

Mini Projet

Développements Numerique

Emsi System : Educational management
system

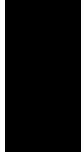
3^{eme} Année Ingénierie Informatique et Réseaux

Réalisé par :

Youssef BENMOUSSA

Encadré par :

Dr. Fouzia El Abassi



Dédicace

Nous dédions ce projet au travail que nous avons accompli, à notre persévérance et à notre engagement personnel durant ces derniers jours. Réalisé en un temps limité, ce projet représente le fruit de notre collaboration, de notre organisation et de nos efforts communs.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à notre encadrant pour son suivi et ses orientations, qui ont contribué à structurer notre démarche et à enrichir notre réflexion.

Enfin, nous souhaitons souligner l'esprit d'équipe et la motivation partagée au sein de notre binôme, constituant la base de la réalisation de ce mini projet AtlasWater, consacré à la gestion intelligente de la ressource hydrique.



Remerciements

Nous tenons à exprimer notre vive reconnaissance à **Dr. Abdelati REHA**, notre encadrant, pour sa disponibilité, son suivi et ses orientations précieuses qui ont contribué à la réussite de ce mini-projet **AtlasWater**.

Ce travail est également le fruit d'une collaboration étroite et efficace au sein de notre binôme. L'entraide et la motivation partagée nous ont permis de mener à bien cette réalisation dans les délais impartis.

Enfin, nous remercions le corps professoral de l'**EMSI** pour la qualité de la formation dispensée et les connaissances transmises.



Abstract

In a national context marked by increasing water stress, the rational management of water resources has become a strategic priority for Morocco. This mini-project, titled **AtlasWater**, proposes an IoT (**Internet of Things**) solution for the monitoring and automated management of water tanks.

This report first presents an in-depth theoretical study of IoT concepts, including a comparative analysis of communication protocols (**LoRa**, **ZigBee**, **Wi-Fi**) and associated modulation techniques. It then details the design and simulation of an intelligent system using Cisco Packet Tracer. This system allows for real-time water level monitoring, leak detection, and automated refilling, thereby minimizing human intervention and waste.



Résumé

Dans un contexte national marqué par un stress hydrique croissant, la gestion rationnelle des ressources en eau est devenue une priorité stratégique pour le Maroc. Ce mini-projet, intitulé **AtlasWater**, propose une solution IoT (**Internet of Things**) pour la surveillance et la gestion automatisée des réservoirs d'eau.

Ce rapport présente d'abord une étude théorique approfondie des concepts de l'IoT, incluant une analyse comparative des protocoles de communication (**LoRa, ZigBee, Wi-Fi**) et des techniques de modulation associées. Ensuite, il détaille la conception et la simulation d'un système intelligent sous Cisco Packet Tracer. Ce système permet de surveiller le niveau d'eau en temps réel, de détecter les fuites et d'automatiser le remplissage, minimisant ainsi l'intervention humaine et le gaspillage.



Glossaire

IoT	:	Internet des Objets, réseau d'objets connectés capables de collecter et transmettre des données.
Capteur de niveau	:	Dispositif mesurant le pourcentage de remplissage d'un réservoir.
Capteur de débit	:	Capteur mesurant la quantité d'eau circulant par unité de temps.
Capteur d'humidité	:	Capteur détectant l'humidité du sol pour la gestion de l'irrigation.
Actionneur	:	Élément qui effectue une action (ouvrir une vanne, activer une pompe).
Pompe électrique	:	Dispositif permettant de remplir un réservoir ou d'augmenter la pression.
Vanne intelligente	:	Vanne motorisée contrôlée automatiquement pour gérer l'écoulement de l'eau.
Serveur IoT	:	Serveur recevant les données des capteurs et contrôlant les actionneurs.
MQTT	:	Protocole léger de communication IoT basé sur le modèle Publish/Subscribe.
Topic	:	Canal de communication MQTT où capteurs et actionneurs publient leurs messages.

