République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'enseignement Supérieur
Et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Fares Medea
Faculté Des Sciences
Département de mathématique et Informatique



Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique
Option : Ingénierie des systèmes et technologie du web

Thème :

Conception et développement de jumeaux numériques pour un réseau de distribution d'eau potable.

Présenté par :
Fergani Meriem.
Mahieddine Nassima.

Dérigé par:
Encadreur :Mr.Mazari Redha
Co-Encadreur : Mr.Rahim Messaoud

Année Universitaire : 2019-2020

Remerciements

Nous remercions le bon dieu de nous avoir mis sur la voie du savoir.

Nous tenons vivement à remercier notre promoteur Mr Mazari, Pour avoir accepté de proposer et d'encadrer et aussi pour tous les conseils précieux pour réaliser ce travail. Aussi nous tenons à Mr Rahim, Pour ses conseils, idées et ses informations.

A tous ceux qui de près ou de loin nous ont aidées à élaborer ce travail.

Un grand merci à nos chers parents, nos frères et sœurs pour physiques que nous ont soumis pendant toute la période de la préparation de notre projet de fin d'études.

Nous remercions le président du jury et les examinateurs d'avoir accepter de juger notre travail.

Un énorme merci a nos amies pour leur éternel soutien.

En fin, nous ne pouvons achever ce projet sans exprimer notre gratitude à tous les enseignants et tous les enseignants de mathématiques et informatique sans exception qui ont donné toutes leurs forces de nous apprécier les études.

Dédicace

Je tiens tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné La force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

À Mon père Allah Yarhmo, j'espère que tu sois fier et que tu trouves ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit, Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutient permanent venu de toi.

À Ma mère mon exemple, qui a toujours été présente pour moi quelques soit les situations, qui m'a toujours soutenue, aidée, encouragée, et qui a fait de moi ce que je suis aujourd'hui. Sans elle je n'aurais jamais réussi, je sais que je ne pourrais jamais assez la remercier, alors j'espère qu'elle trouvera dans ce modeste travail un début de ma gratitude. Les mots ne sont pas assez fort pour exprimer la fierté que je ressens d'être sa fille.

A mes chères sœurs Selma,Naziha,Lamia,etwiame Pour leur soutien, et d'avoir accepté de m'écouter parler de ce mémoire pendant des mois.

A mes chers petits neveux Khalil, Youssef, Rahim, Mohamed, A ma chère nièce Norhan.

A mon fiance qui m'a soutenue tout au long de ce projet.

A mes chères amies : Besma, Faiza, Dhoha, Farah, Leila, Rania…
A tous ceux qui me sont chères. A tous ceux qui m'aiment. A tous ceux que j'aime
A toute personne qui a contribué à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Tout d'abord je dois remercier mon bon dieu qui m'a donné la force

et le Courage pour réussir à

Réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à :

Ma mère et mon père qui m'ont toujours encouragé, surtout dans les moments difficiles.

Mes chers frères Mohamed et Fouad et Sofiane et mes chères soeurs Souad et sa fille Batoul et Khalida et ses enfants Maram et Anas.

A mes chères amies intime qui était toujours à mes côtés

A toute ma familles Mahieddine et Benkssirete. A tous ceux qui me connais.

Résumé

Un jumeau numérique est une image virtuelle d'un système physique. Ce travail vise à améliorer le processus de développement des jumeaux numériques concernant des systèmes de réseaux de distribution d'eau potable, onbasons sur la modélisation Epanet pour développer le jumeau numérique du réseau Dans cette démarche, nous utilisons la plateforme (Eclipse Ditto) pour la création des jumeaux numériques. Pour aider les gestionnaires du réseau de distribution d'eau, nous avons conçus et développé une application web permettant de supporter toutes les étapes de la démarche proposée.

Mots clés : Jumeau numérique, réseaux de distribution d'eau potable, Eclipse Ditto, système physique. application web, Epanet.

Abstracts

A digital twin is a virtual image of a physical system. This work aims to improve the process of developing digital twins for drinking water distribution network systems, we are basing on Epanet modeling to develop the digital twin of networks In this approach, we use the platform (Eclipse Ditto) for the creation of twins digital. To help managersof the water distribution network, we have designed and developed a web application to support all stages of the proposed approach.

Key words: Digital Twin, Eclipse Ditto. water distribution network systems, physical system, Epanet.

ملخص

التوأم الرقمي هو نسخة رقمية افتراضية لأصل مادي .حيث يتم نقل البيانات بسهولة مما يسمح للكيان الافتراضي أن يتواجد في وقت واحد مع الكيان المادي. يهدف هذا العمل الى تطوير التوائم الرقمي لأنظمة شبكات توزيع مياه الشرب ، استنادا على النمذجة هذه الانظمة. قمنا بتصميم وتطوير تطبيق ويب يهدف الى تحسين عملية مراقبة شبكة توزيع المياه عن بعد و في الوقت الحقيقي .

الكلمات المفتاحية: توأم رقمي ، شبكات توزيع مياه الشرب

Table des matières :

Introduction générale 1
Chapitre 1 : Internet of Thing ET Jumeau Numérique 3
1. Introduction 3
2. L'internet des objets 3
2.1. Historique 3
2.2. Définition 4
2.3. Fonctionnement d'IoT 5
2.4. Les composants d'internet des objets 6
2.4.1. Capteurs / appareils 6
2.4.2. Connectivité 6
2.4.3. Traitement des données 6
2.4.4. Interface utilisateur 6
2.5. Avantages de l'IoT 7
2.6. Inconvénients de l'IoT 7
2.7. Que ce qu'un objet connecté 7
2.8. L'architecture de l'Internet des objets 8
2.9. Domaines d'application d'IoT 8
3. Jumeau Numérique 10
3.1 Définition 10
3.2 Principaux avantages de l'utilisation des jumeaux numériques 11
3.3. Les utilisations du Jumeau Numérique : 12
3.3.1. Visibilité 12
3.3.2. Prédiction 12
3.3.3. Qu'est-ce qui passerait si? (simulation) 12
3.3.4 .Outil de documentation et de communication 12
3.3.5. Outil d'aide à la décision 12
3.4. Les différents types de jumeaux numériques 13
3.4.1. Le jumeau virtuel sans couplage avec la réalité (usine virtuelle, machine virtuelle) 13

3.4.2. Le jumeau numérique couplé avec de la réalité augmentée 13
3.4.3. Close loop digital twins 13
4. L'outils technologique Eclipse Ditto 14
4.1 Définition 14
5. Conclusion 16
Chapitre 2 : les réseaux de distribution d'eau potable 17
1. Introduction 17
2. les réseaux de distribution d'eau 17
2.1. Définition des réseaux d'eau 17
2.1.1. Définition d'eau potable 18
2.1.2. Qu'est ce qu'un réseau d'eau potable ? 18
2.1.3. D'où vient l'eau qui sert à produire l'eau potable 18
2.1.4. La structure générale d'un réseau 19
2.1.4.1. Les canalisations 20
2.1.4.2. Les accessoires de réseau 20
2.1.4.3. Les branchements 20
2 .2. Le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable 21
2.3. Les enjeux de l'optimisation de la gestion des réseaux d'eau et de la ressource en eau 21
2.4. Définition des réseaux d'eau intelligents 22
3. Les jumeaux numériques dans les réseaux de distribution d'eau 22
3.1. Objectif de jumeaux numérique pour les réseaux de distribution d'eau 23
3.2. Caractéristiques d'un jumeau pour les réseaux de distribution d'eau 25
3.3. Application de jumeaux numériques pour les réseaux de distribution d'eau 26
3.4. Les 5 composants des jumeaux numériques de réseau de distribution d'eau 26
4. L'automatisation d'un système 28
4.1 Qu'est-ce qu'un système automatisé ? 28
4.2 Apports de l'automatisation à la gestion d'un réseau d'eau 29
5. Automatisation du réseau et le jumeau numérique 29
6. Réseau de distribution d'eau dans Epanet 29
6.1. Choix de logiciel Epanet 29
7. Conclusion 31
Chapitre 3 : Conception 32
1. Introduction 32
2. Démarche globale 32

3. Modélisation d'un réseau de distribution d'eau 33
4. Exportation de Modèle de réseau de distribution d'eau 33
5. Transformation 34
5.1 Méta-modèle du jumeau numérique 34
5.1.1 Objets (things) 34
5.1.2. Fonctionnalité (Feature) 35
5.1.3. Propriété (property) 35
5.2. Démarche de transformation 35
5.3. Processus de transformation 36
6. Application de jumeau numérique 39
7. Diagramme de classes de réseaux de distribution d'eau 40
8. Diagramme de cas d'utilisation 41
9. Modèle dynamique (diagrammes de séquences) 50
10. Conclusion 55
Chapitre 4 : Implémentation 56
1. Introduction 56
2. Implémentation jumeaux numérique du réseau de distribution d'eau 56
3. Exportation du réseau de distribution d'eau à un fichier.inp 57
4. Transformation 57
5. Interface supervision et contrôle 62
5.1. Création des things dans la plateforme de jumeau numérique 62
5.2 Contrôle de Réseau en temps réel 63
5.3. La visualisation de Réseau en temps réel 64
5.4. Simulation du réseau de distribution d'eau dans NODE-RED 64
5.5. Les interfaces de l'application 67
Conclusion générale 77
Annexe1 80
Epanet 80
1. Historique 80
2. Définition D'Epanet 80
3. Objectif d'Epanet 80
4. Caractéristique principales du logiciel 81
5. Modélisation de réseaux de distribution d'eau dans Epanet 81
Annexe 2 83

1. Fichier INP 83
Bibliographie 86

Liste des figures

Figure 1. 1 : L'utilisation de l'Internet des objets. 4
Figure 1. 2 : Architecture d'internet des objets. 5
Figure 1. 3: L'architecture de l'Internet des objets. 8
Figure 1. 4 : Domaines d'application de L'IoT 9
Figure 1. 5 : jumeaux numérique. 11
Figure 1. 6 ; interface Eclipse Ditto. 15
Figure 1. 7 : Les protocoles utilisés par la plateforme Eclipse Ditto. 15
Figure 2. 1 : Alimentation en eau potable. 21
Figure 2. 2 : Les services améliorés par les jumeaux numériques pour les réseaux de distribution d'eau. 25
Figure 2. 3 : structure d'un système automatisé 28
Figure 2. 4 : Exemple d'un réseau de distribution d'eau. 30
Figure 3. 1: Démarche globale. 33
Figure 3. 2 : Méta modèle des jumeaux numériques. 34
Figure 3. 3 :Démarche de transformation. 36
Figure 3. 4 : Exemple du composant pipe dans le fichier inp. 37
Figure 3. 5: Modèle de jumeau numérique de pipe. 37
Figure 3. 6 : Exemple du composant junction dans le fichier inp. 38
Figure 3. 7 : Modèle de jumeau numérique de junction 38
Figure 3. 8 : Exemple de format de thing en JSON. 39
Figure 3. 9 : Diagramme de classe. 40
Figure 3. 10 : Diagramme de cas d'utilisation. 42
Figure 3. 11: Diagramme de séquence pour «Exportation de fichier inp». 50
Figure 3. 12 : Diagramme de séquence pour «Authentification». 51
Figure 3. 13 : Diagramme de séquence pour «Authentification». 52
Figure 3. 14 : Diagramme de séquence pour «La création des things». 53
Figure 3. 15: Diagramme de séquence pour «jumeau numérique». 54
Figure 4. 1 : schéma globale de notre système. 56
Figure 4. 2**:** Exportation de modèle de réseau. 57
Figure 4. 3 : transformation de composant pipe. 59
Figure 4. 4 : Représentation de thing pipe. 61
Figure 4. 5 : Requête de la création d'un thing. 62
Figure 4. 6: Fonctionnement d'Eventsource. 63
Figure 4. 7: Utilisation d'Eventsource. 64
Figure 4. 8 : Simulation des informations de composant 65
Figure 4. 9 : la simulation de websocket dans NODE-RED. 66
Figure 4. 10 : Simulation d'une Alerte. 66
Figure 4. 11: Interface d'authentification. 67
Figure 4. 12 : Interface de chargement de modèle de réseau (fichier inp). 68
Figure 4. 13: Interface de réseau. 69
Figure 4. 14 : Interface des éléments de composant pipe. 70
Figure 4. 15 : Interface de contrôle de pipe. 71
Figure 4. 16 : Interface de graphe Flow en temps réel en temps réel. 72
Figure 4. 17: Interface de graphe Velocity en temps réel. 72

Figure 4. 18 : Interface de graphe Headloss en temps réel. 73
Figure 4. 19 : Interface d'une alerte. 74
Figure 4. 20 : interface de graphe Quality en temps réel. 75
Figure 4. 21 : Interface de graphe Pressure en temps réel. 75
Figure A. 1: Exemple d'un fichier.inp. 85

Liste des tableaux

Table 3.1 : Description de sous cas d'utilisation «Exportation de modèle de réseau». 43
Table 3.2 : Description de sous cas d'utilisation «Authentification». 44
Table 3.3 : Description d sous cas d'utilisation «Création modèle de transformation». 45
Table 3.4 : Description de sous cas d'utilisation «Gestion de transformation».....46
Table 3.5 : Description de sous cas d'utilisation «Générer fichier JSON». 47
Table 3.6 : Description de sous cas d'utilisation «Création de thing dans la plateforme de jumeau numérique». 48
Table 3.7 : Description de sous cas d'utilisation «Gestion de l'interface de jumeau numérique». 49

Introduction générale

Nos réseaux d'eau sont des atouts extrêmement précieux et essentiels à la vie urbaine moderne. Mais ils sont hors de vue, enfouis sous nos rues [1].

