



**ECOLE MAROCAINE DES
SCIENCES DE L'INGENIEUR**
Membre de
HONORIS UNITED UNIVERSITIES

PFA

2024/2025

Système de Recyclage de l'Eau dans les Villes et Industries

Ingénierie Informatique et Réseaux

Réalisé par :

ELMOUHTADI Feirouz

KELLADI Fatima Ezzahra

OUHMIDA Soulaïmane

ETTAKADDOUMI Hamza

Encadré par :

Iounousse Jawad

Résumé

À une époque où les enjeux environnementaux deviennent cruciaux, la gestion durable des ressources en eau s'impose comme une priorité. Ce projet ambitieux s'inscrit dans cette dynamique en proposant une solution intelligente de recyclage de l'eau, combinant capteurs IoT, traitement des données en temps réel et interface numérique de supervision, afin d'optimiser l'usage de l'eau dans les environnements domestiques ou industriels.

L'objectif est de concevoir un système autonome capable de collecter, filtrer et redistribuer l'eau usée issue des lavabos, douches ou machines à laver, pour des usages secondaires (chasse d'eau, arrosage, etc.). La plateforme développée permet de visualiser la qualité de l'eau, le volume recyclé, les économies réalisées, et de piloter les équipements à distance.

Sur le plan technique, le backend est développé avec Java Spring Boot, exposant des API REST sécurisées par JWT, et communique avec une base de données MongoDB pour le suivi des utilisateurs, capteurs et cycles de recyclage et pour stocker les données issues des capteurs et les historiques. L'interface est accessible via une application web responsive développée en React.

Le tout est déployé sur AWS, avec une infrastructure évolutive basée sur EC2, S3 et CloudFront.

Ce projet met en lumière des compétences solides en développement full-stack, intégration de systèmes IoT, gestion des flux de données, sécurité et déploiement cloud, tout en apportant une réponse concrète aux défis liés à la transition écologique.

Mots clés :

Recyclage de l'eau, IoT, Plateforme intelligente, Express JS, API REST, JWT, MongoDB, React, Interface web, UX, Cloud AWS, EC2, S3, CloudFront, Sécurité des données, Scalabilité, Architecture MVC, Sprints agiles, Modélisation UML, Développement full-stack, Transition écologique.

Abstract

In an era where environmental concerns are increasingly critical, the sustainable management of water resources has become a top priority. This ambitious project contributes to this effort by offering an intelligent water recycling solution, combining IoT sensors, real-time data processing, and a digital supervision interface to optimize water usage in domestic and industrial environments.

The objective is to design an autonomous system capable of collecting, filtering, and redistributing greywater from sinks, showers, or washing machines for secondary uses such as toilet flushing or irrigation. The platform allows users to monitor water quality, track recycled volume, measure savings, and remotely control the equipment.

On the technical side, the backend is developed with Java Spring Boot, exposing secure REST APIs protected by JWT, and communicates with a MongoDB database for managing users, sensors, recycling cycles, and storing sensor data and historical records. The interface is accessible through a responsive web application built with React.

The entire solution is deployed on AWS, leveraging a scalable infrastructure using EC2, S3, and CloudFront.

This project highlights strong skills in full-stack development, IoT system integration, real-time data flow management, security, and cloud deployment, while providing a concrete response to the challenges of the ecological transition.

Keywords:

Water Recycling, IoT, Smart Platform, Express JS, REST API, JWT, MongoDB, React, Web Interface, UX, AWS Cloud, EC2, S3, CloudFront, Data Security, Scalability, MVC Architecture, Agile Sprints, UML Modeling, Full-Stack Development, Ecological Transition.

Liste des Figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Diagramme de cas d'utilisation | 19 |
| Figure 2: Capture d'ecran JIRA "calendrier" | 24 |
| Figure 3: Logo de React JS | 27 |
| Figure 4: logo de javascript..... | 27 |
| Figure 5: Logo de HTML | 27 |
| Figure 6: Logo de CSS..... | 28 |
| Figure 7: Logo de Tailwind | 28 |
| Figure 8: Logo de express JS | 28 |
| Figure 9: Logo de Mongo DB..... | 28 |
| Figure 10: Logo de AWS..... | 29 |
| Figure 11: Logo de Git..... | 29 |
| Figure 12: Logo de Jira..... | 29 |
| Figure 13: capture d'ecran de la page statistiques | 32 |
| Figure 14: Captures d'écran de prediction d'eau | 33 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Les diagrammes utilisés..... | 18 |
| Tableau 2: Services cloud AWS utilisees | 22 |
| Tableau 3: Environnement de travail..... | 26 |
| Tableau 4: Contenu de la page statistiques | 33 |

Table des matières

| | |
|---|----|
| Résumé..... | 2 |
| Abstract..... | 3 |
| Liste des Figures | 4 |
| Liste des tableaux..... | 4 |
| Table des matières..... | 5 |
| Introduction Générale | 7 |
| Contexte | 7 |
| Problématique | 7 |
| Objectifs..... | 8 |
| Structure du Rapport | 8 |
| Chapitre 2 : Contexte du projet | 9 |
| Introduction..... | 10 |
| Présentation du projet | 10 |
| Cible de la solution | 10 |
| Problématique et solution proposée | 11 |
| Besoins fonctionnels | 11 |
| Besoins non fonctionnels | 11 |
| Analyse de risque | 12 |
| Facteurs de succès..... | 12 |
| Conclusion | 13 |
| Chapitre 2 : État de l’art..... | 14 |
| Gestion et recyclage de l’eau : contexte général..... | 15 |
| Technologies de traitement et recyclage de l’eau | 15 |
| Surveillance en temps réel et capteurs IoT | 15 |
| Intelligence artificielle et optimisation du recyclage | 16 |
| Solutions intégrées et plateformes de gestion centralisée | 16 |
| Limites et défis actuels..... | 16 |
| Chapitre 3 : Conception et modélisation..... | 17 |
| Introduction..... | 18 |
| I. Modélisation UML..... | 18 |
| Diagrammes de cas d’utilisation | 19 |
| Diagrammes de classes | 20 |
| Diagrammes de séquence..... | 21 |
| II. Modélisation Cloud..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Qu'est-ce que le cloud computing ?..... | 22 |
| III. Gestion de projet..... | 23 |
| Gestion des Sprints | 23 |
| Conclusion | 24 |
| Etude Technique | 25 |
| Introduction..... | 26 |
| I. Présentation de l'environnement de travail | 26 |
| II. Technologies et outils utilisés | 27 |
| 1. Frontend..... | 27 |
| 2. Backend | 28 |
| 3. Databases..... | 28 |
| 4. Cloud | 29 |
| 5. Gestion du Code Source | 29 |
| 6. Outils de Collaboration..... | 29 |
| Conclusion | 30 |
| Chapitre 5 : Mise en œuvre et Réalisation | 31 |
| Introduction..... | 32 |
| Implémentation et solution développée | 32 |
| I. Frontend : Développement de l'interface utilisateur | 32 |
| II. Backend : | 34 |
| Conclusion | 36 |
| Conclusion Générale et Perspectives | 37 |
| Références..... | 39 |

Introduction Générale

Dans un monde de plus en plus confronté à des défis environnementaux et à des crises de ressources naturelles, la gestion de l'eau, en particulier dans les environnements urbains et industriels, devient une priorité. Le projet présenté dans ce rapport vise à proposer une solution innovante pour le recyclage de l'eau dans ces contextes. En intégrant des technologies avancées telles que l'Internet des objets (IoT) et l'intelligence artificielle (IA), l'objectif est de réduire la consommation d'eau potable, d'optimiser les cycles de recyclage et de garantir la durabilité des ressources en eau. Ce rapport détaille la problématique, les besoins identifiés, la solution proposée, ainsi que les technologies utilisées pour mettre en œuvre cette initiative.