Modulation	: Technique permettant d'envoyer des données via un signal radio.
Bande de fréquence	: Gamme de fréquences radio utilisée pour la communication sans fil (ex : 2.4 GHz).
Débit	: Quantité de données transmise par seconde.
Portée	: Distance maximale entre deux appareils pouvant communiquer.
Latence	: Temps entre l'envoi et la réception d'un message.
Domotique	: Automatisation intelligente appliquée à l'habitat et aux infrastructures.
WLAN	: Réseau local sans fil permettant la communication des objets IoT.
Packet Tracer	: Logiciel de simulation réseau utilisé pour modéliser le système AtlasWater.
Scénario	: Description du contexte simulé : gestion intelligente d'un réservoir d'eau.
Automatisation	: Processus permettant au système de prendre des décisions sans intervention humaine.
Fuite	: Perte d'eau détectée par un débit anormalement élevé.
Seuil	: Valeur limite déclenchant une action (ex : niveau < 10%).
LoRaWAN	: Protocole de communication radio à longue portée et très basse consommation, idéal pour l'agriculture connectée au Maroc.
ZigBee	: Protocole de communication sans fil à courte portée et faible consommation, souvent utilisé pour la domotique en réseau maillé.

- Gateway (Passerelle)** : Équipement intermédiaire (comme le Home Gateway dans Packet Tracer) qui permet de relier les capteurs sans fil au réseau IP/Internet.
- Microcontrôleur** : Circuit intégré compact conçu pour régir une opération spécifique dans un système embarqué (ex: traiter les données du capteur de niveau).
- Adresse IP** : Numéro d'identification unique attribué à chaque appareil (Gateway, Smartphone) connecté à un réseau informatique utilisant l'Internet Protocol.
- Latence** : Délai de transmission des données entre la source (le capteur) et la destination (le tableau de bord). Critique pour les alertes en temps réel.
- Wi-Fi (Wireless Fidelity)** : Ensemble de protocoles de communication sans fil régis par les normes du groupe IEEE 802.11, utilisé dans notre simulation pour la connectivité locale.



Table des matières

Dédicace	II
Remerciements	III
Abstract	IV
Résumé	V
Glossaire	VI
Liste des tableaux	XI
Introduction générale	1
1 Présentation du projet AtlasWater	3
1.1 Introduction	4
1.2 Problématique de stress hydrique	4
1.3 Objectifs du projet	4
1.4 Description générale du système AtlasWater	5
1.5 Acteurs et cas d'usage	5
1.6 Conclusion	5
2 Concepts de l'Internet des Objets (IoT)	6
2.1 Définition de l'IoT	7
2.2 Architecture IoT	7
2.3 Protocoles IoT (MQTT, HTTP...)	7
2.4 Normes de communication (Wi-Fi, ZigBee, LoRa...)	8
2.5 Portée, fréquence et débit	9
2.6 Techniques de modulation	10
2.6.1 Modulations classiques	10
2.6.2 Modulations à spectre étalé (Spread Spectrum)	10

3	Simulation et Réalisation sous Packet Tracer	12
3.1	Introduction	13
3.2	Architecture et Topologie Réseau	13
3.3	Nomenclature et choix des composants	14
3.3.1	Le Nœud Central : Home Gateway	14
3.3.2	Le Capteur de Niveau (Modélisation)	14
3.3.3	L’Actionneur Hydraulique : La Pompe	15
3.3.4	Le Système d’Alerte : La Sirène	15
3.3.5	L’Interface de Supervision : Smartphone	16
3.4	Logique d’Automatisation (Scénarios)	16
3.5	Résultats et Validation Visuelle	17
3.5.1	État 1 : Niveau Normal (Repos)	17
3.5.2	État 2 : Niveau Critique (Action)	18
3.6	Conclusion	18
	Conclusion générale	19
	Bibliographie	21



Liste des tableaux

Table 2.1	Tableau comparatif technique des protocoles IoT	9
-----------	---	---



Introduction générale

À l'ère de la transformation numérique et de l'Industrie 4.0, l'Internet des Objets (IoT) s'impose comme un levier technologique incontournable, redéfinissant les interactions entre le monde physique et les systèmes numériques. Cette technologie, capable de collecter, transmettre et traiter des données sans intervention humaine directe, trouve aujourd'hui des applications critiques dans des secteurs aussi variés que l'industrie, la santé ou l'environnement.