Un réseaux de distribution d'eau fait partie d' un réseau d'approvisionnement en eau avec des composants qui acheminent l'eau potable d'une station de traitement centralisée ou de puits aux consommateurs d'eau afin de fournir adéquatement de l'eau pour répondre aux exigences résidentielles, commerciales, industrielles et de lutte contre les incendies[2]. En effet, La gestion d'un réseau de distribution d'eau potable à pour principale mission d'assurer la distribution. La gestion classique des réseaux présente beaucoup d'inconvénients, tel que la perte de temps pour la recherche d'une information bien déterminée, la difficulté de la mise à jour des informations sur les composants, la difficulté de détectées les pannes des réseaux, et la difficulté d'obtenir des informations en tempe réels sur les réseaux. Pour optimiser la gestion et les aspects de la performance des réseaux de distribution d'eau sont évolué à des réseaux d'eau intelligents.

Un réseau d'eau intelligent est un ensemble de solutions et de systèmes permettant aux opérateurs de réseaux d'eau de contrôler et diagnostiquer les problèmes, de prioriser et gérer, en continu et à distance. L'objectif est d'optimiser la performance des services d'eau potable tout en améliorant l'efficacité énergétique, en préservant la ressource en eau et en surveillant la qualité de l'eau distribuée aux consommateurs [3]. Lorsqu'un réseau d'eau intelligent utilise les technologies de communication de l'internet, il devient une partie de l'internet des objets l'IoT.

L'Internet des Objets est un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électronique normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter, sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels, les données s'y rattachant [4].

Maintenant que nous pouvons distinguer pleinement le concept Internet des objets, on peut maintenant discuter du concept qui relie ces objets ensemble. Ce concept implique une technologie permettant aux données et aux informations de voyager entre les appareils IoT c'est la plateforme de simulation virtuelle (jumeaux numériques) [5].

Un jumeau numérique est une réplique numérique d'une entité physique vivante ou non vivante. Dans le contexte des systèmes techniques, un jumeau numérique est souvent considéré comme une représentation numérique du système physique, qui reflète le vrai jumeau aussi

parfaitement que possible, en termes de comportement et de résultats. Des données provenant de diverses sources peuvent être incorporées dans le modèle, afin de rendre la mise en miroir du système réel suffisamment précise pour l'application. L'établissement d'une connexion avec d'autres modèles est également courant [6].

Dans ce contexte, nous proposons une démarche pour le développement des jumeaux numériques concernant le réseau de distribution d'eau potable. L'idée consiste à exploiter la modélisation du réseau de distribution d'eau potable à construire pour générer son jumeau numérique puis le contrôler et le visualiser.

Le reste de ce document détaille l'état de l'art concernant ce sujet et explique la démarche proposée et l'implémentation de l'application de création du jumeau numérique et le contrôle est la visualisation de réseau de distribution d'eau. Il est organisé en quatre chapitres comme suit :

Chapitre 1 : On consacre ce chapitre pour les concepts relatifs aux internet des objets, les jumeaux numériques, et on présente les outils de développement, et les concepts de base utilisés, tell que NODE-RED et Eclipse Ditto.

Chapitre 2 : Dans ce chapitre, on présente les réseaux de distribution d'eau potable. Leur supervision, leur modélisation et l'application de jumeaux numérique pour ce dernier.

Chapitre3: La partie « Conception » donne une vue globale et détaillée des solutions techniques qui permettent la réalisation de cette application web.

Chapitre 4 : Est réservé à notre application développée. De ce fait nous allons représenter les différentes étapes de développement de cette dernière ainsi que les étapes de la réalisation d'un Jumeaux numérique pour le réseau de distribution d'eau potable.

Chapitre 1 : Internet of Thing ET Jumeau Numérique

1. Introduction

L'internet a connu depuis son apparition, un grand essor et a touché pratiquement tous les domaines de notre vie de tous les jours : politique, économique, socioculturel, etc. Elle est devenue la principale source d'information. L'internet a également facilite la communication entre les gens, en transformant le monde en une petite ville. Le progrès scientifique et technologique a eu, spécialement dans le domaine de l'électronique , de la communication des objets intelligents et des systèmes de capteurs très développés, variés et de différentes tailles, des répercussions positives sur l'internet et l'apparition également d'un nouveau paradigme qui est « l'Internet des Objets », en anglais : Internet of Things (IoT). L'IoT constitue la prochaine génération de la révolution numérique. Ce sont des milliards d'objets du quotidien qui seront connectés à l'horizon 2020. Les objets connectés ont la possibilité de simplifier la vie quotidienne et d'améliorer le bien-être des individus, chez eux, dans leur jardin privé, au bureau, en famille ou au sein de toute autre communauté [7]. Un objet connecté peut être une personne avec un implant cardiaque qui transmet des données, un objet intelligent pour l'économie de l'eau permettant ainsi le contrôle automatique et intelligent du réseau, un animal qui porte une puce intelligente, une voiture dotée de capteurs indiquant la pression des pneus, ou tout autre objet auquel une adresse IP est assignée et qui peut transmettre des informations. En outre, l'Internet des Objets a la possibilité d'intégration avec le réseau Internet, ce qui va permettre une connectivité pour tout le monde, tout le temps et partout et idéalement depuis n'importe quelle plate-forme [8]. Ce chapitre est consacré à l'étude des systèmes d'IoT. L'objectif de telle étude est de comprendre leurs caractéristiques et spécificités afin de pouvoir développer un système d'IoT.

2. L'internet des objets

2.1. Historique

Avant de définir plus en profondeur le concept de « l'internet des objets », nous allons commencer par donner un bref historique d'internet. Cela nous semble en effet indispensable pour pouvoir expliquer correctement ce qu'est l'internet des objets. Internet est apparu en 1969 avec la création du réseau Arpanet. A l'origine, seuls quatre ordinateurs étaient connectés entre eux. Par la suite, d'autres ordinateurs furent ajoutés à ce réseau. A cette époque, la vitesse de téléchargement était de50kbits/s, alors que celle-ci est désormais de 3,1mb/s en moyenne.

Internet est donc environ 63 fois plus rapide qu'auparavant. C'est à partir de ce moment là qu'internet a révolutionné le monde.

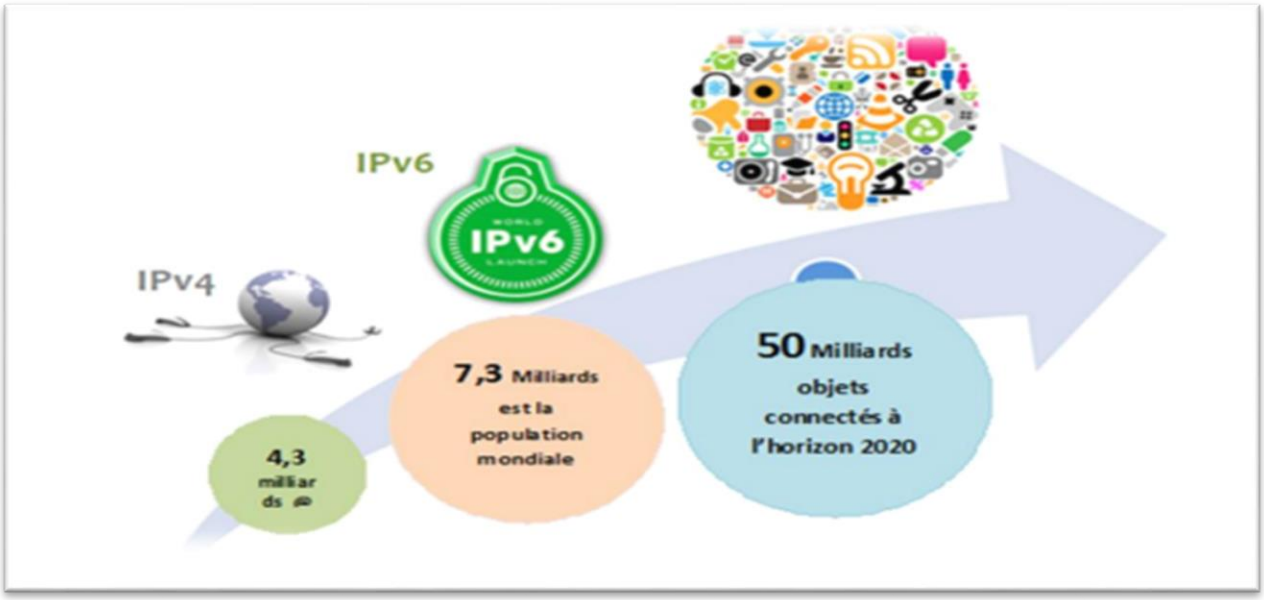


Figure 1. 1 : L'utilisation de l'Internet des objets [46].

2.2. Définition

L'Internet des objets (IoT) est 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 existantes ou en évolution ». En réalité Il n'existe pas de définition standard et unifiée de l'internet des objets, certaines définitions traitent les aspects techniques de l'IoT, alors que d'autres évoquent les usages et les fonctionnalités. La technologie IoT est considérée comme l'émergence de l'Internet du futur, Certains la définissent comme des « objets ayant des identités et des personnalités virtuelles, opérant dans des espaces intelligents et utilisant des interfaces intelligentes pour se connecter et communiquer au sein de contextes d'usages variés » [9]. D'autres, insistent sur l'aspect ubiquitaire de l'IoT permettant de connecter les gens et les objets n'importe où, n'importe quand, par n'importe quoi. Ce nouveau paradigme informatique est basé non plus sur des PC et des périphériques informatiques, mais sur des objets quotidiens intégrant des capteurs en leurs attribuant une intelligence et la capacité de communiquer via le réseau Internet [10].

