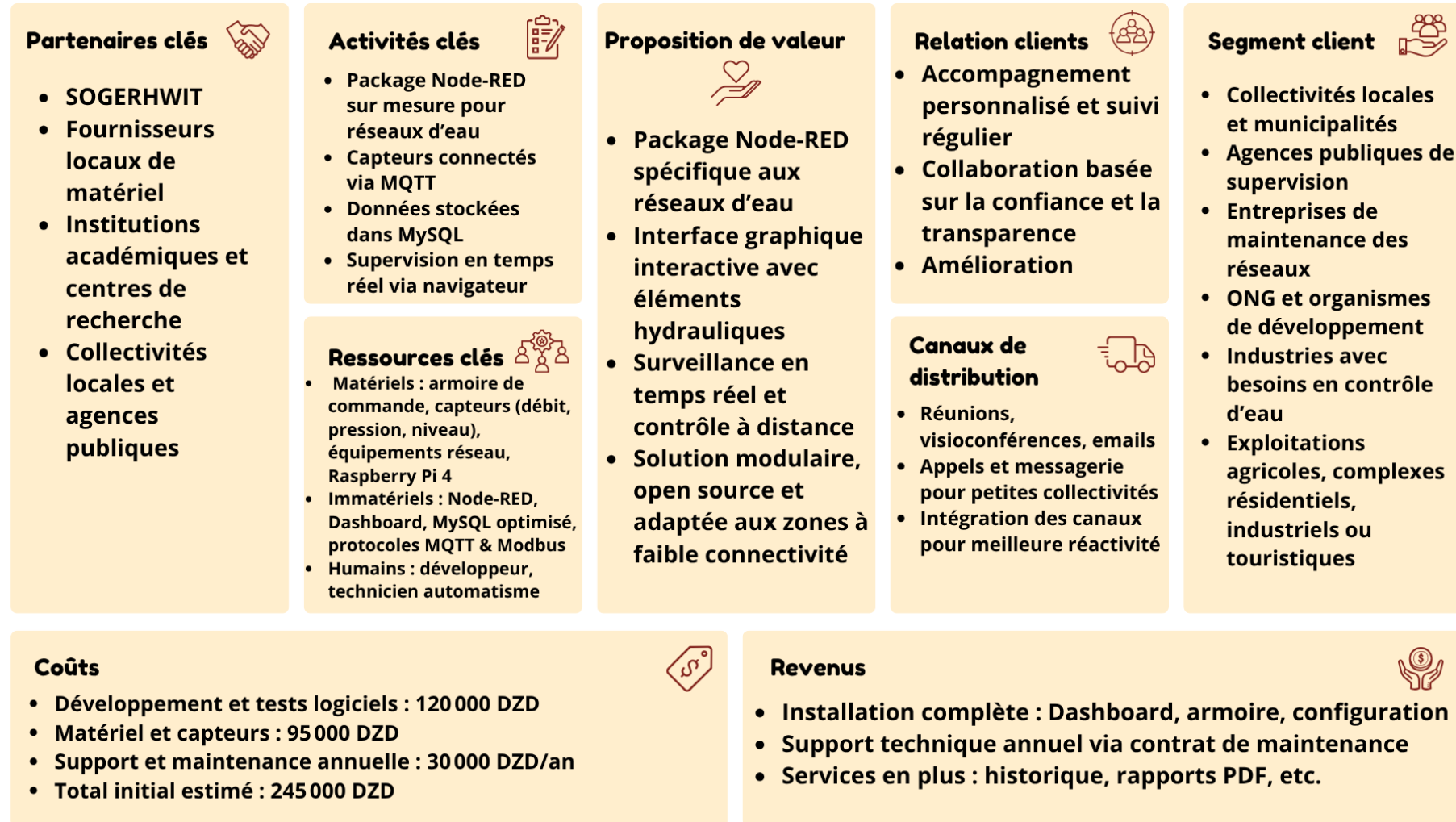


- Facturation par projet (installation complète avec armoire).
- Abonnement mensuel/annuel pour maintenance, mises à jour et support.
- Formation des agents de maintenance ou responsables de régie.

**c. Quel est notre modèle de tarification ?**

- Tarif fixe pour les petites installations (1 à 3 sites, package de base).
- Modèle modulaire pour les grandes installations (par nombre de capteurs ou d'équipements gérés).
- Tarification annuelle pour les mises à jour et le support technique.

## Buisness Model Canvas



# Résumé

L'objectif de ce projet est de développer un package personnalisé appelé "Water-Network" sous Node-RED, dédié à la gestion intelligente des réseaux d'eau. Ce package intègre des noeuds spécifiques pour le tableau de bord, SVG, SQL et Modbus, permettant respectivement la supervision graphique, la visualisation schématique, la gestion des données et la communication industrielle. Pour valider le fonctionnement du package, un prototype a été mis en place en utilisant un Raspberry Pi, connecté à différents équipements tels que des capteurs de niveau et de pression, des pompes et des vannes. L'ensemble du système est contrôlé via l'interface graphique du package, ce qui permet d'afficher les mesures en temps réel et de contrôler directement les actionneurs dans un environnement de test représentatif d'un réseau hydraulique automatisé

**Mots clés :** Node-RED, IoT, Télégestion, Capteurs, Package "Water-Network"

# Abstract

The aim of this project is to develop a custom package called 'Water-Network' under Node-RED, dedicated to the intelligent management of water networks. This package integrates specific nodes for the dashboard, SVG, SQL and Modbus, enabling graphical supervision, schematic visualisation, data management and industrial communication respectively. To validate the package's operation, a prototype was set up using a Raspberry Pi, connected to various items of equipment such as level and pressure sensors, pumps and valves. The entire system is controlled via the package's graphical interface, enabling measurements to be displayed in real time and actuators to be controlled directly in a test environment representative of an automated hydraulic network.

**Keywords :** Node-RED, IoT, Remote management, Sensors, Package "Water-Network"

# ملخص

يهدف هذا المشروع إلى تطوير حزمة مخصصة تُسمى "شبكة المياه" ضمن نظام Node-RED، مُخصصة للإدارة الذكية لشبكات المياه. تُدمج هذه الحزمة عُقدًا مُحددة للوحة التحكم، ولغة SVG، ولغة SQL، ولغة Modbus، مما يُتيح الإشراف الرسومي، وتصور المخططات، وإدارة البيانات، والاتصالات الصناعية على التوالي. للتحقق من صحة عمل الحزمة، تم إعداد نموذج أولي باستخدام Raspberry Pi، مُتصلاً بمعدات مُختلفة مثل مُستشعرات المستوى والضغط، والمضخات، والصمامات. يتم التحكم في النظام بأكمله عبر الواجهة الرسومية للحزمة، مما يُتيح عرض القياسات آنياً، والتحكم في المُشغلات مباشرةً في بيئة اختبار تمثل شبكة هيدروليكية آلية.

**الكلمات المفتاحية:** Node-RED إنترنت الأشياء، الإدارة عن بُعد، أجهزة الاستشعار، حزمة شبكة المياه