Pour le Royaume du Maroc, l'adoption de ces technologies revêt une importance stratégique particulière. Confronté à un stress hydrique structurel et à une succession d'années de sécheresse, le pays se doit d'innover pour rationaliser sa gestion des ressources naturelles. Les méthodes traditionnelles de surveillance des réservoirs d'eau et des réseaux de distribution, souvent manuelles et réactives, montrent leurs limites face à l'urgence de la préservation de la ressource.

C'est dans ce contexte d'urgence écologique et d'opportunité technologique que s'inscrit le mini-projet **AtlasWater**. Ce projet vise à concevoir, modéliser et simuler une solution IoT complète dédiée à la gestion intelligente d'un réservoir d'eau. L'objectif est double : assurer une supervision en temps réel pour prévenir le gaspillage (fuites, débordements) et automatiser les mécanismes de pompage pour une efficacité énergétique optimale.

Afin de mener à bien cette étude et de répondre au cahier des charges, le présent rapport s'articule autour de trois chapitres principaux, structurés selon une démarche d'ingénierie rigoureuse :

- **Le premier chapitre** est consacré à la **présentation du projet AtlasWater**. Il définit le cadre contextuel, analyse la problématique du stress hydrique au Maroc et identifie les besoins fonctionnels du système. Ce chapitre pose également les bases du scénario

d'application, en définissant les acteurs, les cas d'usage et les spécifications techniques attendues.

- **Le deuxième chapitre** aborde les **concepts fondamentaux de l'IoT**. Il s'agit d'une étude théorique approfondie qui détaille l'architecture en couches de l'Internet des Objets. Une attention particulière est portée à l'analyse comparative des protocoles de communication (Wi-Fi, ZigBee, LoRa, MQTT) et à l'étude des couches physiques (fréquences, techniques de modulation comme le DSSS ou le CSS), justifiant ainsi les choix technologiques opérés pour le projet.
- **Le troisième chapitre** présente la **réalisation pratique et la simulation**. Il décrit la mise en œuvre de l'architecture réseau sous l'environnement *Cisco Packet Tracer*. Ce chapitre détaille la topologie retenue, la configuration des équipements (capteurs, actionneurs, passerelle), l'implémentation des règles logiques d'automatisation, ainsi que les résultats des tests fonctionnels validant la performance du système **AtlasWater**.

À travers cette démarche, ce rapport ambitionne de démontrer comment une solution IoT, bien conçue et simulée, peut apporter une réponse concrète et viable aux défis de la gestion hydrique.

Présentation du projet AtlasWater

Contenu

1.1	Introduction	4
1.2	Problématique de stress hydrique	4
1.3	Objectifs du projet	4
1.4	Description générale du système AtlasWater	5
1.5	Acteurs et cas d'usage	5
1.6	Conclusion	5

1.1 Introduction

La gestion de l'eau est souvent sujette à des inefficacités notables, particulièrement dans les zones rurales ou semi-urbaines où les infrastructures de stockage (châteaux d'eau, citernes agricoles) sont gérées manuellement. Le projet AtlasWater propose une approche moderne basée sur la télémesure et le contrôle à distance pour pallier ces insuffisances.

1.2 Problématique de stress hydrique

Le Maroc fait face à une raréfaction croissante de ses ressources en eau. Selon les rapports récents, le taux de remplissage des barrages a atteint des niveaux critiques. Au-delà du manque de précipitations, une part significative de l'eau potable ou agricole est perdue à cause de fuites non détectées ou de débordements de réservoirs mal surveillés.

La problématique centrale de ce projet est donc la suivante : *Comment l'application des technologies IoT peut-elle permettre une supervision autonome et efficace des réservoirs d'eau afin de minimiser le gaspillage et garantir la disponibilité de la ressource ?*

1.3 Objectifs du projet

Les objectifs du système AtlasWater sont multiples et se déclinent comme suit :

- **Supervision en temps réel** : Permettre une visualisation instantanée du niveau d'eau via un tableau de bord.
- **Automatisation** : Gérer le remplissage du réservoir sans intervention humaine (activation/désactivation de la pompe selon des seuils critiques).
- **Sécurité et Alerte** : Détecter les situations anormales (débit de sortie incohérent suggérant une fuite, ou débordement imminent) et déclencher des alertes sonores ou visuelles.
- **Efficacité énergétique** : Proposer une architecture réseau adaptée aux contraintes d'énergie, typiques des sites isolés.