Contexte

Les villes et les industries sont de grands consommateurs d'eau, ce qui entraîne des problèmes de gaspillage et de gestion inefficace des ressources en eau. L'augmentation de la population urbaine et l'industrialisation rapide exacerbent la pression sur les ressources en eau, créant un risque de pénurie dans certaines régions du monde. Par ailleurs, les méthodes traditionnelles de traitement des eaux usées et de gestion de l'approvisionnement en eau ne répondent plus aux exigences de durabilité et d'efficacité.

Le recyclage de l'eau se présente comme une solution viable et nécessaire pour répondre à ces défis. Grâce à des technologies avancées, il est désormais possible de récupérer, traiter et réutiliser l'eau utilisée dans les environnements urbains et industriels. Ce système permet de réduire la consommation d'eau potable tout en minimisant les coûts liés à l'infrastructure et au traitement des eaux usées.

Problématique

Les principaux problèmes rencontrés dans la gestion de l'eau dans les villes et industries incluent :

- **La consommation excessive d'eau potable**, qui entraîne une pression sur les ressources disponibles.

- **Le gaspillage d'eau**, particulièrement dans les processus industriels où une grande quantité d'eau est utilisée pour des tâches non essentielles.
- **Les coûts élevés associés au traitement des eaux usées** et à la mise en place d'infrastructures de gestion de l'eau.
- **Le risque de pénurie d'eau**, surtout dans les régions sensibles où les ressources en eau sont limitées.

Ainsi, il devient impératif de trouver des solutions pour limiter l'utilisation d'eau potable, tout en garantissant un recyclage efficace et la qualité de l'eau traitée.

Objectifs

Le projet a pour objectifs de :

- **Réduire la consommation d'eau potable** en développant un système de recyclage de l'eau pour les usages non essentiels (arrosage, nettoyage industriel, etc.).
- **Mettre en place un système intelligent** de gestion de l'eau qui utilise des technologies telles que l'IoT et l'IA pour optimiser le recyclage de l'eau et s'adapter aux besoins en temps réel.
- **Assurer la qualité de l'eau recyclée** grâce à des systèmes avancés de filtration et de surveillance de la qualité.
- **Automatiser le processus de recyclage**, avec des ajustements dynamiques basés sur la demande et l'état de l'eau traitée.

Structure du Rapport

Le rapport est structuré de manière à fournir une compréhension approfondie de la solution proposée et des étapes nécessaires à sa mise en œuvre :

1. Présentation de l'organisme d'accueil ;
2. Analyse et Conception ;
3. Étude Technique ;
4. Mise en œuvre et Réalisation.

CHAP 1 : Contexte général du projet

Introduction

Ce chapitre présente le contexte détaillé du projet, en abordant les éléments clés tels que la nature de la solution proposée, les objectifs, l'équipe impliquée, ainsi que l'analyse des besoins fonctionnels et non fonctionnels. En outre, ce chapitre identifie les principaux risques associés à la mise en œuvre de la solution, les facteurs de succès qui influencent la réussite du projet, et la planification nécessaire pour sa réalisation.

Présentation du projet

Le projet consiste à concevoir et mettre en œuvre un système de recyclage de l'eau dans les villes et industries, en utilisant des technologies avancées pour améliorer l'efficacité de la gestion de l'eau. L'objectif est de réduire la consommation d'eau potable, d'optimiser les cycles de recyclage, et de garantir la qualité de l'eau recyclée pour des usages non essentiels comme l'irrigation ou le nettoyage industriel.

Le système intégré repose sur l'utilisation de capteurs IoT pour surveiller en temps réel la qualité de l'eau, de technologies de filtration avancées comme l'osmose inverse, et de solutions d'intelligence artificielle pour automatiser et optimiser le processus de recyclage.

Cible de la solution

La solution cible principalement les environnements urbains et industriels qui sont de grands consommateurs d'eau et où les besoins en gestion de l'eau sont considérables. Cela inclut :

- **Les villes** confrontées à une croissance démographique rapide et à des défis de gestion des ressources en eau.
- **Les industries** ayant des processus nécessitant une grande quantité d'eau, notamment dans les secteurs de la production, de la construction, ou de l'agriculture.

La solution vise à réduire la pression sur les ressources en eau potable, à réduire les coûts associés à l'approvisionnement en eau et au traitement des eaux usées, tout en garantissant un recyclage efficace et durable.

Problématique et solution proposée

La problématique centrale est la consommation excessive d'eau potable et le gaspillage d'eau dans les villes et les industries, exacerbés par des systèmes de gestion inefficaces. Les solutions actuelles ne répondent pas suffisamment aux besoins croissants en eau, surtout dans un contexte où les ressources en eau sont limitées et où la demande augmente.

La solution proposée repose sur un système de recyclage de l'eau intelligent et automatisé, utilisant des technologies de filtration avancées, des capteurs IoT pour surveiller en temps réel la qualité de l'eau, et des algorithmes d'IA pour optimiser le processus de recyclage en fonction de la demande.

Besoins fonctionnels

Les principaux besoins fonctionnels incluent :

- **Collecte et traitement des eaux usées** provenant des bâtiments, industries et systèmes de refroidissement.
- **Filtration avancée** de l'eau par des systèmes mécaniques et d'osmose inverse.
- **Surveillance en temps réel** de la qualité de l'eau à l'aide de capteurs IoT.
- **Optimisation automatique du processus de recyclage** en fonction de la demande en eau, grâce à l'intelligence artificielle.
- **Plateforme de gestion centralisée**, permettant aux gestionnaires et aux entreprises de suivre et d'analyser les données en temps réel.

Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels concernent la sécurité, la performance, et la fiabilité du système :

- **Sécurité des données** : Mise en place de protocoles sécurisés (OAuth2, chiffrement) pour protéger les données sensibles.
- **Scalabilité** : Capacité à étendre le système à grande échelle en fonction de la croissance des besoins en eau.

- **Fiabilité et disponibilité** : Le système doit être constamment disponible pour garantir une gestion continue et optimisée de l'eau.
- **Maintenance et surveillance** : Outils de monitoring pour assurer la bonne santé du système sur le long terme.

Analyse de risque

Les principaux risques identifiés pour la mise en œuvre du projet incluent :

- **Risques technologiques** : L'intégration des technologies IoT et IA peut rencontrer des défis techniques (problèmes d'interopérabilité, fiabilité des capteurs, etc.).
- **Risques financiers** : Les coûts liés au développement, à l'installation, et à la maintenance du système peuvent dépasser les prévisions.
- **Risques réglementaires** : La conformité aux réglementations locales sur le traitement de l'eau peut imposer des restrictions ou des exigences supplémentaires.
- **Risques opérationnels** : La gestion des données en temps réel et l'optimisation du recyclage peuvent nécessiter une expertise technique continue.

Facteurs de succès

Les facteurs clés de succès pour ce projet incluent :

- **La fiabilité des technologies utilisées**, en particulier les capteurs IoT et les systèmes de filtration.
- **La capacité à garantir une qualité d'eau élevée**, conforme aux normes sanitaires, tout au long du cycle de recyclage.
- **L'optimisation de l'utilisation de l'IA**, pour ajuster dynamiquement le processus de recyclage et répondre efficacement à la demande.
- **L'acceptation du projet par les acteurs concernés**, notamment les autorités locales, les industries, et les citoyens.