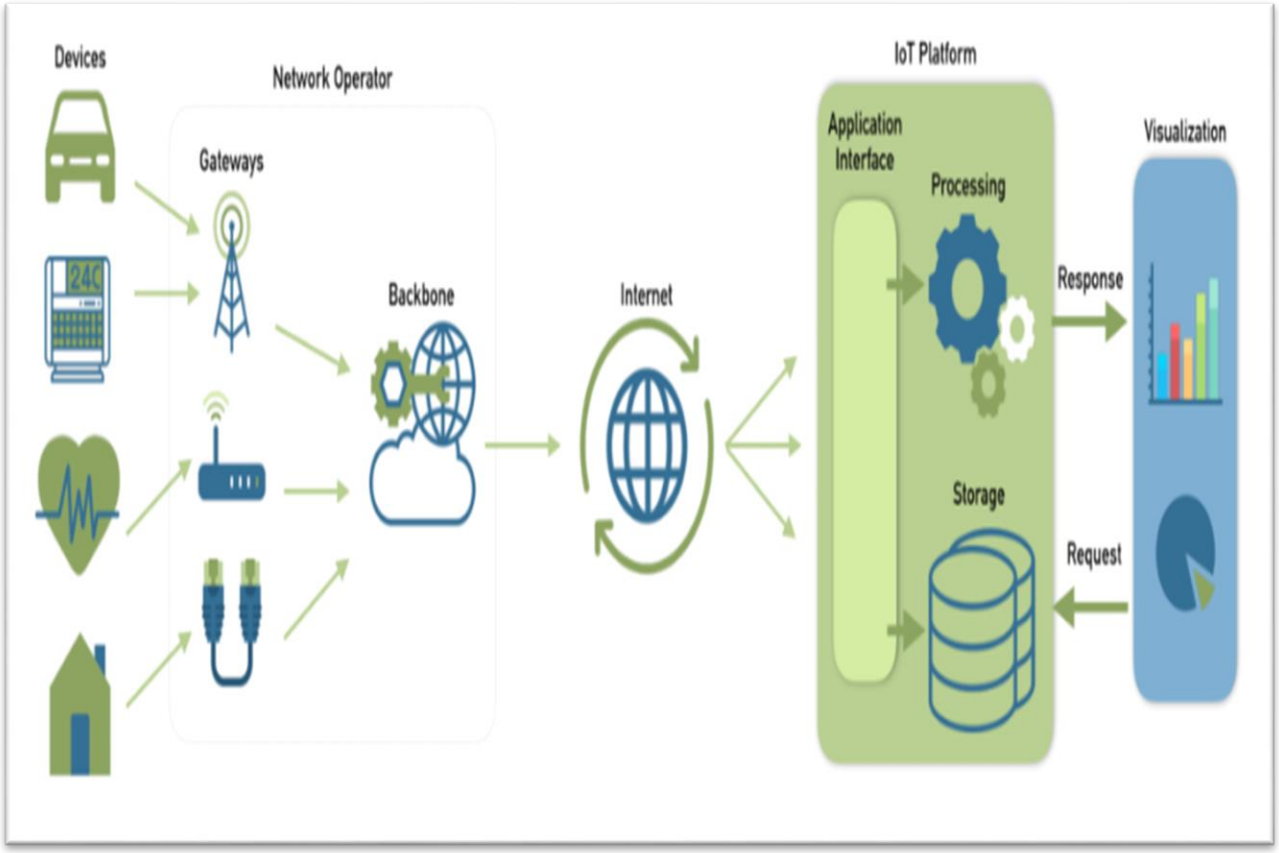


Figure 1. 2 : Architecture d'internet des objets [10].

2.3. Fonctionnement d'IoT

Un écosystème IoT se compose d'appareils intelligents compatibles Web qui utilisent des systèmes intégrés, tels que des processeurs, des capteurs et du matériel de communication, pour collecter, envoyer et agir sur les données qu'ils acquièrent de leurs environnements. Les appareils IoT partagent les données des capteurs qu'ils collectent en se connectant à une passerelle IoT ou à un autre appareil périphérique où les données sont envoyées au cloud pour être analysées ou analysées localement. Parfois, ces appareils communiquent avec d'autres appareils associés et agissent sur les informations qu'ils obtiennent les uns des autres. Les appareils effectuent la majeure partie du travail sans intervention humaine, bien que les gens puissent interagir avec les appareils par exemple, pour les configurer, leur donner des instructions ou accéder aux données.

Les protocoles de connectivité, de mise en réseau et de communication utilisés avec ces appareils compatibles Web dépendent largement des applications IoT spécifiques déployées.

L'IoT peut également utiliser l'intelligence artificielle (IA) et l'apprentissage automatique pour faciliter et dynamiser les processus de collecte de données [11].

2.4. Les composants d'internet des objets

Voici quatre composants fondamentaux d'un système IoT [9]:

2.4.1. Capteurs / appareils

Les capteurs ou appareils sont un élément clé qui vous aide à collecter des données en direct de l'environnement. Toutes ces données peuvent avoir différents niveaux de complexité. Un appareil peut avoir différents types de capteurs qui effectuent plusieurs tâches en dehors de la détection.

2.4.2. Connectivité

Toutes les données collectées sont envoyées à une infrastructure cloud. Les capteurs doivent être connectés au cloud en utilisant différents moyens de communication. Ces supports de communication comprennent les réseaux mobiles ou satellites, Bluetooth, WI-FI, WAN, etc.

2.4.3. Traitement des données

Une fois que ces données sont collectées et qu'elles parviennent au cloud, le logiciel effectue le traitement des données collectées.

2.4.4. Interface utilisateur

Les informations doivent être disponibles pour l'utilisateur final. L'utilisateur peut parfois avoir besoin d'une interface qui vérifie activement son système IoT. Cependant, ce n'est pas toujours une communication à sens unique. Selon l'application IoT et la complexité du système, l'utilisateur peut également être en mesure d'effectuer une action qui peut créer des effets en cascade.

2.5. Avantages de l'IoT

Certains des avantages de l'IoT sont les suivants:

- Possibilité d'accéder aux informations de n'importe où et à tout moment sur n'importe quel appareil.
- Communication améliorée entre les appareils électroniques connectés.
- Le transfert de paquets de données sur un réseau connecté, ce qui permet d'économiser temps et argent.
- Automatiser les tâches contribuant à améliorer la qualité des services d'une entreprise et à réduire le besoin d'intervention humaine [11].

2.6. Inconvénients de l'IoT

- À mesure que le nombre d'appareils connectés augmente et que d'avantage d'informations sont partagées entre les appareils, le risque qu'un pirate informatique puisse voler des informations confidentielles augmente également.
- Les entreprises devront éventuellement faire face à un nombre considérable - peut-être même des millions - d'appareils IoT, et la collecte et la gestion des données de tous ces appareils seront difficiles.
- S'il y a un bogue dans le système, il est probable que chaque appareil connecté soit corrompu.
- Comme il n'y a pas de norme internationale de compatibilité pour l'IoT, il est difficile pour les appareils de différents fabricants de communiquer entre eux [11].

2.7. Que ce qu'un objet connecté

L'IOT repose avant tout sur les objets connectés. Un objet connecté a la capacité de capter une donnée et de l'envoyer, via le réseau Internet ou d'autres technologies, pour que celle-ci soit analysée et visualisée sur des tableaux de bord dédiés. Les objets connectés interagissent avec leur environnement par le biais de capteurs : température, vitesse, humidité, vibration… Dans l'Internet des Objets, un objet peut aussi bien être un véhicule, qu'une machine industrielle ou encore une place de parking [9].

2.8. L'architecture de l'Internet des objets

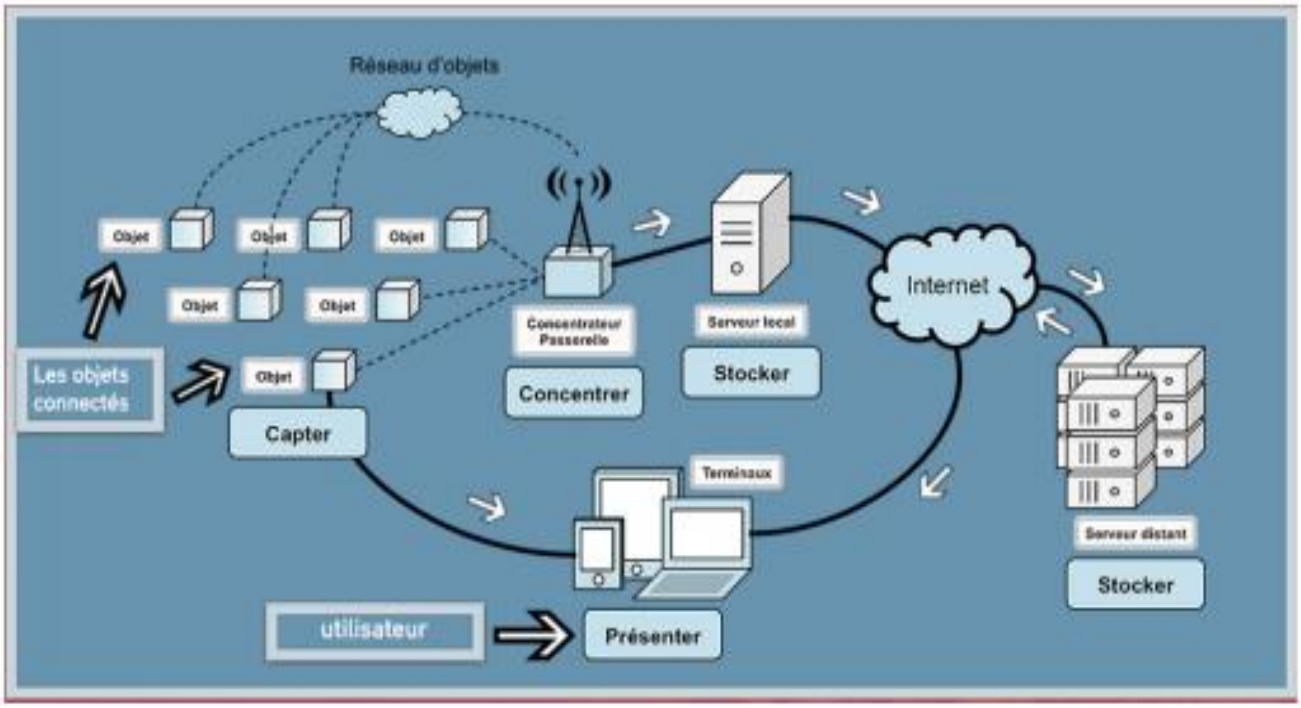


Figure 1. 3: L'architecture de l'Internet des objets [11].

Précisons le rôle des différents processus présentés sur ce schéma : Capter désigne l'action de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique. Concentrer permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard ou des dispositifs grand public. Stocker qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon non prédictible. Enfin, présenter indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir [11].

2.9. Domaines d'application d'IoT

L'IoT couvrira un large éventail d'applications et touchera quasiment à tous les domaines que nous affrontons au quotidien, ceci permettra l'émergence d'espaces intelligents (Figure 1.4). Parmi ces espaces intelligents, on peut citer :

 Les villes intelligentes (Smart Cities) [12] : l'IoT permettra une meilleure gestion des réseaux divers qui alimentent nos villes (eaux, électricité, gaz, etc.) en permettant un contrôle continu en temps réel et précis. Des capteurs peuvent être utilisés pour l'économie de l'eau et pour améliorer la gestion des parkings et du trafic urbain et diminuer les embouteillages et les émissions en CO2.

 La santé (Smart Health) [12] : dans le domaine de la santé, l'IoT permettra le déploiement de réseaux personnels pour le contrôle et le suivi des signes cliniques, notamment pour des personnes âgées, les objets connectés permettent de suivre la tension, le rythme cardiaque, la qualité de respiration ou encore la masse graisseuse. Ceci permettra ainsi de faciliter la télésurveillance des patients à domiciles, et apporter des solutions pour l'autonomie des personnes à mobilité réduite.

 Le Transport [13] : Des voitures connectées ou autonomes aux systèmes de transport/logistique intelligents, l'IoT peut sauver des vies, réduire le trafic et minimiser l'impact des véhicules sur l'environnement.

 L'énergie [13] : L'Internet des objets permet aux innombrables appareils qui composent le réseau électrique de partager des informations en temps réel pour une distribution et une gestion plus efficaces de l'énergie.

 L'industrie [12] : La technologie IoT permettra un suivi total des produits, de la chaîne de production, jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnement. Cette traçabilité de bout en bout permet aux usines d'améliorer l'efficacité de ses opérations, d'optimiser la production et d'améliorer la sécurité des employés.