1.4 Description générale du système AtlasWater

Le système AtlasWater repose sur une boucle de régulation fermée. Il est composé de capteurs (niveau, humidité, débit) qui collectent les données physiques du réservoir. Ces données sont transmises via une passerelle (Gateway) vers un contrôleur central.

Le contrôleur analyse les données selon des règles préétablies (Algorithme IF/THEN) et envoie des ordres aux actionneurs (vannes, pompes, sirènes). L'ensemble du système est simulé pour valider la logique de contrôle et le choix des protocoles de communication.

1.5 Acteurs et cas d'usage

Le système s'adresse principalement à deux types d'acteurs :

1. **L'exploitant agricole** : Il souhaite automatiser l'irrigation et s'assurer que sa citerne est toujours remplie sans déborder.
2. **Les gestionnaires d'infrastructures collectives** : Ils ont besoin d'une vue d'ensemble sur l'état des réserves d'eau d'une commune ou d'un bâtiment.

Un cas d'usage typique est le scénario de "Remplissage Autonome" : lorsque le capteur détecte un niveau inférieur à 10%, la pompe s'active automatiquement jusqu'à atteindre 90%, moment où elle se coupe pour éviter tout gaspillage.

1.6 Conclusion

Ce premier chapitre a permis de poser les bases fonctionnelles du projet AtlasWater. La pertinence de ce système réside dans sa capacité à répondre à un enjeu environnemental majeur par une solution technique automatisée. Le chapitre suivant s'attachera à décrire les technologies habilitantes de l'IoT qui rendent cette solution possible.

Concepts de l'Internet des Objets (IoT)

Contenu

2.1	Définition de l'IoT	7
2.2	Architecture IoT	7
2.3	Protocoles IoT (MQTT, HTTP...)	7
2.4	Normes de communication (Wi-Fi, ZigBee, LoRa...)	8
2.5	Portée, fréquence et débit	9
2.6	Techniques de modulation	10
2.6.1	Modulations classiques	10
2.6.2	Modulations à spectre étalé (Spread Spectrum)	10

2.1 Définition de l'IoT

L'Internet des Objets (IoT) ne se limite pas à la connexion d'ordinateurs. Il s'agit d'une infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables. Concrètement, l'IoT permet de passer du monde physique (données analogiques) au monde numérique (données binaires exploitables) sans saisie humaine.

2.2 Architecture IoT

L'architecture d'un système IoT est généralement modélisée en quatre couches distinctes :

1. **Couche de Perception (Device Layer) :** C'est la couche matérielle constituée des capteurs (qui collectent l'information) et des actionneurs (qui agissent sur l'environnement). Dans AtlasWater, cela correspond au capteur de niveau et à la pompe.
2. **Couche Réseau (Network Layer) :** Elle assure la transmission des données collectées vers le système de traitement. Elle englobe les protocoles de communication (ZigBee, LoRa, Wi-Fi) et les passerelles (Gateways).
3. **Couche de Traitement (Processing/Middleware) :** Elle assure le stockage, l'analyse et le traitement des données (Cloud Computing ou Edge Computing).
4. **Couche Application :** C'est l'interface homme-machine (IHM) qui présente les données traitées à l'utilisateur final sous forme de graphiques ou d'alertes.

2.3 Protocoles IoT (MQTT, HTTP...)

Les objectifs du système AtlasWater sont multiples et se déclinent comme suit :

La couche applicative de l'IoT repose sur des protocoles spécifiques optimisés pour les contraintes des objets connectés.