Conclusion

Ce chapitre a détaillé les éléments fondamentaux du projet, en identifiant les objectifs, les défis, les risques et les besoins nécessaires à son succès. Le recyclage de l'eau, au cœur de cette initiative, repose sur une approche intégrée et technologique permettant de répondre à la problématique de la gestion de l'eau dans les environnements urbains et industriels. La planification rigoureuse et les facteurs de succès définis assurent la faisabilité et la durabilité du projet.

CHAP 2 : État de l'art

Gestion et recyclage de l'eau : contexte général

La gestion durable de l'eau est un enjeu majeur à l'échelle mondiale, particulièrement dans les zones urbaines et industrielles où la consommation et la pollution des ressources hydriques augmentent rapidement. Le recyclage de l'eau constitue une solution essentielle pour réduire la pression sur les ressources en eau potable, améliorer l'efficacité de son usage, et limiter l'impact environnemental.

Technologies de traitement et recyclage de l'eau

Différentes techniques de traitement des eaux usées ont été développées et mises en œuvre, allant des procédés biologiques traditionnels (boues activées, lagunage) aux procédés physico-chimiques avancés. Parmi ces derniers, les technologies de filtration telles que l'osmose inverse, la nanofiltration, et l'ultrafiltration se sont imposées pour leur capacité à éliminer efficacement les contaminants, y compris les micro-polluants et les agents pathogènes.

Plus récemment, les technologies membranaires, associées à des procédés de désinfection (UV, ozonation), ont permis de garantir une qualité d'eau traitée conforme aux normes les plus strictes, ouvrant la voie à la réutilisation de l'eau dans divers secteurs.

Surveillance en temps réel et capteurs IoT

L'intégration des capteurs IoT (Internet des objets) dans la gestion de l'eau a révolutionné le suivi de la qualité et de la quantité d'eau disponible. Ces capteurs permettent une collecte continue de données sur des paramètres critiques (pH, turbidité, conductivité, contaminants chimiques), facilitant la détection précoce des anomalies et la maintenance prédictive.

Des systèmes intelligents connectés, capables d'agréger et d'analyser ces données, améliorent la réactivité des opérateurs et optimisent le fonctionnement des installations de traitement.

Intelligence artificielle et optimisation du recyclage

L'intelligence artificielle (IA) joue un rôle croissant dans l'optimisation des processus de gestion et de recyclage de l'eau. Les techniques de machine learning, en particulier, permettent de modéliser les comportements complexes des systèmes hydrauliques et de prédire la qualité de l'eau recyclée selon différents paramètres d'entrée.

Des algorithmes d'optimisation adaptatifs sont utilisés pour ajuster automatiquement les réglages des équipements (pompes, filtres, doses de réactifs), réduisant ainsi les coûts énergétiques et chimiques tout en maximisant la qualité de l'eau produite.

Solutions intégrées et plateformes de gestion centralisée

Les projets récents s'orientent vers des systèmes intégrés combinant capteurs IoT, traitement avancé, et modules d'intelligence artificielle dans des plateformes centralisées accessibles via le cloud. Ces plateformes offrent une interface utilisateur intuitive pour la surveillance en temps réel, la visualisation des données, et la prise de décision assistée.

Par exemple, des solutions comme Aquasuite, Smart Water Networks ou des plateformes développées dans le cadre de projets de villes intelligentes démontrent l'efficacité de l'intégration technologique pour une gestion durable de l'eau.

Limites et défis actuels

Malgré les avancées, plusieurs défis subsistent :

- L'interopérabilité entre différents types de capteurs et systèmes.
- La robustesse et la fiabilité des capteurs dans des environnements industriels.
- La gestion sécurisée des données sensibles collectées.
- La complexité d'intégration des algorithmes d'IA dans des infrastructures existantes.
- La nécessité d'une acceptation sociale et réglementaire pour l'utilisation d'eau recyclée.

Ces enjeux sont au cœur des recherches actuelles et motivent le développement de solutions innovantes comme celle proposée dans ce projet.

CHAP 3 : Conception et modélisation

Introduction

L'analyse et la conception sont des étapes fondamentales dans le processus de développement d'un système. Elles permettent de transformer les besoins exprimés dans le cahier des charges en une solution technologique efficace et robuste. Dans ce chapitre, nous détaillerons l'analyse du projet, en mettant l'accent sur la modélisation UML pour représenter les différentes facettes du système. Nous commencerons par la modélisation UML, qui constitue une approche standardisée et compréhensible pour toutes les parties prenantes, puis nous détaillerons les diagrammes spécifiques qui facilitent la conception du système.

I. Modélisation UML

Un diagramme UML est un moyen de visualiser des systèmes et des logiciels à l'aide du langage de modélisation unifié (UML). Les ingénieurs logiciels créent des diagrammes UML pour comprendre la conception, l'architecture du code et la mise en œuvre proposée de systèmes logiciels complexes [1].

Les diagrammes utilisés sont :

| | |
|--|--|
| Diagramme des cas d'utilisation | Il permet de visualiser les fonctionnalités principales que l'application offre aux utilisateurs ; |
| Diagramme des classes | Il montre la structure du système en termes de classes et leurs relations ; |
| Diagramme des séquences | Il décrit les interactions entre les différents objets du système dans un scénario donné. |

TABLEAU 1: LES DIAGRAMMES UTILISES

Diagrammes de cas d'utilisation

Les diagrammes de cas d'utilisation représentent les interactions entre les utilisateurs (acteurs) et le système. Ils aident à définir les besoins fonctionnels du système en détaillant les actions que chaque acteur peut effectuer [2].

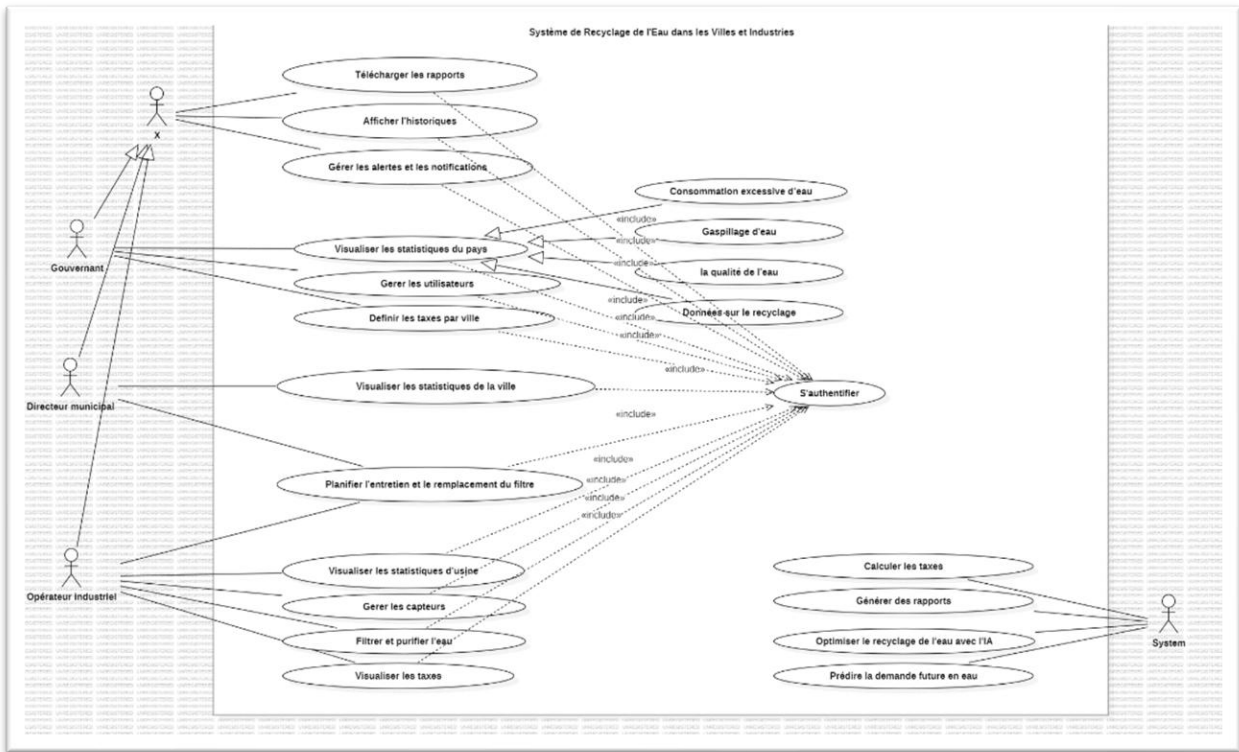


FIGURE 1: DIAGRAMME DE CAS D'UTILISATION

Diagrammes de classes

Les diagrammes de classes décrivent les objets du système et les relations entre eux. Ils fournissent une vue statique du système, permettant de comprendre la structure du code et des composants du projet [2].