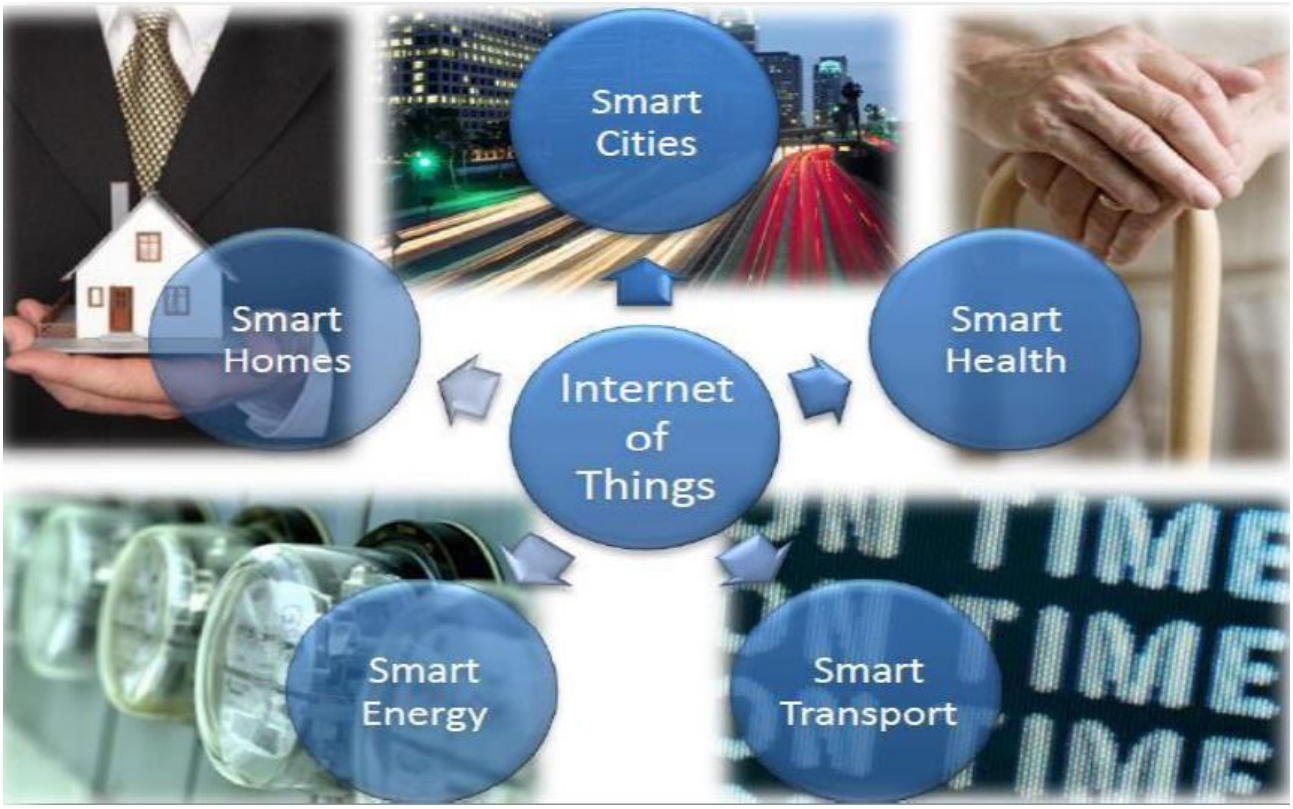


Figure 1. 4 : Domaines d'application de L'IoT [46].

3. Jumeau Numérique

3.1 Définition

Le jumeau numérique est un clone virtuel d'un système physique ou d'un processus. Il implique systématiquement l'existence d'un couple « modèle numérique » avec l'objet qu'il copie. Les objets concernés peuvent être un produit, une machine, une ligne de production, un process, une supply chain. Suivant le système concerné et l'utilisation souhaitée il peut être un modèle géométrique, multiphysique, fonctionnel, comportemental. Il doit évoluer dans le temps comme son jumeau réel.

Il permet d'améliorer le pilotage, la sécurisation et l'optimisation de lignes de production et des usines, la continuité numérique au niveau du produit, de sa conception à sa fin de vie, la surveillance et la maintenance prédictive. Il permet de mettre en place de nouveaux modèles économiques dans la supply chain (modèle as a service). Il permet d'obtenir un gain en qualité des produits en améliorant la correction des process. Il permet une traçabilité accrue des objets/process intégrant d'avantage d'informations sur les composants, les fournisseurs et la production. Il est un outil de rupture pour les besoins de formation et de démonstration sur des systèmes complexes et difficilement duplicables ou transportables [14].

La figure 1.5 : met en évidence la rotation du flux des données, entre le système physique et le model virtuelle ou numérique (DIGITAL).

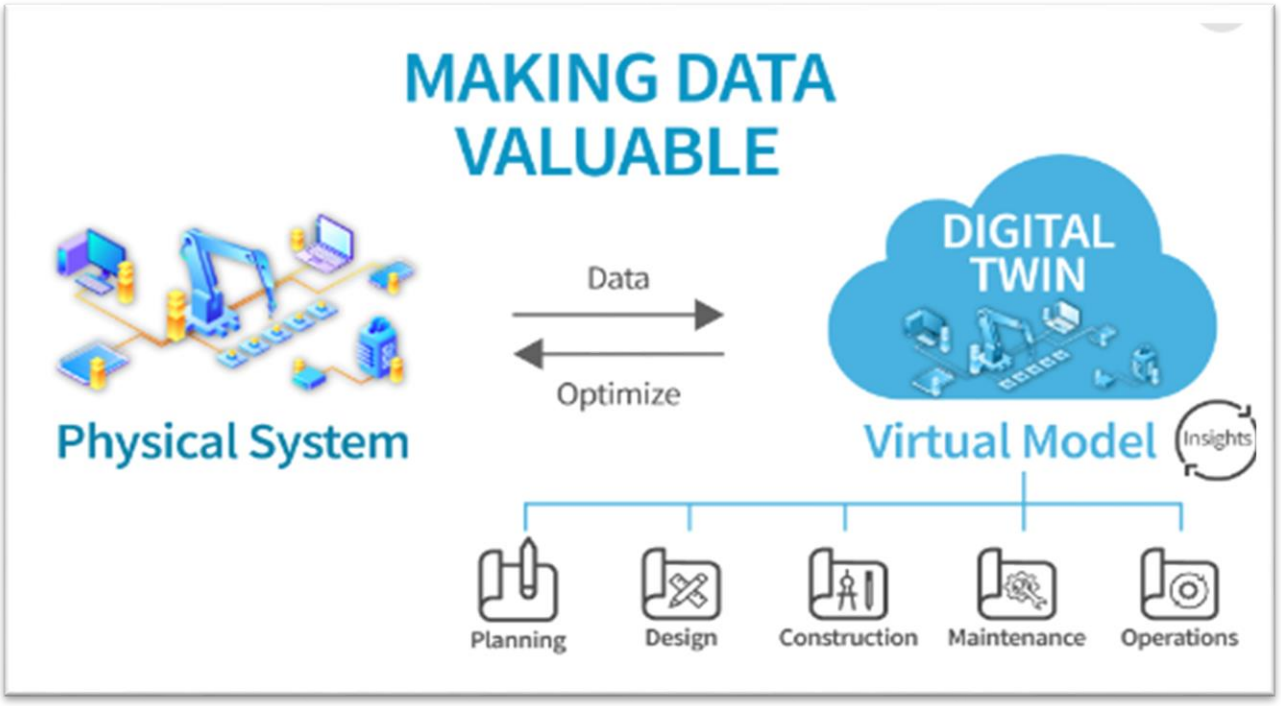


Figure 1. 5 : jumeaux numérique [14].

3.2 Principaux avantages de l'utilisation des jumeaux numériques

Créer et utiliser des jumeaux numériques améliore l'intelligence du système opérationnel. Disposer d'une représentation actualisée de vos ressources opérationnelles vous permet de gérer et d'optimiser les ressources et le système dans son ensemble. La représentation ne capture pas seulement l'état actuel de la ressource, mais aussi bien souvent l'historique de fonctionnement. Les jumeaux numériques vous permettent d'optimiser, d'améliorer l'efficacité, d'automatiser et d'évaluer les futures performances. Vous pouvez utiliser ces modèles à d'autres fins, telles que la mise en service virtuelle de l'équipement ou pour influencer le design des prochaines générations.

Les modèles de jumeaux numériques sont couramment utilisés pour :

Capter, analyser et exploiter les données opérationnelles le jumeau numérique fournit des informations avancées grâce à des capteurs virtuels.

Les données seront captées et analysées par le jumeau numérique et seront accessibles. L'objectif ultime serait d'exploiter ces données à travers le jumeau numérique pour effectuer de la maintenance prédictive et améliorer continuellement la performance d'équipements [15].

3.3. Les utilisations du Jumeau Numérique :

Le Jumeau Numérique s'avère être un outil puissant qui va permettre d'accompagner et d'aider les organisations, et plus particulièrement les ingénieurs. Cet outil va leurs permettre d'apprendre plus, plus rapidement et briser les vieilles limites entourant l'innovation des produits, les cycles de vie complexes et la création de valeur [15], voici comment [16] :

3.3.1. Visibilité

Le Jumeau Numérique permet une visibilité dans les opérations de machines ainsi que dans les grands systèmes interconnectés tel qu'une usine de fabrication ou un aéroport.

3.3.2. Prédiction

En utilisant les différentes techniques de modélisation, le Jumeau Numérique peut être utilisé pour prédire l'état futur d'un système.

3.3.3. Qu'est-ce qui passerait si? (simulation)

Grâce à des interfaces bien conçues, il est facile d'interagir avec le Jumeau Numérique et de poser les questions de simulation au modèle pour simuler diverses conditions qui ne sont pas pratiques à créer dans la vraie vie.

3.3.4 .Outil de documentation et de communication

Le modèle du Jumeau Numérique peut être utilisé comme un mécanisme de communication et de documentation qui peut être à son tour utilisé pour comprendre et expliquer les comportements d'une machine ou d'un ensemble de machines.

3.3.5. Outil d'aide à la décision

Le Jumeau Numérique peut aussi interagir et communiquer avec les différentes autres applications présentes dans l'organisation, telles que les applications de gestion (ERP…) pour atteindre les résultats opérationnels dans le contexte des opérations de la chaîne d'approvisionnement: fabrication, approvisionnement, entreposage, transport et logistique, service, etc.

3.4. Les différents types de jumeaux numériques

Le terme « jumeau numérique » recouvre en fait différents types d'outils et de développement et différents objectifs. Il n'existe probablement pas de terminologie précise qui distingue les différents outils. On peut cependant distinguer trois principaux types de jumeaux numériques [17].

3.4.1. Le jumeau virtuel sans couplage avec la réalité (usine virtuelle, machine virtuelle)

Permet d'optimiser en amont le développement d'un sous ensemble (usine, machine) et d'étudier différents scénario d'utilisation (marche normale, marche dégradée, impact de paramètres de fonctionnement, …). On est alors probablement sur un jumeau numérique de plus bas niveau que les deux autres jumeaux [17].

3.4.2. Le jumeau numérique couplé avec de la réalité augmentée

Permet de tester l'intervention humaine sur une machine ou une pièce complexe (montage, maintenance, soudabilité, …). Ce type d'application met en œuvre un sous-ensemble virtuel et un processus virtuel de réalité augmentée [17].

3.4.3. Close loop digital twins

Un couplage réel entre jumeau numérique et jumeau réel. On est alors sur un jumeau numérique de « haut niveau ». Dans ce cas, des capteurs sur le jumeau réel permettent de transmettre en « temps réel » des informations (température, pression, mouvement), vers le jumeau numérique qui peut alors simuler le comportement (également en temps réel) et interagir en retour vers le jumeau réel pour modifier son fonctionnement si besoin. On a alors un fonctionnement en « boucle fermée » (closed loop) entre le modèle virtuel et le modèle réel. L'innovation réelle et l'enjeu technique consiste à faire tourner le jumeau en temps réel avec de la simulation multi-physique et la technologie MOR (Model Order Reduction).

La technologie des jumeaux numériques est très jeune et cette classification est sans doute réductrice. Il existe probablement des cas de jumeaux numériques intermédiaires où une partie de l'objet est en mode « closed loop » (car facilement instrumentale) et où d'autres parties de l'objet réel ne sont pas reliées au modèle virtuel [17].

4. L'outil technologique Eclipse Ditto

4.1 Définition

Eclipse Ditto est une technologie de l'IoT implémentant un modèle logiciel pour les « jumeaux numériques ». Cela signifie que Eclipse Ditto reflète les appareils physiques sous forme de représentations numériques dans le cloud.

La technologie reflète potentiellement des millions et des milliards de jumeaux numériques résidant dans le monde numérique avec des « things » physiques. Cela simplifie le développement de solutions IoT pour les développeurs de logiciels car ils n'ont pas besoin de savoir comment ni où exactement les «things» physiques sont connectées.

Avec Elipse Ditto, un thing peut simplement être utilisée comme n'importe quel autre service Web via son jumeau numérique.

Il se concentre sur les scénarios d'arrière-plan en fournissant des API Web afin de simplifier le travail avec les appareils déjà connectés et les «things» des applications client.

Ces principales fonctionnalités sont le contrôle d'accès, une recherche sur toutes les données de jumeau numérique.

Pour ramener la simplicité aux développeurs IoT, Eclipse Ditto expose une API unifiée basée sur des autorisations (HTTP) pour interagir avec des appareils, en faisant abstraction de la complexité des différents types d'appareils et de la façon dont les appareils sont connectés.

Les appareils étant équipés d'une API publique (potentiellement publique sur Internet), il est crucial de définir au niveau de l'appareil les personnes autorisées à interagir avec les appareils. Eclipse Ditto garantit que l'accès à l'API de l'appareil n'est accordé qu'aux personnes autorisées. L'authentification n'est pas la portée d' Eclipse Ditto et est déléguée aux fournisseurs d'identité existants.