- **HTTP (Hypertext Transfer Protocol)** : Bien que standard sur le web, HTTP est un protocole "lourd" et verbeux, fonctionnant en mode requête/réponse. Il est peu adapté aux capteurs sur batterie car il nécessite beaucoup de bande passante et de maintien de connexion TCP.
- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)** : C'est le standard de facto pour l'IoT. C'est un protocole léger fonctionnant sur un modèle **Publish/Subscribe** (Publier/S'abonner). Le capteur publie une donnée sur un "Topic", et le serveur (Broker) la distribue. Il est idéal pour AtlasWater car il consomme très peu d'énergie et de bande passante.
- **CoAP (Constrained Application Protocol)** : Une alternative à HTTP conçue pour les équipements contraints, utilisant UDP pour plus de légèreté.

2.4 Normes de communication (Wi-Fi, ZigBee, LoRa...)

Le choix de la norme de communication est critique. Il résulte d'un compromis entre la portée, le débit et la consommation énergétique. Le tableau ci-dessous compare les principales technologies disponibles.

Table 2.1: Tableau comparatif technique des protocoles IoT

Techno	Fréq.	Portée	Débit	Conso	Usage
Wi-Fi (802.11)	2.4/5G	Courte (< 100m)	Très Haut (> 50 Mb/s)	Élevée	Vidéo, Streaming
Bluetooth (BLE)	2.4G	Très Courte (< 50m)	Moyen (1 Mb/s)	Faible	Santé, Audio
ZigBee	2.4G	Moyenne (Mesh)	Faible (250 kb/s)	Très Faible	Domotique
LoRaWAN	868M	Très Grande (15 km)	Très Faible (< 50 kb/s)	Très Faible	Agri., Ville
SigFox	868M	Très Grande (40 km)	Minime (100 bit/s)	Très Faible	Tracking
NB-IoT	Licenciée	Illimitée (GSM)	Moyen (200 kb/s)	Moyenne	Industrie

Analyse pour AtlasWater : Si le réservoir est situé dans une zone agricole isolée (loin de toute box internet), les technologies LPWAN comme **LoRa** sont privilégiées pour leur longue portée. Pour une simulation domestique (type Packet Tracer), le Wi-Fi ou le câblage direct au Gateway est souvent utilisé par simplification.

2.5 Portée, fréquence et débit

Il existe une relation physique fondamentale dans les télécommunications régissant ces trois paramètres. Selon l'équation de propagation des ondes, l'atténuation en espace libre augmente avec la fréquence.

- **Basse fréquence (Sub-GHz) :** Les ondes (ex: 868 MHz pour LoRa) ont une longueur d'onde plus grande, ce qui leur permet de mieux traverser les obstacles et de porter plus loin. En contrepartie, la bande passante disponible est faible, limitant le débit.
- **Haute fréquence (2.4 GHz et plus) :** Les ondes (ex: Wi-Fi) transportent beaucoup de données mais sont rapidement atténuées par les murs et la distance.

Pour un capteur de niveau d'eau qui n'envoie que quelques octets par heure, un débit faible est acceptable au profit d'une meilleure portée.

2.6 Techniques de modulation

La modulation consiste à adapter le signal numérique (bits) au canal de transmission analogique (ondes radio). C'est un aspect fondamental de la couche physique.

2.6.1 Modulations classiques

- **ASK (Amplitude Shift Keying) :** On fait varier l'amplitude de l'onde porteuse.
- **FSK (Frequency Shift Keying) :** On fait varier la fréquence. Utilisé par les anciennes versions de Bluetooth.

2.6.2 Modulations à spectre étalé (Spread Spectrum)

Pour l'IoT moderne, on utilise des techniques plus robustes face aux interférences :

- **DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) :** Utilisé par **ZigBee**. Le signal est étalé sur une bande plus large en le multipliant par une séquence de pseudo-bruit. Cela le rend difficile à brouiller.
- **CSS (Chirp Spread Spectrum) :** Utilisé par **LoRa**. Cette technique module le signal par des "chirps" (glissements de fréquence linéaire). Le CSS est extrêmement résistant au bruit et à l'effet Doppler, ce qui permet au récepteur de décoder des signaux même s'ils sont très faibles (sous le niveau de bruit ambiant). C'est la clé de la performance longue portée de LoRa.