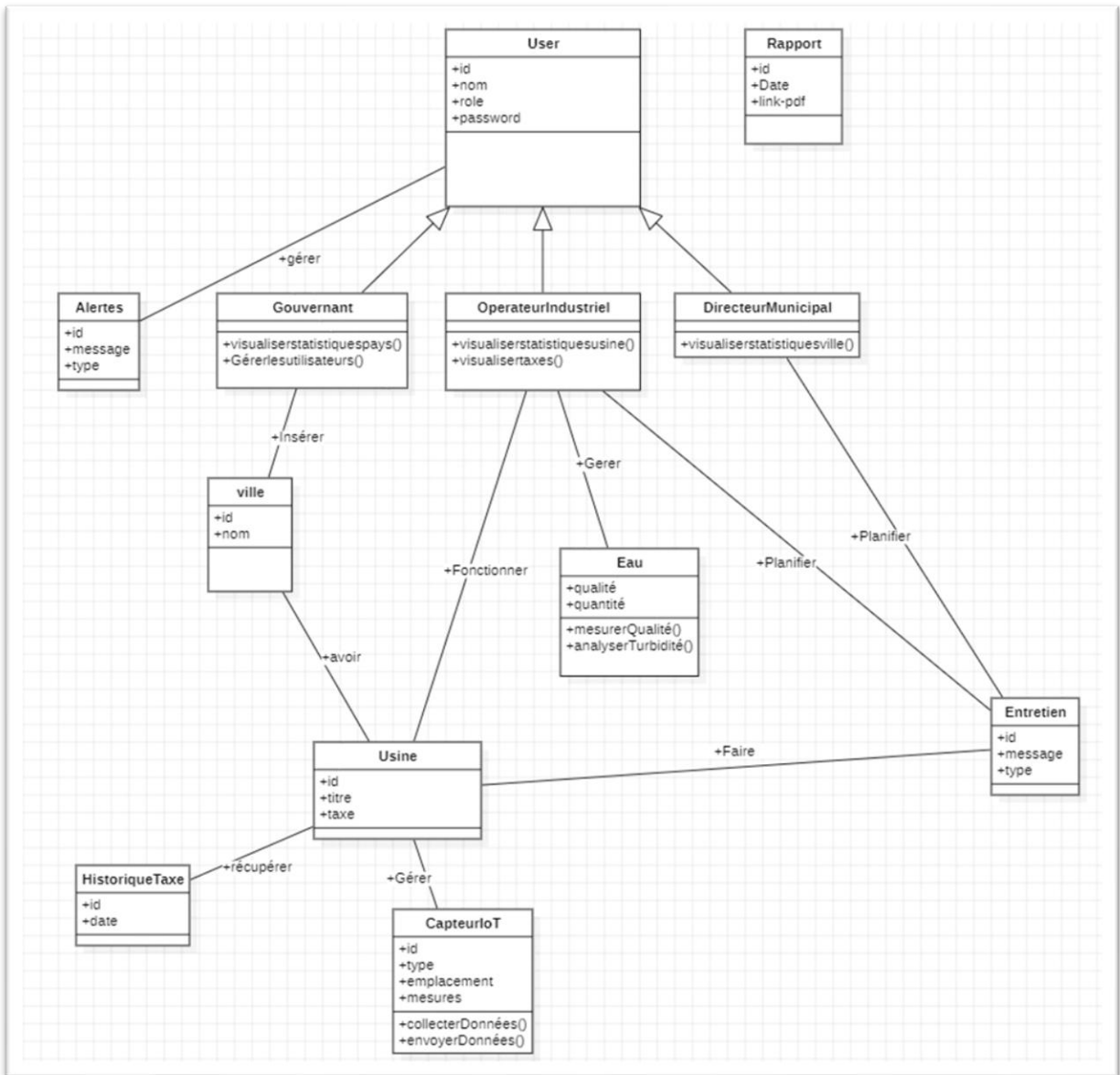


FIGURE 4: DIAGRAMME DE CLASSES

Diagrammes de séquence

Les diagrammes de séquence sont utilisés pour modéliser les interactions entre les objets du système au fil du temps. Ils permettent de comprendre comment les objets se communiquent pour accomplir une tâche spécifique [2].