Avec cette approche, vos appareils sont transformés en services avec une API hébergée, toujours accessible et disponible.

Les appareils gérés par Eclipse Ditto sont utilisables aussi facilement que n'importe quel autre service (comme la météo, les cartes, ...) au sein de votre application [19].

La figure 1.6 représente l'interface d'Eclipse Ditto.

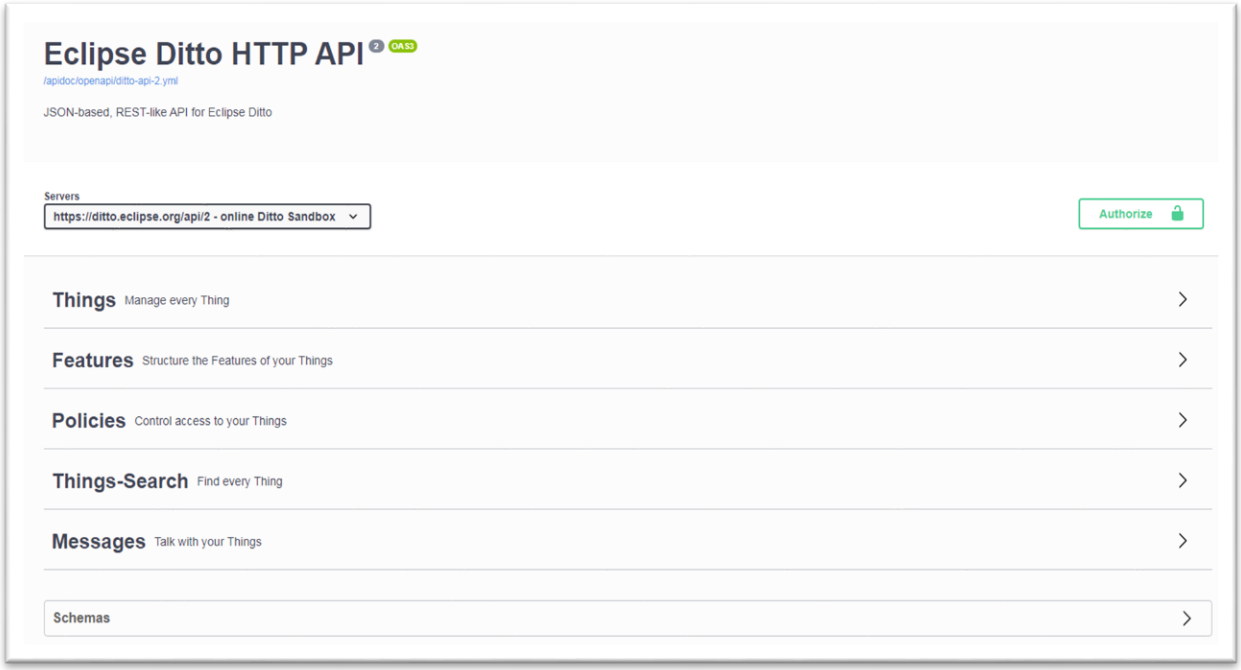


Figure 1. 6 ; interface Eclipse Ditto [19].

La plateforme Eclipse ditto utilise plusieurs protocoles, la figure 1.7 suivante montre les protocoles utilisés par la plate forme Eclipse ditto.

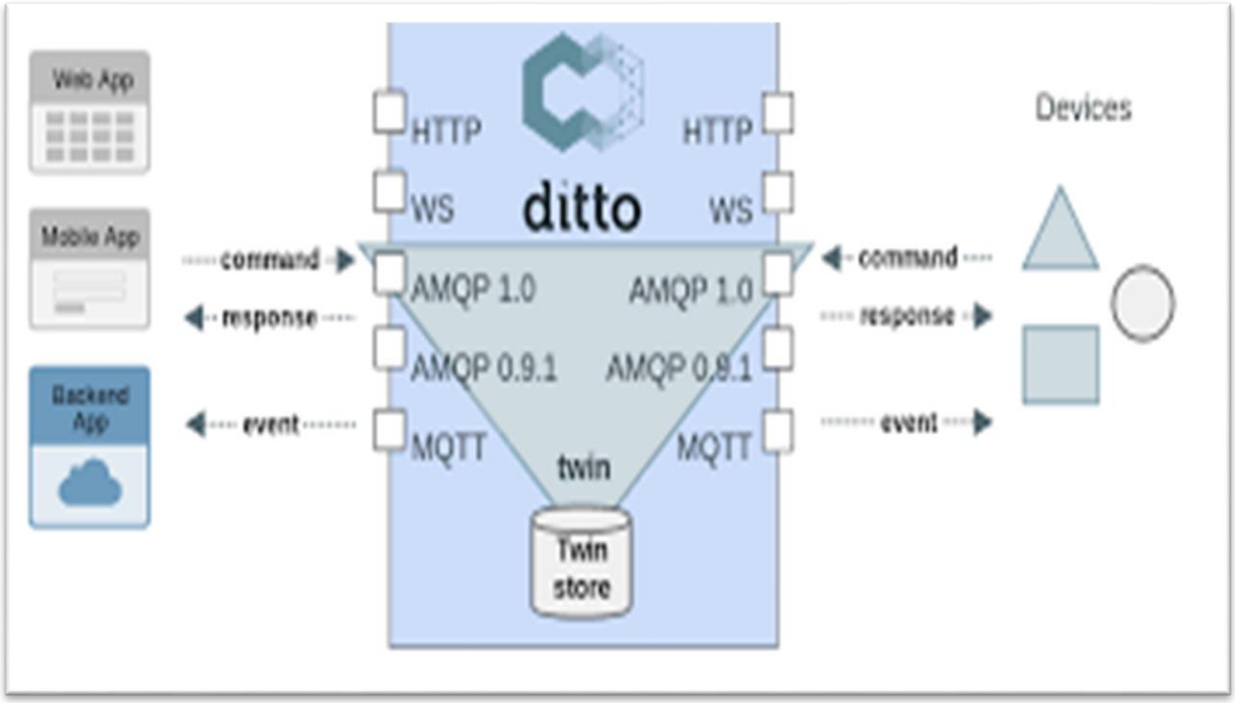


Figure 1. 7 : Les protocoles utilisés par la plateforme Eclipse Ditto [47].

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé d'expliquer la notion d'Internet des objets qui constitue l'avenir de plusieurs domaines, nous avons aussi identifié les Jumeaux numérique, et les outils et les technologies employés et leur environnement qui sont dédié pour libérer les solutions IoT, telle que NODE-RED et Eclipse Ditto, et constitue un choix très important pour servir, implémenter et exploiter au développement des jumeaux numériques. Après que tout soit clair. Ceci nous pousse à penser à l'amélioration du processus de leur développement sur les réseaux de distribution d'eau potable. C'est l'objectif, de notre projet, nous voulons contrôler à distance des critères qui sont très importantes pour les réseaux de distributions. De ce fait, la liaison des objets tels que la pompe, valve se fera à travers l'intégration de la technologie d'Internet des objets. Nous permettrons de gérer des critères et de les commander en utilisant une application web que nous avons ainsi développée.

Chapitre 2 : les réseaux de distribution d’eau potable

1. Introduction

Aujourd'hui, dans nos pays, ouvrir un robinet d'eau est devenu un geste banal. L'accessibilité permanente de cette "eau du robinet" nécessite des moyens techniques et humains important c'est le rôle du système d'alimentation en eau potable.

Dans ce chapitre nous allons introduire les réseaux de distribution d'eau potable, leur supervision et leur modélisation.

Ce chapitre est composé de plusieurs sections :

Dans la première section, nous allons définir les réseaux d'eau et nous allons parler de ses ressources, et ses composants.

La deuxième section parlera de fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable, ensuite nous abordons les enjeux de l'optimisation de la gestion des réseaux d'eau et de la ressource en eau, et enfin la structure générale d'un réseau**.**

Dans le quatrième titre on parlera de jumeaux numériques et les réseaux de distribution d'eau, et en suite on cite l'avantage de la télégestion Puis nous allons entamer l'application de jumeaux numérique pour les réseaux de distribution d'eau.

La cinquième section dans ce chapitre donnera Les 5 composants des jumeaux numériques de réseau de distribution d'eau.

La dernière section, on introduit Epanet comme un des outils permettant la modélisation de réseau.

2. les réseaux de distribution d'eau

2.1. Définition des réseaux d'eau

Aujourd'hui, le terme de « réseaux d'eau » recouvre les réseaux d'eau potable, les réseaux de collecte et d'assainissement des eaux usées et des eaux pluviales [20].

2.1.1. Définition d'eau potable

Une eau potable est une eau qui ne doit pas porter atteinte à la santé de celui qui la consomme. Elle doit respecter des limites et des références de qualité au robinet du consommateur pour des paramètres : microbiologiques, chimiques, et indicateurs de radioactivité [20].

2.1.2. Qu'est ce qu'un réseau d'eau potable ?

Un réseau d'eau potable est un ensemble de conduites et d'équipements organisés pour permettre la circulation et la distribution de l'eau potable vers la population d'une collectivité ou de plusieurs collectivités.

La vocation première d'un réseau d'eau potable est d'assurer la desserte des consommateurs la plus efficace possible en perdant le minimum d'eau. Le terme d'« efficace » recouvre les notions d'optimisation des coûts de pompage et de distribution, de garantie de la qualité de l'eau en fonction de son usage, de réduction des pertes et des fuites, etc [21].

2.1.3. D'où vient l'eau qui sert à produire l'eau potable

L'eau potable est produite à partir d'eaux brutes prélevées dans le milieu naturel. Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour "fabriquer" de l'eau potable. Le Code de la Santé Publique définit des critères de qualité minimum que doivent respecter les eaux naturelles pour être utilisées à des fins de potabilisation. Par exemple, on ne peut pas utiliser pour fabriquer l'eau potable une eau de source qui contient plus de 100 mg/l de nitrates ou une eau de rivière qui contient plus de 20000 Escherichia coli pour 100 ml. On distingue deux types de ressources :

- **Les eaux souterraines**

Elles proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans un terrain perméable. Lorsqu'elles rencontrent une couche imperméable, elles forment une nappe aquifère. La première nappe rencontrée sous le sol est la nappe phréatique. Il peut exister des nappes plus profondes, généralement captives (sous pression). Pour capter ces eaux on utilise :

● Des puits ou des forages pour les eaux issues de nappes plus ou moins profondes,

● Des ouvrages de captage pour les eaux qui affleurent naturellement. Ces ouvrages sont en général équipés de pompes qui relèvent l'eau vers le site de traitement, un réservoir ou le réseau de distribution.

- **Les eaux de surface ou superficielles**

Il s'agit des cours d'eau (rivières ou fleuves) et des retenues naturelles ou artificielles. Ces eaux de surface ont une qualité plus ou moins régulière selon les rejets qui s'y déversent ou encore selon le ruissellement des pluies. Les prises d'eau sont généralement placées en amont des villes pour éviter les rejets des eaux usées. Elles sont équipées de pompes pour transporter l'eau jusqu'au site de traitement [22].

2.1.4. La structure générale d'un réseau

Le réseau d'alimentation en eau potable stocke, transporte et distribue l'eau potable depuis le lieu de production jusqu'au robinet du consommateur. C'est un ensemble complexe constitué d'ouvrages de pompage, de réservoirs, de canalisations, d'accessoires de robinetterie et pour finir du branchement sur l'installation intérieure des abonnés. Mais, regardons tous ces éléments plus en détail :

- **Les ouvrages des pompage**

Dans un réseau d'eau potable, l'eau peut être pompée à plusieurs occasions lors de son cheminement.

● Dans les stations de pompage, généralement entre la ressource, le traitement et/ou les réservoirs.

● Dans les stations de reprise pour alimenter des réservoirs secondaires implantés sur le réseau.

● Dans les suppresseurs pour desservir des usagers situés aux extrémités du réseau sur des points hauts, ou dans des immeubles.

- **Les réservoirs d'eau potable**

●Les réservoirs garantissent une pression minimale dans le réseau : c'est le principe de distribution gravitaire de l'eau. La différence d'altitude entre la surface de l'eau et le point de puisage correspond à la pression maximale disponible (10 m de hauteur d'eau donne 1 bar de pression).

● Le réservoir assure une fonction de sécurité d'approvisionnement dans l'éventualité d'un incident sur les équipements d'alimentation du réseau : pollution de la ressource, pannes d'origines diverses de la station de pompage, rupture d'une canalisation d'adduction.