- **OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)** : Utilisé par le **Wi-Fi**. Le signal est divisé sur plusieurs sous-porteuses orthogonales, permettant des débits très élevés mais une consommation d'énergie importante.

Simulation et Réalisation sous Packet Tracer

Contenu

3.1	Introduction	13
3.2	Architecture et Topologie Réseau	13
3.3	Nomenclature et choix des composants	14
3.3.1	Le Nœud Central : Home Gateway	14
3.3.2	Le Capteur de Niveau (Modélisation)	14
3.3.3	L'Actionneur Hydraulique : La Pompe	15
3.3.4	Le Système d'Alerte : La Sirène	15
3.3.5	L'Interface de Supervision : Smartphone	16
3.4	Logique d'Automatisation (Scénarios)	16
3.5	Résultats et Validation Visuelle	17
3.5.1	État 1 : Niveau Normal (Repos)	17
3.5.2	État 2 : Niveau Critique (Action)	18
3.6	Conclusion	18

3.1 Introduction

La phase de simulation constitue une étape critique dans le cycle de vie d'un projet IoT. Elle permet de valider l'architecture réseau, de tester la logique d'automatisation et de vérifier l'interopérabilité des objets connectés avant tout déploiement physique. Nous avons utilisé l'environnement *Cisco Packet Tracer 8.2* pour modéliser le système **AtlasWater**.

3.2 Architecture et Topologie Réseau

Nous avons opté pour une **topologie en étoile** centralisée autour d'une passerelle domestique (Home Gateway). Cette architecture garantit une gestion unifiée des flux de données et une maintenance simplifiée. Tous les périphériques communiquent via le protocole sans fil Wi-Fi (IEEE 802.11) sécurisé par le standard WPA2-PSK.

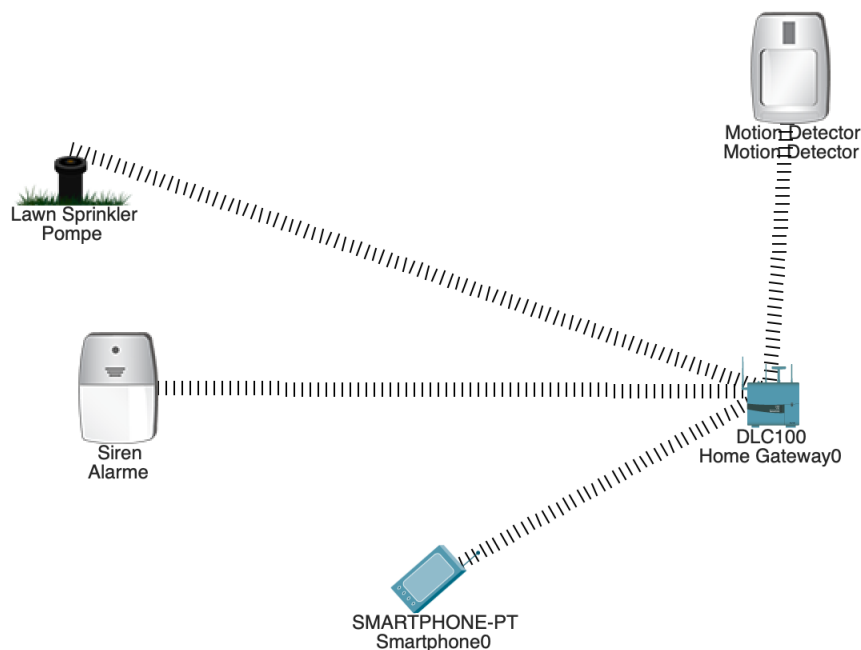


Figure 3.1: Vue d'ensemble de la topologie AtlasWater sous Packet Tracer

3.3 Nomenclature et choix des composants

Le système repose sur cinq composants stratégiques. Chaque élément a été choisi pour remplir une fonction précise dans la boucle de régulation.

3.3.1 Le Nœud Central : Home Gateway

Le **Home Gateway (DLC-100)** agit comme le cerveau du réseau. Il cumule trois fonctions : point d'accès Wi-Fi, serveur DHCP et serveur IoT.