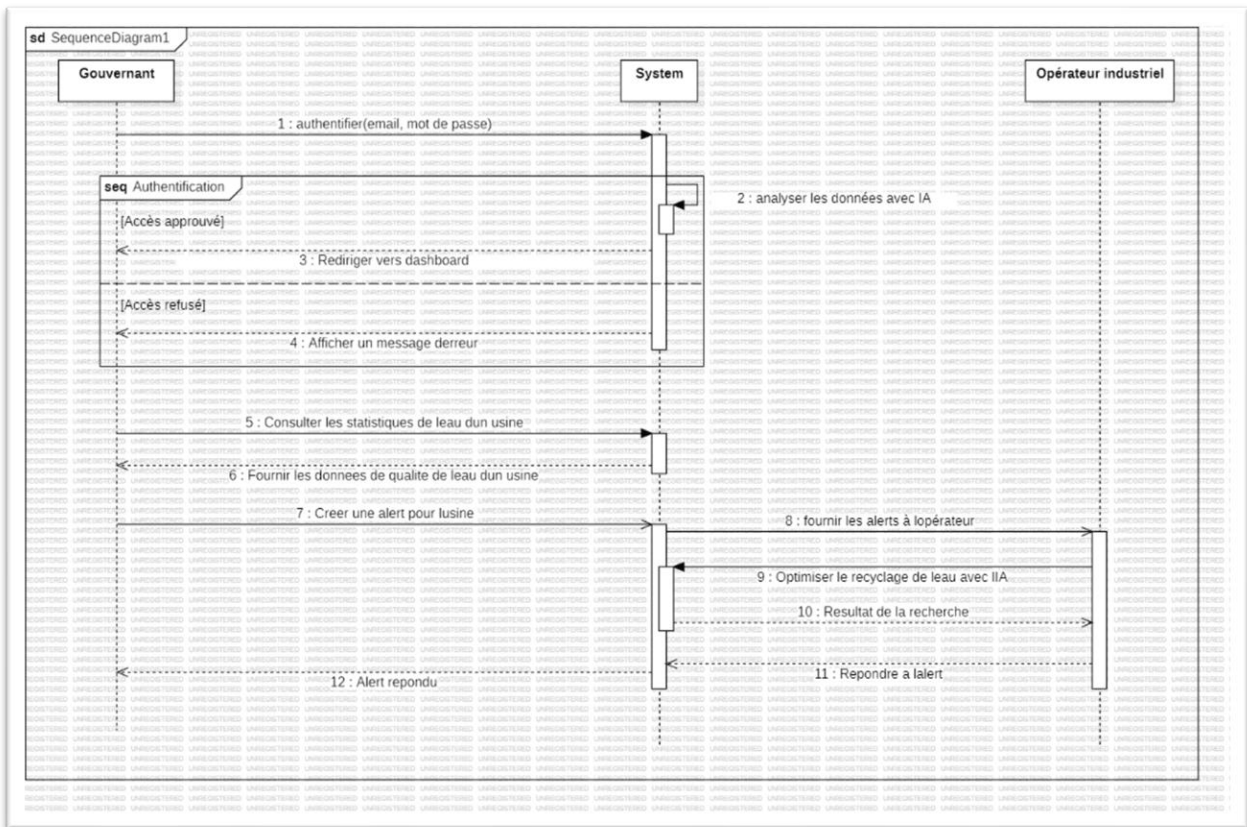


FIGURE 5: DIGRAMME DE SEQUENCE

II. Modélisation Cloud

En plus des diagrammes UML, l'architecture cloud du projet est un élément clé pour assurer la performance et la scalabilité du système. Le déploiement de l'application se fait sur AWS, en utilisant différents services pour gérer les interactions entre les composants et garantir une expérience utilisateur fluide.

Qu'est-ce que le cloud computing ?

Le terme « cloud » désigne les serveurs accessibles sur Internet, ainsi que les logiciels et bases de données qui fonctionnent sur ces serveurs. Les serveurs situés dans le cloud sont hébergés au sein de datacenters répartis dans le monde entier. L'utilisation du cloud computing (informatique cloud) permet aux utilisateurs et aux entreprises de s'affranchir de la nécessité de gérer des serveurs physiques eux-mêmes ou d'exécuter des applications logicielles sur leurs propres équipements [3].

Le diagramme d'architecture cloud inclut les éléments suivants :

| Service | Description |
|--------------------------|---|
| AWS EC2 | Hébergement du backend Spring Boot avec plusieurs instances pour garantir la haute disponibilité. |
| AWS Load Balancer | Distribution du trafic entre plusieurs instances pour équilibrer la charge |
| Amazon DocumentDB | Hébergement des bases de données MongoDB. |
| AWS S3 | Stockage des fichiers vidéo et autres ressources. |
| AWS CloudFront | Diffusion des vidéos et contenu statique via un CDN pour minimiser la latence. |

TABLEAU 2: SERVICES CLOUD AWS UTILISEES

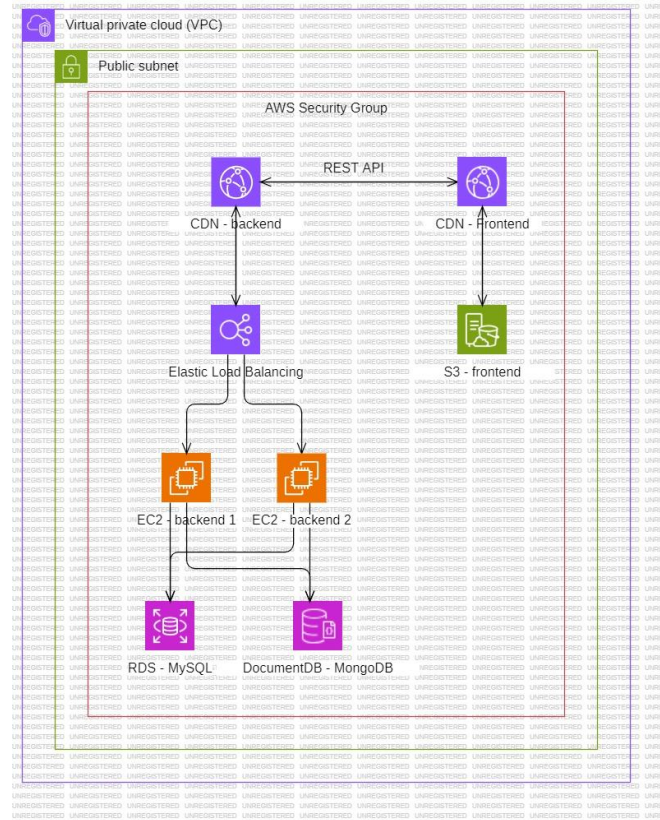


FIGURE 6: DIAGRAMME DU CLOUD

III. Gestion de projet

Gestion des Sprints

A sprint is a short, time-boxed period when a scrum team works to complete a set amount of work. Sprints are at the very heart of scrum and agile methodologies, and getting sprints right will help your agile team ship better software with fewer headaches [4].

Le projet a été géré en suivant une méthodologie agile, avec des sprints définis sous **Jira**. Chaque sprint couvre une étape du développement :

- **Sprint 1** : Etude de besoin et Modelisation ;
- **Sprint 2** : Development backend et Intégration avec frontend ;
- **Sprint 3** : Test du system et deployment cloud.

| Lun. | Mar. | Mer. | Jeu. | Ven. |
|----------------------------------|----------------------------------|------|-------|------|
| 31 | avr. 1 | 2 | 3 | 4 |
| 🔗 Sprint 2 (Development) | | | | |
| 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 🔗 Sprint 2 (Development) | 🔗 Sprint 3 (Test et déploiement) | | | |
| 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 🔗 Sprint 3 (Test et déploiement) | | | | |
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 🔗 Sprint 3 (Test et déploiement) | | | | |
| 28 | 29 | 30 | mai 1 | 2 |

FIGURE 2: CAPTURE D'ECRAN JIRA "CALENDRIER"

Conclusion

La modélisation UML dans ce chapitre a permis de mieux comprendre l'architecture et le fonctionnement du système de recyclage de l'eau. Les diagrammes de cas d'utilisation, de classes et de séquence permettent de clarifier les besoins du système, d'organiser les données et d'illustrer le processus d'interaction entre les différents acteurs et composants. Cette analyse détaillée pose les bases d'une conception technique robuste et constitue un guide pour la mise en œuvre du système.

CHAP 4 : Etude Technique

Introduction

L'étude technique est une étape clé dans la mise en œuvre d'un projet, car elle permet d'identifier et d'évaluer les solutions et technologies qui seront utilisées pour réaliser le système proposé. Dans le cadre de ce projet de recyclage de l'eau, cette étude a pour but de détailler l'environnement de travail, de comparer les solutions techniques existantes et de présenter les technologies et outils choisis pour garantir le succès du projet. L'objectif est de s'assurer que les solutions proposées répondent aux besoins fonctionnels tout en étant robustes, scalables et adaptées aux exigences du projet.

I. Présentation de l'environnement de travail

L'environnement de développement du projet repose sur une combinaison d'outils et de technologies adaptés à un développement web et mobile moderne, en mettant l'accent sur la performance, la scalabilité et la facilité de déploiement.

| | |
|----------------------------------|--|
| Système d'exploitation | <ul style="list-style-type: none"> Windows 11 (local) Amazon Linux 2 (serveur sur AWS EC2). |
| IDE | Visual Studio Code. |
| Langages de programmation | <ul style="list-style-type: none"> Node js : Utilisé pour le backend, avec le framework Express js. JavaScript (ES6+) : Utilisé pour le développement frontend avec React. |
| Bases de données | Mongo DB. |
| Cloud | Amazon Web Services (AWS) pour l'hébergement, le stockage et les services associés. |

TABLEAU 3: ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

II. Technologies et outils utilisés

Les technologies et outils sélectionnés pour ce projet sont choisis en fonction de leur capacité à répondre aux exigences de performance, de scalabilité et de sécurité. Voici un aperçu des choix faits :

1. Frontend

React.js



FIGURE 3: LOGO DE REACT JS

React est une bibliothèque JavaScript open-source qui est utilisée pour construire des interfaces utilisateur spécifiquement pour des applications d'une seule page. Elle est utilisée pour gérer la couche d'affichage des applications web et mobiles. React a été créé par Jordan Walke, un ingénieur logiciel travaillant pour Facebook. React a été déployé pour la première fois sur Facebook en 2011 et sur Instagram en 2015 [5].