● Les réservoirs servent aussi à stocker l'eau pendant les périodes de faible consommation (la nuit le plus souvent) pour pouvoir répondre à la demande de pointe sans avoir à sur dimensionner les installations de production.

2.1.4.1. Les canalisations

La distribution d'eau potable jusqu'au consommateur s'effectue par un réseau souterrain de canalisations. On distingue :

● Les conduites d'adduction destinées au transport des gros débits (par exemple entre la station de traitement et le réservoir).

● Le réseau de distribution qui assure la desserte vers tous les utilisateurs.

2.1.4.2. Les accessoires de réseau

Les réseaux de distribution d'eau potable comportent des accessoires qui facilitent la maintenance et l'entretien, assurent la régulation de certains paramètres (débit, pression, hauteur d'eau, ...) ou encore permettent de disposer de points de puisage sur le réseau. On distingue :

- Les robinets vannes Appareils de sectionnement pour isoler un tronçon de conduite.
- Les robinets à papillon Appareils de réglage de débit et de sectionnement utilisés pour les gros diamètres (> 300 mm).
- Les ventouses Placées sur les points hauts du réseau, elles assurent l'évacuation automatique de l'air contenu dans les conduites.
- Les régulateurs de pression, de débit, de niveau. Ils permettent de réduire ou stabiliser une pression, limiter un débit ou encore contrôler le niveau d'eau dans un réservoir.
- Les purges Placées au point bas, elles permettent la vidange des conduites.
- Les clapets anti-retour Placés sur une canalisation, ils n'autorisent le passage de l'eau que dans un seul sens.
- Les poteaux et bouches d'incendie Ils permettent au service de lutte contre l'incendie de puiser l'eau sur le réseau.

2.1.4.3. Les branchements

Les branchements constituent le raccordement des usagers au réseau de distribution. C'est la liaison entre le réseau public et le domaine privé. Les principaux éléments constitutifs du branchement sont :

● Le collier et le robinet de prise qui permettent de réaliser le piquage sur la conduite principale sans arrêter l'eau.

● La bouche à clé pour manœuvrer le robinet de prise depuis le domaine public et ainsi ouvrir ou fermer le branchement.

● Le tuyau de branchement généralement en polyéthylène ou en PVC.

● Le regard de compteur placé en général en limite du domaine public et privé [23].

2 .2. Le fonctionnement du réseau d'alimentation en eau potable

Le réseau d'alimentation en eau potable regroupe l'ensemble des équipements, des services et des actions permettant de produire et de distribuer du l'eau. On distingue deux grandes étapes : la production d'eau potable (captage, traitement, adduction et stockage) et la distribution d'eau potable jusqu'au robinet des consommateurs [24].

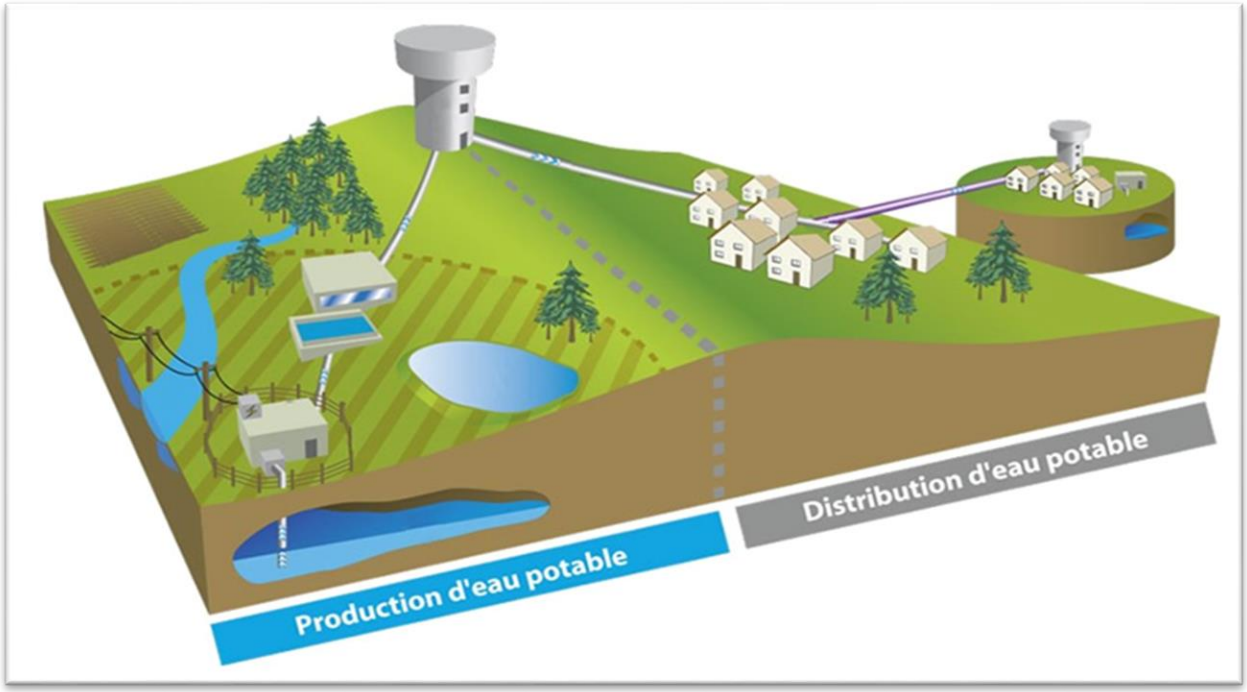


Figure 2. 1 : Alimentation en eau potable [24].

2.3. Les enjeux de l'optimisation de la gestion des réseaux d'eau et de la ressource en eau

La gestion des réseaux d'eau est un point crucial pour les collectivités et représente un enjeu sanitaire et environnemental fort. Aujourd'hui, les communes et les entreprises doivent assurer cette mission dans un contexte de plus en plus contraignant en raison :

- **Du vieillissement des réseaux :** une carte indique le niveau de renouvellement des réseaux par commune.
- **De la rareté et la qualité de l'eau :** l'eau injectée dans les réseaux de distribution a été perdus du fait de fraudes ou de fuites, mais elles pourraient être réduites à 10 % dans les réseaux les plus performants.

- **Des réglementations de plus en plus exigeantes sur le respect de l'environnement et sur les fuites :** Confrontés aux problèmes quantitatifs mais aussi qualitatifs qui pèsent sur la ressource en eau, les dispositions prévoyaient notamment le lancement d'actions spécifiques pour généraliser :
- la détection des fuites dans les réseaux et participer à la réalisation d'inventaires et diagnostics pour atteindre un objectif de 15 % de pertes en eau contre une moyenne de 25 %, pouvant même aller jusqu'à 40 % sur certains territoire.

- Des consommateurs demandeurs de nouveaux services et de nouvelles offres, et qu'il faut également sensibiliser à l'environnement et aux économies d'énergie [23].

2.4. Définition des réseaux d'eau intelligents

Un réseau d'eau intelligent est un ensemble de solutions et de systèmes utilisant des nouvelles technologies de l'information et de la communication et permettant aux opérateurs de réseaux d'eau de contrôler et diagnostiquer les problèmes, de prioriser et gérer, en continu et à distance, les opérations de maintenance et d'utiliser les données fournies pour optimiser tous les aspects de la performance des réseaux de distribution d'eau.

Ces nouvelles solutions et systèmes comprennent des outils de mesure intelligents (capteurs, débitmètres, compteurs évolués) couplés à des outils d'aide à la décision et à des outils de communication. Grâce à ces technologies, il est possible d'optimiser [23].

3. Les jumeaux numériques dans les réseaux de distribution d'eau

Les jumeaux numériques commencent à être utilisés dans le système de distribution d'eau afin d'améliorer leur gestion, devenant à l'avenir un outil crucial pour la prise de décision. Un jumeau numérique d'un réseau de distribution d'eau consiste à gérer l'allocation dans le modèle de tous les composants réels, la capacité de simuler tous les scénarios possibles du réseau, l'imitation précise de toutes les données réelles, la capacité d'être toujours mis à jour, etc. Cependant, le développement d'un jumeau numérique est un défi, et il consiste en un processus continu d'ajustements et d'apprentissage, qui enrichit le modèle avec des connaissances et des avantages liés à la présence d'un jumeau numérique du réseau de distribution d'eau [25].

3.1. Objectif de jumeaux numérique pour les réseaux de distribution d'eau

Le jumeau numérique pour l'eau est un cadre de résolution de problèmes pour les événements complexes, axés sur la physique, qui peuvent avoir un impact négatif sur les performances et la prestation des services prévus des réseaux.

Il est normatif, fournit des informations et, surtout, fournit des réponses au problème que vous devez résoudre. Cela signifie qu'il n'y a pas de Digital Twin "standard" que tous les services d'eau doivent créer, mais il peut y avoir un cadre standard, des éléments communs et des outils numériques qui permettent l'application du concept Digital Twin de manière incrémentielle et axée sur les besoins.

L'un des objectifs du présent travail est de proposer une description détaillée de la structure et de l'ensemble des fonctionnalités qui définissent un Digital Twin, qui doit reproduire le réel comportement du système dans un modèle virtuel qui sert de base à l'expérimentation, c'est-à-dire une copie virtuelle de la réalité qui permet de effectuez n'importe quelle simulation. En fait, un DT complet serait une réplique virtuelle de tous les processus en cours du captage d'eau brute jusqu'au robinet des utilisateurs. De cette façon, un DT permettrait de surveiller l'ensemble de l'eau cycle. Le DT doit analyser les performances de chaque phase en simulant le comportement du système dans n'importe quel scénario et demande. Cela permettrait également d'améliorer les performances et l'efficacité du système grâce à la capacité à rendre et des décisions optimisées et, par conséquent, réduire les risques [24].

Les objectifs principaux sont la :

- **Gestion de la ressource :** prévention de la pollution et des fuites pour mieux respecter les exigences réglementaires et les politiques engagées sur la qualité et la préservation de l'eau, adaptation des traitements et du stockage de l'eau aux conditions météorologiques ou environnementales, etc.

- **Gestion patrimoniale du réseau :**surveiller le réseau en temps réel et à distance et de diagnostiquer les problèmes sans intervention humaine sur le terrain, de prioriser et de gérer préventivement les questions de maintenance et de contrôler et d'optimiser à distance tous les aspects du réseau de distribution d'eau en utilisant les données issues du réseau (modulation de pression pour réduire les pertes en eau, mesure de débits pour anticiper les fuites, relève des compteurs à distance ,etc.).

- **Le service aux consommateurs (meilleure information, rapidité de dépannage**) : Fournir aux consommateurs les informations et les outils dont ils ont besoin pour faire des choix éclairés sur leur comportement de consommation et sur leurs usages de l'eau (alertes en temps réel de la consommation en eau, optimisation des consommations au sein de l'habitation, etc.).

- **Respecter de façon transparente et avec certitude les exigences politiques et réglementaires :**

Sur la sécurité du réseau (mesures sur les conduites : déformation, température, etc.) et sur la qualité de l'eau, l'objectif est d'obtenir une traçabilité continue de la qualité de l'eau distribuée. L'eau potable interagit avec le réseau qui la transporte. Plus elle séjourne dans le réseau, plus l'agent désinfectant – généralement le chlore – est enclin à se décomposer. Il est donc important de connaître l'état des flux d'eau potable en temps réel grâce à des capteurs de débit et de pression, des mesures de la température, du chlore, des matières en suspension, etc. En optimisant le temps de séjour de l'eau dans les réseaux, il devient par exemple possible d'ajuster plus précisément la chloration.

Sur les fuites, l'objectif est de préserver au mieux les ressources naturelles et de réagir rapidement à tout signalement. Ainsi, la mise en place de capteurs, d'un numéro d'appel unique et de nouveaux moyens de réponse rapide permettent d'intervenir dans les 2 heures pour une fuite sur Le réseau [23].