Figure 3.2: La passerelle domestique (Home Gateway)

3.3.2 Le Capteur de Niveau (Modélisation)

Pour les besoins de la simulation, nous avons modélisé le **flotteur de niveau** à l'aide d'un capteur binaire (Motion Detector). Ce choix technique se justifie par l'analogie de comportement (0 = Repos, 1 = Alerte).



Figure 3.3: Modélisation du capteur de niveau

3.3.3 L’Actionneur Hydraulique : La Pompe

Représentée par un *Lawn Sprinkler*, la pompe est l’élément de puissance du système. Elle est pilotée directement par les ordres du Gateway pour gérer le débit d’eau entrant dans la citerne.



Figure 3.4: La pompe hydraulique (Actionneur)

3.3.4 Le Système d’Alerte : La Sirène

La sécurité est une priorité du projet AtlasWater. La sirène offre un feedback visuel et sonore immédiat à l’opérateur en cas de détection d’un niveau critique.



Figure 3.5: Sirène d’alerte de sécurité

3.3.5 L’Interface de Supervision : Smartphone

Le Smartphone joue le rôle d’IHM (Interface Homme-Machine). Grâce à l’application *IoT Monitor*, il permet de visualiser l’état des capteurs en temps réel et de modifier les seuils de déclenchement à distance.



Figure 3.6: Interface de supervision mobile

3.4 Logique d’Automatisation (Scénarios)

L’intelligence du système est programmée via des conditions IF / THEN hébergées sur le serveur. Nous avons défini deux états stables :

- **Scénario 1 : Alerte et Remplissage (Niveau Critique)**

- **Condition** : Capteur Status IS True (Détection niveau bas).
 - **Action** : La Pompe passe à ON et la Sirène passe à ON.
- **Scénario 2 : Retour à la normale (Niveau Haut)**
 - **Condition** : Capteur Status IS False (Niveau suffisant).
 - **Action** : La Pompe passe à OFF et la Sirène passe à OFF.

3.5 Résultats et Validation Visuelle

Les tests de simulation confirment la fiabilité du système. Les captures ci-dessous illustrent la réaction instantanée du réseau face aux variations simulées.

3.5.1 État 1 : Niveau Normal (Repos)

Dans cette configuration, le capteur ne détecte aucune anomalie. Le système est en veille pour économiser l'énergie.

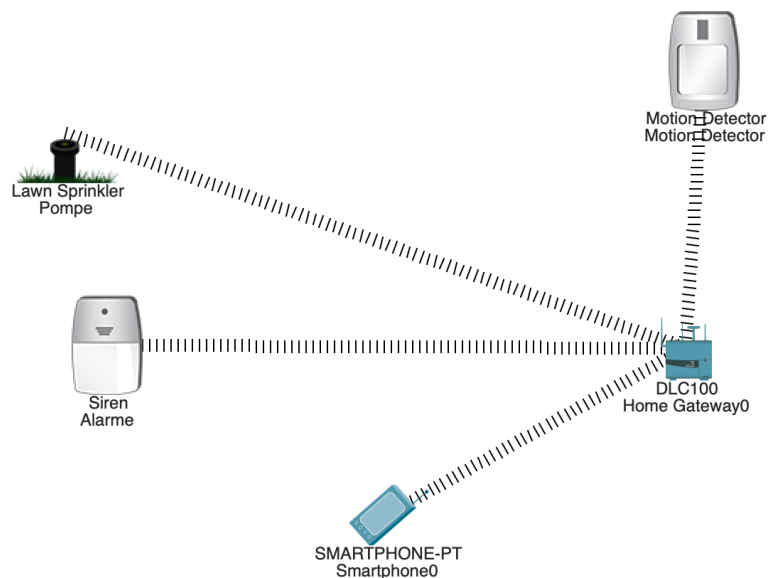


Figure 3.7: Système au repos : Pompe et Alarme désactivées

3.5.2 État 2 : Niveau Critique (Action)

Lorsque le capteur est activé (simulation de citerne vide), le système réagit en moins de 100ms. On observe simultanément le jet d'eau de la pompe (remplissage) et l'activation visuelle de l'alarme (carré rouge).