Javascript



FIGURE 4: LOGO DE JAVASCRIPT

JavaScript est un langage de programmation qui permet d'implémenter des mécanismes complexes sur une page web. À chaque fois qu'une page web fait plus que simplement afficher du contenu statique [6].

HTML



FIGURE 5: LOGO DE HTML

HTML est l'abréviation de « hypertext markup language » (langage de balisage hypertexte) et est un langage relativement simple utilisé pour créer des pages web. Comme il n'autorise pas les variables ou les fonctions, il n'est pas considéré comme un « langage de programmation », mais plutôt comme un « langage de balisage » [7].

CSS



FIGURE 6: LOGO DE CSS

CSS désigne Cascading Style Sheets (pour Feuilles de style en cascade). Il s'agit d'un langage de style dont la syntaxe est extrêmement simple mais son rendement est remarquable. En effet, le CSS s'intéresse à la mise en forme du contenu intégré avec du HTML [8].

Tailwind JS



FIGURE 7: LOGO DE TAILWIND

Tailwind CSS est un framework permettant aux développeurs de personnaliser totalement et simplement le design de leur application ou de leur site web. Avec ce framework CSS, il est possible de créer un design d'interface au sein même du fichier HTML [9].

2. Backend

Express JS



FIGURE 8: LOGO DE EXPRESS JS

Node.js est un environnement d'exécution open-source et multiplateforme qui permet d'exécuter du JavaScript côté serveur. Son architecture est conçue pour permettre des transferts de données efficaces, ce qui en fait un choix populaire pour le développement d'applications en temps réel et hautement évolutives.

3. Databases

Mongo DB



FIGURE 9: LOGO DE MONGO DB

MongoDB est une base de données de documents NoSQL open source populaire utilisée pour stocker et récupérer des données dans un format flexible et orienté document [10].

4. Cloud

AWS



FIGURE 10: LOGO DE AWS

AWS (Amazon Web Services) est une plateforme de cloud computing fournie par Amazon. Offre des outils tels que la puissance de calcul, le stockage de bases de données et les services de diffusion de contenu [11].

5. Gestion du Code Source

Git



FIGURE 11: LOGO DE GIT

Git est un outil DevOps utilisé pour la gestion du code source. Il s'agit d'un système de contrôle de version gratuit et open source utilisée pour gérer efficacement des projets de petite à très grande envergure. Git est habitué à suivre les modifications du code source [12].

6. Outils de Collaboration

Jira



FIGURE 12: LOGO DE JIRA

Jira est un logiciel développé par Atlassian qui permet le suivi des bugs et des problèmes, ainsi que la gestion agile de projets. Jira est utilisé par un grand nombre de clients et d'utilisateurs dans le monde entier pour la gestion de projets, de délais, d'exigences, de tâches, de bugs, de modifications, de code, de tests, de versions et de sprints.

Conclusion

L'étude technique a permis de définir un environnement de travail adapté à la gestion et au recyclage de l'eau, avec une architecture modulaire et flexible, intégrant des technologies de pointe. La comparaison des solutions existantes a mis en lumière les avantages de l'IoT et de l'IA pour optimiser l'efficacité du recyclage de l'eau, tout en minimisant les coûts et en garantissant la durabilité du système. Les technologies et outils choisis pour ce projet assurent une mise en œuvre efficace, tout en offrant la possibilité d'évoluer et de s'adapter aux besoins futurs.

CHAP 5 : Mise en œuvre et Réalisation

Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillerons les étapes de l'implémentation de la solution de recyclage de l'eau dans les villes et industries, en nous concentrant sur le développement de l'interface utilisateur (frontend) et de l'API backend. L'objectif est de fournir une vue d'ensemble sur les technologies et outils utilisés pour développer un système fonctionnel qui permet de gérer et optimiser les cycles de recyclage de l'eau. Nous présenterons également les choix faits concernant l'architecture de l'application et les principales fonctionnalités implémentées.

Implémentation et solution développée

I. Frontend : Développement de l'interface utilisateur

Captures d'écran de l'application

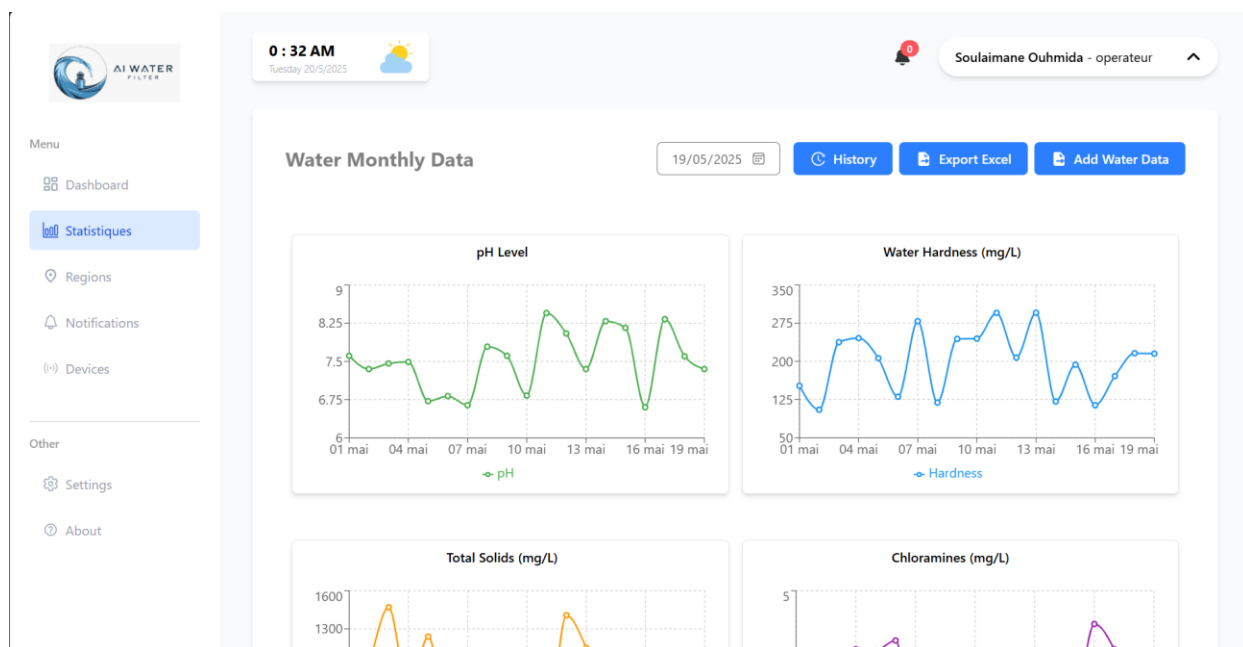


FIGURE 13: CAPTURE D'ECRAN DE LA PAGE STATISTIQUES

| Paramètre | Description |
|---------------------|--|
| pH | Mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau |
| Hardness | Quantité de minéraux dissous |
| Solids | Concentration en solides totaux (mg/L) |
| Chloramines | Présence de désinfectant dans l'eau |
| Sulfates | Indicateur de pollution |
| Conductivity | Capacité de l'eau à conduire l'électricité |