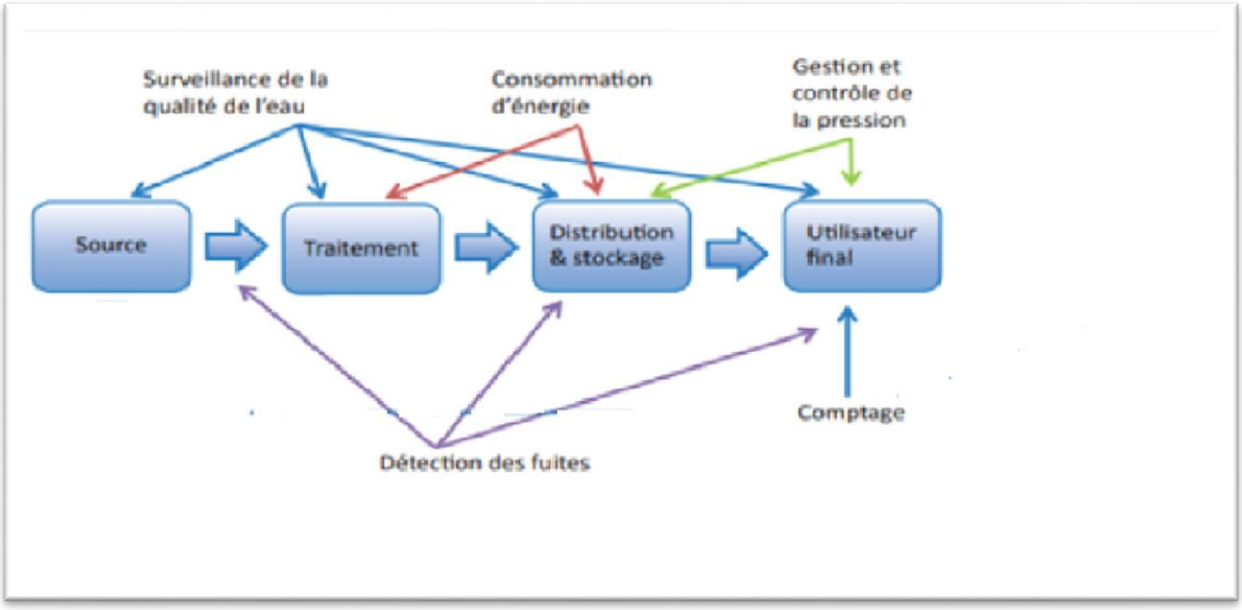


Figure 2. 2 : Les services améliorés par les jumeaux numériques pour les réseaux de distribution d'eau [23].

3.2. Caractéristiques d'un jumeau pour les réseaux de distribution d'eau

Les caractéristiques qu'un DT devrait avoir pour le différencier des autres applications similaires pour la gestion d'un réseau de distribution d'eau. Un vrai DT pour être utile, doit répondre les exigences suivantes:

● Il doit rendre compte avec une précision et une fidélité absolues pour tous les éléments faisant partie du réseau de distribution, et qui peuvent affecter les régimes d'écoulement de l'eau, la qualité de l'eau et opérations de maintenance.

● Il doit reproduire fidèlement le comportement de tous les éléments du réseau, même dans des conditions de fonctionnement extrêmes.

● Le DT doit imiter le comportement réel observé du réseau aussi précisément que possible, selon les données enregistrés par tous les capteurs disponibles, concernant les niveaux, les pressions, les débits, la qualité de l'eau, etc. le modèle doit être parfaitement calibré et doit pouvoir reproduire toutes les opérations de contrôle effectuées sur le réseau, manuel ou programmé.

● Le dernier aspect important concerne la fiabilité des mesures collectées, qui permettront d'évaluer le degré d'ajustement du jumeau à la réalité. La fiabilité est également fondamentale dans la prise de décision en temps réel [24].

3.3. Application de jumeaux numériques pour les réseaux de distribution d'eau

En ce qui concerne l'eau potable, il existe deux domaines d'application évidents :

- Le premier est la détection d'anomalies dans le fonctionnement du système: chaque fois qu'un jumeau numérique présente un comportement différent (une lecture de pression différente au niveau d'un nœud, par exemple) par rapport au jumeau réel, il est raisonnable de supposer que le jumeau numérique n'est pas entièrement représentatif, ou qu'une anomalie existe dans l'état réel du réseau (comme une fuite inconnue) ou en fonctionnement (comme une mauvaise position de la vanne). Pour cette application, il est judicieux, sinon essentiel, que le jumeau numérique reflète la situation actuelle, c'est pourquoi les données de mesure en direct sont souvent assimilées dans le modèle.
- Le deuxième domaine d'application concerne les études de scénarios, dans lesquelles le fonctionnement du système est examiné dans toutes sortes de conditions (extrêmes) dans le but de l'améliorer.

Bien que les modèles hydrauliques puissent en un sens être considérés comme des jumeaux numériques (limités), ils ne sont généralement pas alimentés en informations en temps réel, ni connectés à d'autres modèles. L'objectif d'un jumeau numérique d'un système de distribution est de assimile des données en temps réel et, de plus, est connecté à un autre modèle d'un système connecté pertinent (dans ce cas, les prévisions de la demande en eau). De cette façon, un élément contemporain est ajouté au concept de jumeau numérique appliqué à un système de distribution d'eau potable [26].

3.4. Les 5 composants des jumeaux numériques de réseau de distribution d'eau

Les réseaux d'eau deviennent intelligents grâce au déploiement des technologies de l'information et de la communication. Le déploiement de capteurs sur les réseaux permet de mieux comprendre (réaliser des mesures), d'optimiser (réaliser des analyses) et d'exploiter dans de meilleures conditions le réseau (notamment interagir avec le réseau).

Cinq couches principales des jumeaux numériques pour un réseau d'eau :

- Les appareils de mesure et de détection, comme les compteurs d'eau évolués, sont les outils physiques sur le réseau de distribution d'eau qui collectent les données sur les débits d'eau, la pression, la qualité et l'ensemble des autres paramètres déterminants. Cette couche de base inclut les capteurs acoustiques et électromagnétiques qui peuvent aider à détecter de potentielles fuites et anomalies sur le réseau. L'ensemble de ces appareils permet d'améliorer la connaissance de l'état physique des réseaux, via le recueil de données très concrètes : caractéristiques, localisation, maintenance, etc.
- Les canaux de communication en temps réel permettent aux distributeurs de rassembler de façon automatique et continue les données des appareils de mesure et de détection. Il s'agit de Canaux de communication bidirectionnelle pour donner des ordres aux appareils sur les données à collecter ou sur les actions à exécuter (par exemple, extinction à distance).
- Les logiciels de gestion des données permettent aux distributeurs de collecter les données et de présenter une vue agrégée à travers des outils de visualisation du réseau, des systèmes d'information géographique (SIG), des tableaux de bord, etc. Cette couche peut également comprendre des entrepôts de données, la cyber sécurité des systèmes informatiques et des outils basiques de soutien aux fonctions économiques (par exemple, systèmes d'information des consommateurs).
- Les logiciels d'analyse et de modélisation des données en temps réel permettent aux distributeurs de pouvoir exploiter les données issues du réseau. Cette couche est la source centrale de valeur économique des réseaux d'eau intelligents pour les distributeurs. Les tableaux de bord dynamiques permettent aux opérateurs de surveiller le réseau de distribution en temps réel pour les risques ou pour les anomalies avérées. En même temps, les outils de modélisation du réseau peuvent aider les opérateurs à comprendre les impacts potentiels d'un changement dans le réseau et à analyser les différentes réponses. Les algorithmes des modèles de détection peuvent avoir recours aux données historiques pour aider à distinguer les fausses alertes des véritables problèmes. Les analyses prédictives permettent aux opérateurs de considérer différents scénarios possibles et de répondre de façon proactive et efficace.

- Les outils de contrôle et d'automatisation permettent aux distributeurs de mettre en œuvre à distance et automatiquement les tâches de gestion du réseau. Cette couche fournit des outils qui s'interfacent avec les logiciels d'analyse et de modélisation des données en temps réel. De nombreux opérateurs sont déjà dotés de systèmes SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), de systèmes d'information géographique, de systèmes d'informations client, qui peuvent être intégrés aux réseaux d'eau intelligents pour augmenter davantage leur contrôle sur le système de distribution [26].

4. L'automatisation d'un système

L'automatisation d'un système sert principalement à améliorer la sécurité et le confort de l'homme ainsi que la qualité des produits. L'objectif de l'automatisation des systèmes est de produire, en ayant recours le moins possible à l'opérateur humain, des Produits de qualité et ce pour un coût le plus faible possible.

4.1 Qu'est-ce qu'un système automatisé ?

Un système automatisé est un ensemble d'éléments qui effectue des actions sans intervention de l'utilisateur: c'est l'opérateur. Celui-ci se contente de donner des ordres de départ et si besoin d'arrêt. La figure 11 donne la structure d'un système automatisé [27].

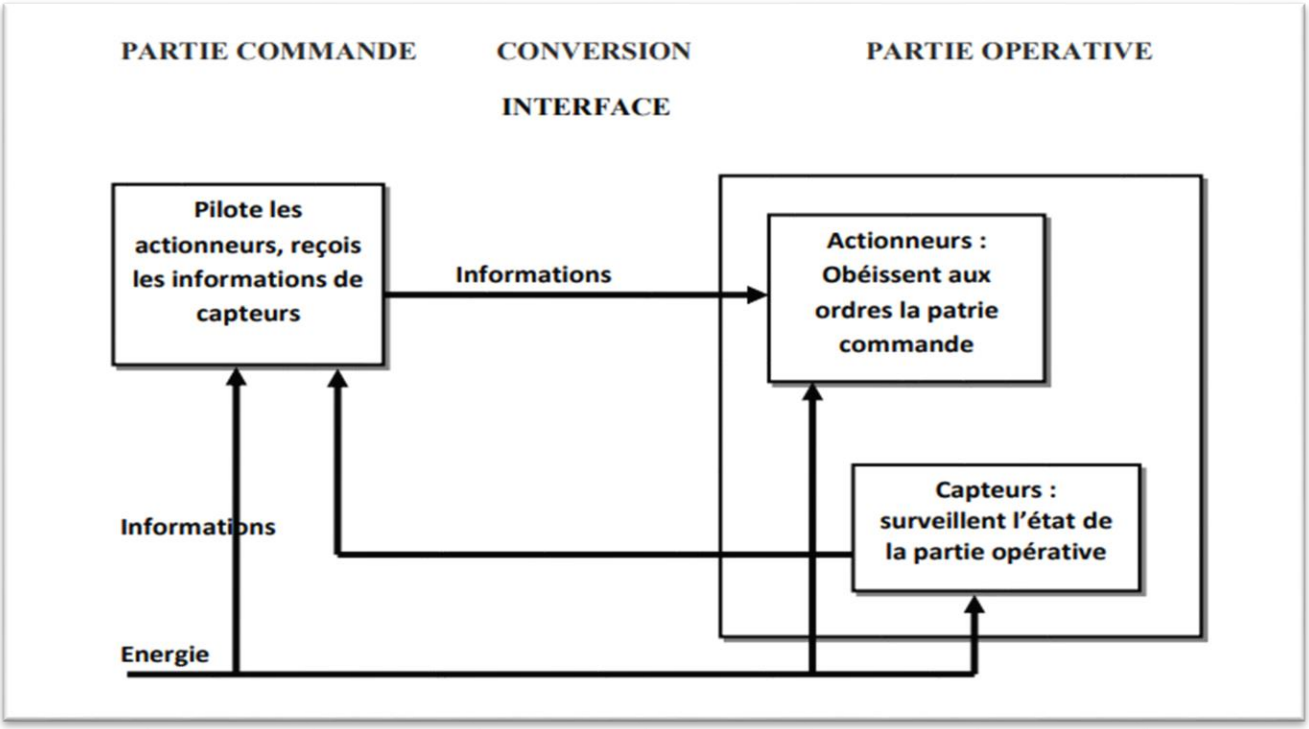


Figure 2. 3 : structure d'un système automatisé [27]

4.2 Apports de l'automatisation à la gestion d'un réseau d'eau

- Gestion en continu du réseau d'eau.
- Processus entièrement automatisé et optimalisé.
- Mémorisation des courbes des niveaux et débits.
- Transmission des alarmes selon leurs priorités (astreinte).
- Économie d'eau potable, détermination immédiate de fuites.
- Optimalisation énergétique.
- Réduction des frais de personnel pour la gestion et la surveillance.
- Aide à l'exploitation.
- Support en cas de défaut [27].

5. Automatisation du réseau et le jumeau numérique

Pour automatiser la gestion de notre réseau de distribution nous avons utilisées le jumeau numérique.

Un jumeau numérique pour le réseau de distribution d'eau est un ensemble de solutions et de systèmes permettant aux opérateurs de réseaux d'eau de contrôler et diagnostiquer les problèmes, de prioriser et gérer, en continu et à distance, et d'utiliser les données fournies pour optimiser tous les aspects de la performance des réseaux de distribution d'eau. Cependant, pour réussir un tel développement, dans ce cadre il est nécessaire de proposer une démarche pour modéliser ce dernier en se basant sur la transformation du modèle de réseau et le concept des jumeaux numériques.