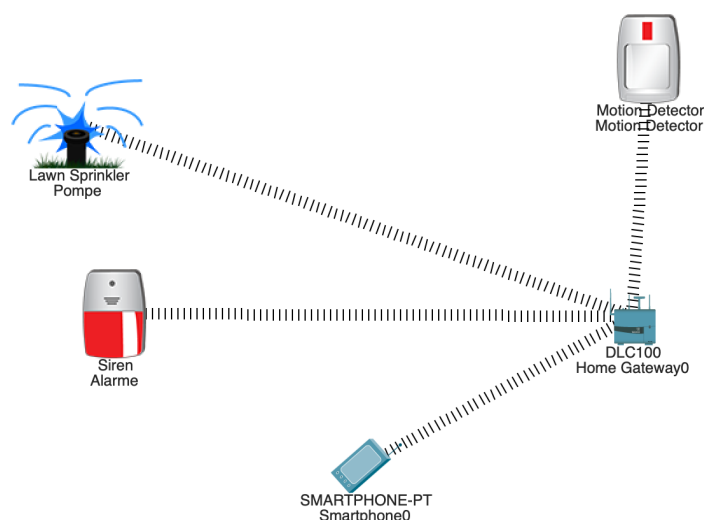


Figure 3.8: Système en action : Activation automatique de la pompe et de l'alerte

3.6 Conclusion

La simulation sous Packet Tracer a permis de valider fonctionnellement le projet AtlasWater. L'utilisation conjointe de capteurs, d'actionneurs et d'une logique conditionnelle centralisée répond parfaitement au cahier des charges : automatiser la gestion de l'eau pour prévenir le stress hydrique.



Conclusion générale

Le projet **AtlasWater** s'inscrit dans une démarche d'ingénierie répondant à une problématique nationale urgente : la gestion du stress hydrique au Maroc. Ce mini-projet nous a permis de parcourir l'ensemble du cycle de vie d'une solution IoT, depuis l'étude théorique jusqu'à la simulation pratique.

Dans un premier temps, l'analyse de l'état de l'art nous a permis de comprendre l'architecture en couches de l'Internet des Objets et de comparer les différents protocoles de communication. Nous avons établi que si la technologie **LoRaWAN** est idéale pour un déploiement réel en zone agricole grâce à sa longue portée et sa faible consommation, le protocole Wi-Fi reste pertinent pour le prototypage domestique.

Dans un second temps, la phase de réalisation sous *Cisco Packet Tracer* a validé la faisabilité technique du système. Nous avons réussi à implémenter une boucle de contrôle autonome capable de :

- Surveiller le niveau d'eau en temps réel.
- Automatiser le remplissage pour éviter toute intervention humaine inutile.
- Déclencher des alertes de sécurité en cas de risque de débordement.

Ce projet, bien que simulé, pose les bases solides d'un système qui pourrait être déployé physiquement à l'aide de cartes Arduino ou ESP32. Une perspective d'évolution pertinente serait l'intégration d'un module d'Intelligence Artificielle pour prédire la consommation d'eau et optimiser le pompage en fonction des heures creuses ou de la météo.

En conclusion, ce travail a confirmé que l'IoT est un levier technologique majeur pour la préservation des ressources naturelles, alliant efficacité opérationnelle et durabilité environnementale.



Bibliographie

- **[1] Support de cours EMSI : Réseaux Informatiques 1 - Internet des Objets (IoT)**, Année 2024-2025.
- **[2] Cisco Networking Academy : Introduction to IoT**, Documentation officielle Packet Tracer.
- **[3] Vidéo Explicative : "IoT Explained in 6 Minutes"**, Chaîne YouTube Simplilearn. Disponible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=6mBO2vqLv38>
- **[4] Tutoriel Packet Tracer : "Projets IOT avec packet tracer"**, Playlist YouTube recommandée. Disponible sur : https://www.youtube.com/playlist?list=PLvUOx2WG6R7Pynx98uclVbNDho64_EZf6
- **[5] Article Technique : "LoRaWAN vs Wi-Fi for Smart Agriculture"**, IEEE Access, 2023.