TABLEAU 4: CONTENU DE LA PAGE STATISTIQUES

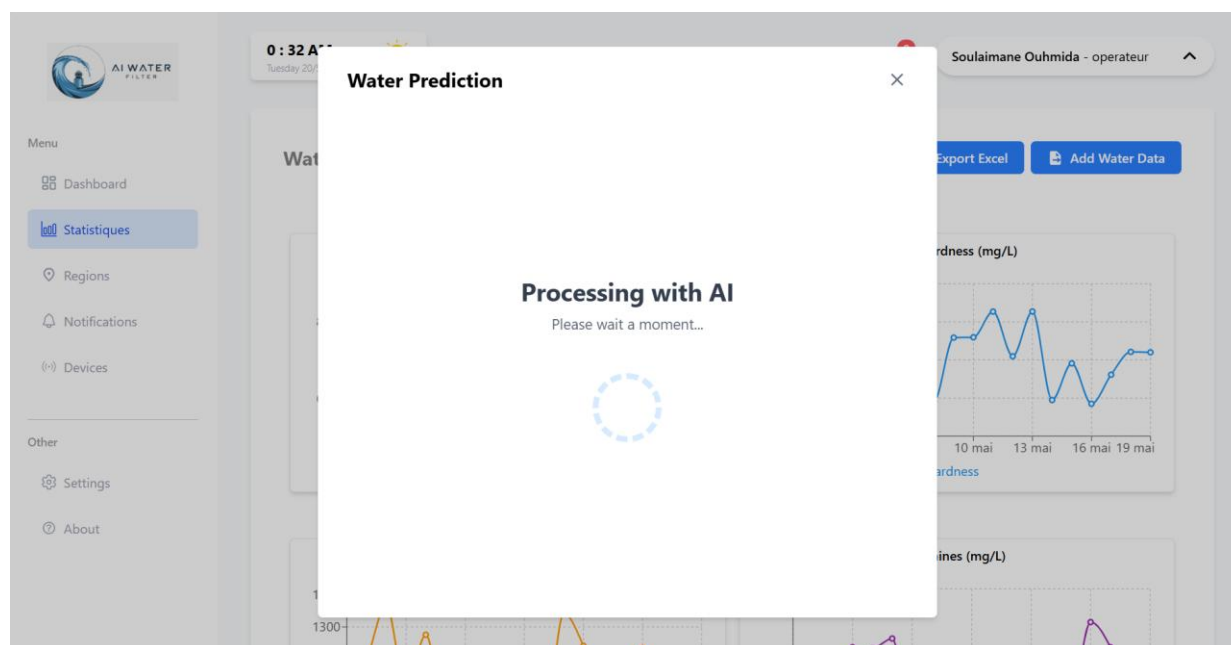
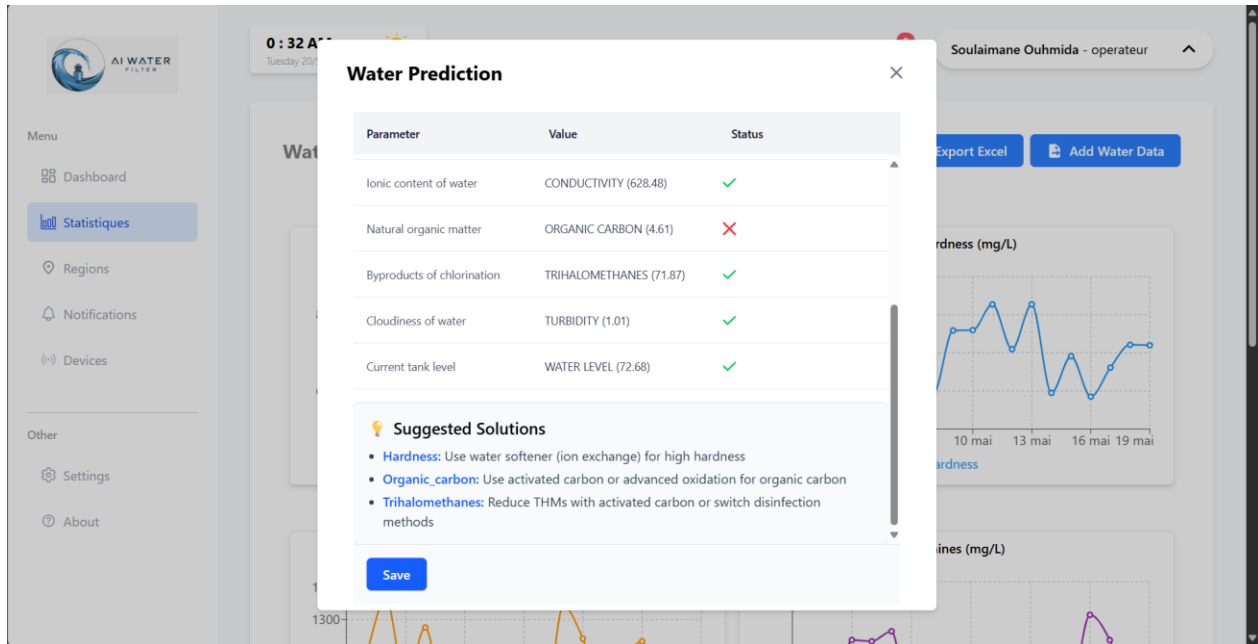


FIGURE 14: CAPTURES D'ECRAN DE PREDICTION D'EAU



II. Backend :

1. Architecture Générale

L'application est composée de plusieurs modules interconnectés, chacun jouant un rôle spécifique :

A) BACKEND PRINCIPAL (NODE.JS + EXPRESS + MONGODB)

- Gère les **utilisateurs**, **authentification**, **statistiques**, **notifications**, et **régions**.
- Connecté à une base de données **MongoDB** hébergée dans le cloud (MongoDB Atlas ou hébergée manuellement sur EC2).

B) SCRIPT PYTHON (FLASK) – SIMULATEUR IOT + PRÉDICTIONS IA

- Génère des **données simulées** de capteurs d'eau (niveau, dureté, etc.).
- Se connecte à **AWS IoT Core** pour simuler un appareil IoT.
- Utilise un **modèle Machine Learning** local pour prédire si l'eau est potable ou non, et suggérer des solutions.
- Envoie les résultats vers la base de données MongoDB Lambda.

C) AWS IOT CORE

- Sert de **pont sécurisé** entre le simulateur (Python) et le cloud.
- Réception des données via MQTT.
- Déclenchement d'une **fonction Lambda** dès la réception d'un message.

D) AWS LAMBDA

- Fonction **serverless** qui se déclenche automatiquement.
- Stocke les données reçues depuis IoT Core dans **MongoDB**.

2. Avantages de l'Utilisation du Cloud

| Avantage | Description |
|-------------------------------|---|
| Scalabilité | L'architecture peut facilement gérer des milliers d'appareils IoT. |
| Temps réel | Grâce à IoT Core et Lambda, les données sont traitées immédiatement. |
| Économie de ressources | AWS Lambda évite le besoin de serveurs toujours allumés. |
| Interopérabilité | Intégration facile entre différents langages (Node.js & Python). |
| Sécurité | IoT Core offre des certificats sécurisés et une gestion fine des autorisations. |

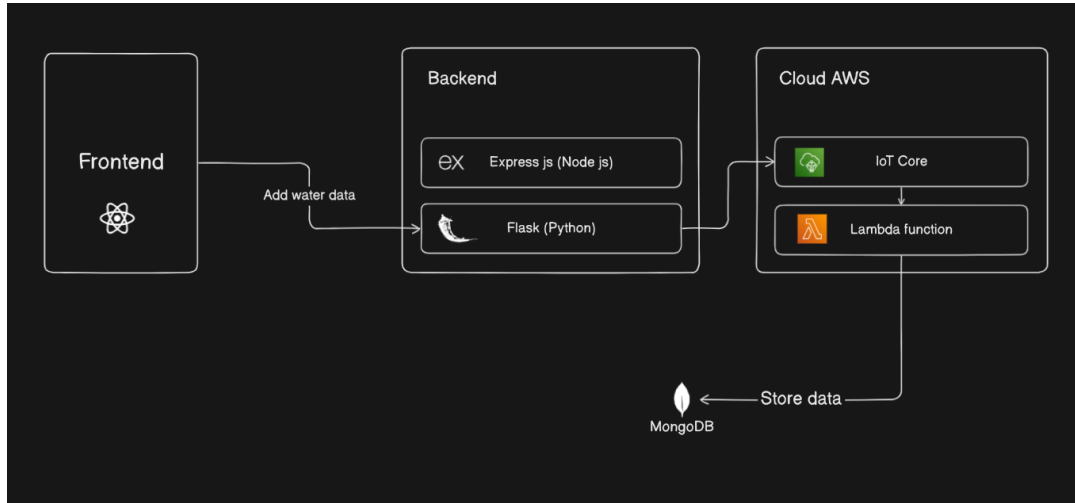


FIGURE 15: ARCHITECTURE DU BACKEND

Conclusion

L'implémentation de la solution de recyclage de l'eau repose sur un développement frontend et backend bien structuré. Le frontend, développé avec React.js, fournit une interface utilisateur interactive et intuitive, permettant aux utilisateurs de surveiller les performances du système en temps réel. De l'autre côté, l'API backend, développée en Node.js ou Django, assure la gestion des données collectées, l'interaction avec les capteurs IoT, et l'optimisation du système en temps réel grâce à l'intelligence artificielle. Cette architecture garantit une solution évolutive et adaptable, prête à être déployée à grande échelle dans les environnements urbains et industriels.

Conclusion Générale et Perspectives

Le projet de recyclage de l'eau dans les villes et industries a permis de concevoir une solution innovante visant à répondre aux défis majeurs de la gestion de l'eau en milieu urbain et industriel. L'objectif principal est de réduire la consommation d'eau potable, d'optimiser les coûts liés à l'approvisionnement et au traitement des eaux usées, tout en contribuant à la préservation des ressources naturelles. À travers l'utilisation de technologies avancées comme l'Internet des Objets (IoT), l'intelligence artificielle (IA), et des méthodes de filtration innovantes, ce projet propose une solution complète pour la gestion et le recyclage de l'eau.

Tout au long de ce projet, une approche systématique et modélisée a été adoptée, en utilisant des diagrammes UML pour formaliser les besoins et les interactions du système. Les besoins fonctionnels et non fonctionnels ont été soigneusement analysés, et des solutions adaptées ont été proposées pour chaque aspect, qu'il s'agisse de la collecte de l'eau, de son traitement, de sa surveillance, ou de l'optimisation du processus grâce à l'intelligence artificielle. Ce travail a aussi permis de définir des étapes de mise en œuvre claires, allant de la collecte des eaux usées à leur traitement en passant par l'optimisation continue.

Le projet de recyclage de l'eau représente une avancée significative dans la gestion durable des ressources en milieu urbain et industriel. Cependant, plusieurs perspectives s'offrent pour son développement futur :

- 1. Prototype et Tests sur le Terrain :** La prochaine étape logique consiste à développer un prototype MVP (Minimum Viable Product) pour tester l'efficacité des capteurs et des technologies de purification de l'eau en conditions réelles. Ce prototype permettra d'affiner le système et de valider la pertinence des choix technologiques avant de procéder à un déploiement à grande échelle.
- 2. Scalabilité et Déploiement à Grande Échelle :** Le système conçu doit être optimisé pour être déployé à grande échelle, ce qui inclut l'intégration de nouveaux capteurs IoT, l'adaptation du traitement des données et l'extension de la solution à d'autres secteurs industriels ou zones urbaines. La mise en place d'une architecture de microservices avec Docker et Kubernetes facilitera cette scalabilité.

3. **Amélioration continue grâce à l'IA :** Le rôle de l'intelligence artificielle dans l'optimisation des cycles de recyclage peut être étendu. Par exemple, de nouveaux algorithmes pourraient être développés pour prédire les besoins en eau en fonction de facteurs environnementaux, saisonniers ou spécifiques à chaque industrie.
4. **Extension à d'autres types de gestion de ressources :** À terme, ce système pourrait être étendu pour gérer d'autres types de ressources naturelles, comme l'énergie ou les matières premières industrielles. L'approche de gestion intelligente pourrait alors être appliquée à d'autres domaines, pour créer des solutions durables à l'échelle globale.
5. **Collaboration avec des acteurs publics et privés :** Le succès du projet pourrait être renforcé par des partenariats avec des municipalités, des entreprises industrielles et des organisations de protection de l'environnement. Ces collaborations permettront de garantir que le système soit adapté aux besoins locaux, tout en assurant sa rentabilité et son efficacité.

En conclusion, ce projet offre une réponse innovante aux défis de la gestion des ressources en eau, avec des perspectives d'évolution importantes. Sa mise en œuvre pourrait avoir un impact majeur sur la durabilité environnementale et la réduction des coûts liés à l'approvisionnement en eau, tout en offrant un modèle adaptable à d'autres problématiques liées à la gestion des ressources naturelles.

Références

- [1] « What is Unified Modeling Language (UML)? » Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/what-is-uml/>
- [2] « What is Unified Modeling Language (UML)? » Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/what-is-uml/>
- [3] « What Is Cloud Computing? | Microsoft Azure ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing>
- [4] « What Is Agile Methodology? (A Beginner's Guide) [2025] • Asana ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://asana.com/resources/agile-methodology>
- [5] « React – A JavaScript library for building user interfaces ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://legacy.reactjs.org/>
- [6] « What is JavaScript? - Learn web development | MDN ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Core/Scripting/What_is_JavaScript
- [7] « HyperText Markup Language (HTML): What It Is and How It Works », Investopedia. Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.investopedia.com/terms/h/html.asp>
- [8] « CSS Introduction ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp
- [9] « Tailwind CSS - Rapidly build modern websites without ever leaving your HTML. » Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://tailwindcss.com/>
- [10] « What Is MongoDB? | MongoDB ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.mongodb.com/company/what-is-mongodb>
- [11] « Free Cloud Computing Services - AWS Free Tier ». Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://aws.amazon.com/free/?trk=15faae9b-ab87-4e8f-8946-c46e8264e383&sc_channel=ps&ef_id=Cj0KCQjw8vvABhCcARIsAOCfwwomdxqA0ICCxd91wNekm0pg0ziSeISgtXTyk076PA_dx5ou0XZoIwaAudGEALw_wcB:G:s&s_kwcid=AL!4422!3!645208863529!e!!g!!aws!19572078132!145087520813&gad_campaignid=19572078132&gbraid=0AAAAADjHtp8-FJFN_gNnKVHnPDj1UW1Y5&gclid=Cj0KCQjw8vvABhCcARIsAOCfwwomdxqA0ICCxd91wNekm0pg0ziSeISgtXTyk076PA_dx5ou0XZoIwaAudGEALw_wcB&all-free-tier.sort-

by=item.additionalFields.SortRank&all-free-tier.sort-
order=asc&awsf.Free%20Tier%20Types=*all&awsf.Free%20Tier%20Categories=*all
[12] « Git - What is Git? » Consulté le: 10 mai 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://git-scm.com/book/en/v2/Getting-Started-What-is-Git%3F>