6. Réseau de distribution d'eau dans Epanet

6.1. Choix de logiciel Epanet

Epanet c'est un logiciel utilisé pour modéliser le réseau de distribution d'eau, l'analyse du comportement hydraulique et la qualité de l'eau dans les réseaux et ceci pour des principales raisons : (Pour plus d'information voir annexe 1).

- Le logiciel est gratuit et tout le monde peut l'utiliser (étudiants, entreprises, bureau d'études, …).
- Ses resultants sont fiables. [28]
- l'affichage des résultats sous plusieurs formats (des fichiers, des cartes avec des codes couleurs, des tableaux et des graphiques)
- Permet d'exporter le modèle de réseau de distribution d'eau à un fichier inp qui est lisible pour les outils de programmation et regroupe toutes les données descriptives du modèle (les attributs de chaque objet du modèle, le géo référencement et les options).(pour plus d'information Voir annexe 2).

L'interface utilisateur d'Epanet fournit un éditeur de réseau visuel qui simplifie le processus de création de modèles de réseau de canalisations et d'édition de leurs propriétés et données.

La figure 2.4 : représente un exemple d'un réseau de distribution d'eau.

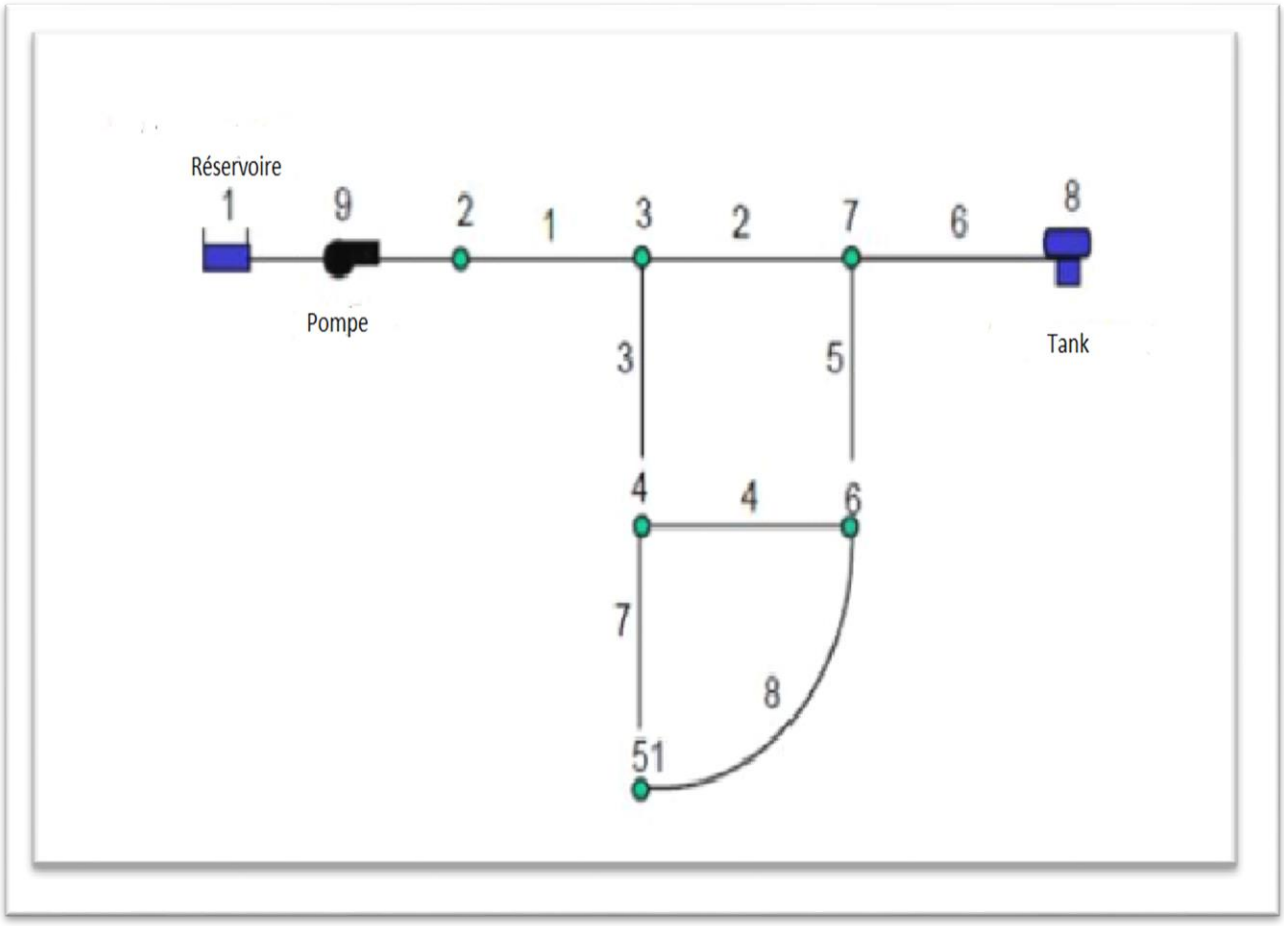


Figure 2. 4 : Exemple d'un réseau de distribution d'eau.

Une fois le réseau créé et l'ensemble des informations renseignées, nous pouvons demander à Epanet d'effectuer une exportation de réseau à un fichier qui permet de visualiser l'état de chaque nœud ou de chaque tuyau en créant un fichier.inp utilisés pour aider à interpréter les résultats d'une analyse de réseau.

Le fichier.inp est un ensemble de données qui caractérisent le réseau de distribution d'eau, par exemple (la rapidité, puissance, débit et les coefficients de réactions, les coefficients de rugosité, demande actuel, presseur, qualité de l'eau des nœuds). Il explique également l'enregistrement de toutes les données des composants [29]. (Pour plus d'information voir annexe 2).

Ce fichier.inp nous a aidés dans notre démarche pour faire une transformation qui sera détaillé dans le chapitre suivant.

7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux de distribution d'eau potable et leurs fonctionnement, les objectifs de jumeaux numérique pour les réseaux de distribution d'eau, et à la fin nous avons présentée, Epanet comme un des outils permettant la modélisation des réseaux.

Les fuites dans les réseaux d'eau potable sont invisibles, et les problèmes des réseaux d'eaux sont parfois très couteuses, Pour répondre efficacement à ces défis, nous avons pensée de crée une application capable de surveiller en temps réel le réseau d'eau potable et détecter toute anomalie.

Chapitre 3 : Conception

1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre la conception de notre travail qui consiste à concevoir et à développer une application basée sur les jumeaux numériques pour superviser et contrôler un réseau de distribution d'eau. La conception de cette application consiste à traduire les besoins en termes de supervision en spécifiant comment l'application pourra les satisfaire avant de procéder à sa réalisation.

Nous commencerons dans cette phase par la démarche globale, puis les détails théoriques de notre proposition, et finalement nous présentons la conception détaillée de cette proposition en utilisant le langage de modélisation UML pour faciliter l'étude des processus selon différentes perspectives.

2. Démarche globale

La démarche que nous proposons sert à générer un jumeau numérique pour n'importe quel réseau de distribution d'eau potable via son modélisation. Elle est proposée pour être appliquée après la phase de modélisation du réseau de distribution d'eau potable. En effet, dans notre travail, nous considérons que la modélisation se fait à l'aide du logiciel Epanet [43]. Dans notre application, nous n'intéresse pas à la modélisation, mais nous supposons que cette phase est déjà préparée. Ce qui nous intéresse est l'exploitation de cette modélisation pour la génération d'un ensemble d'objets (things) avec leurs caractéristiques et leurs propriétés. Cette représentation est obtenue à partir d'une transformation du modèle du réseau de distribution d'eau vers un modèle du jumeau numérique (things). Ensuite, la création de ces objets (things) constituants le jumeau numérique. Les things seront insérés dans la plateforme des jumeaux numériques d'une façon systématique. L'étape finale consiste à fournir une application web permettant de superviser le réseau de distribution d'eau en se basant sur le jumeau numérique. L'objectif est de permettre à l'utilisateur de contrôler et visualiser les composants du réseau de distribution d'eau à distance.

La Figure 3.1 : représente la démarche globale de notre travaille.

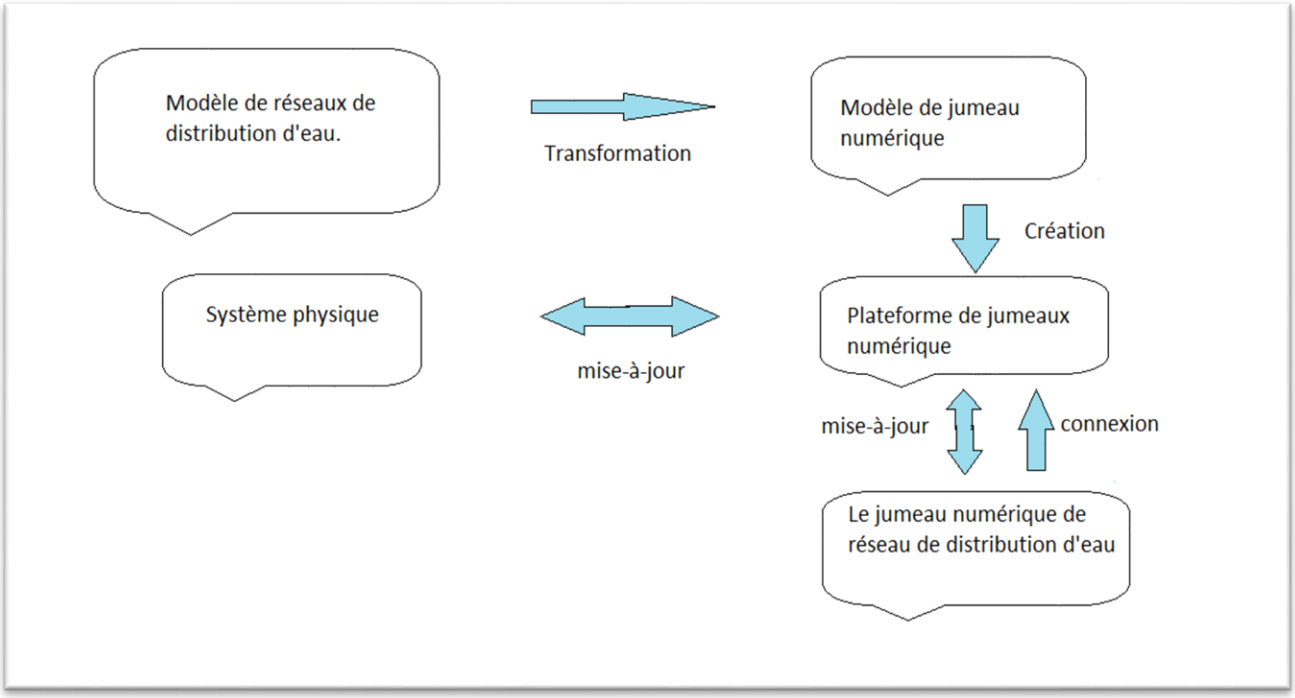


Figure 3. 1: Démarche globale.

3. Modélisation d'un réseau de distribution d'eau

La modélisation est la conception d'un modèle qui permet la représentation d'une situation du monde réel d'une façon plus simple et facile à appréhender. L'utilisation des logiciels de modélisation facilite grandement l'analyse du fonctionnement du réseau. Dans notre travail, nous utilisons le logiciel Epanet pour la modélisation du réseau de distribution d'eau que nous vision à développer son jumeau numérique.

4. Exportation de Modèle de réseau de distribution d'eau

Après la modélisation du réseau de distribution d'eau, on peut exporter le modèle du réseau d'eau en format texte structuré. Le modèle contient toutes les informations descriptives des composants constituants le réseau. Sous ce format, on peut avoir une version lisible de ces informations.

Le format du modèle exporté est ensuite exploité par programmation python dans le but de générer le modèle de jumeau numérique correspondant au réseau de distribution d'eau.

5. Transformation

L'objectif de transformation est d'obtenir un modèle de jumeau numérique à partir du modèle de réseau de distribution d'eau.

Avant de parler de la transformation, nous présentons le méta-model du jumeau numérique :

5.1 Méta-modèle du jumeau numérique

Pour pouvoir générer des jumeaux numériques d'un réseau de distribution d'eau, on propose d'utiliser le méta-modèle présenté dans la Figure 3.2. Ce méta-modèle a été proposé dans le cadre de la plateforme Eclipse Ditto [19]. Comme montré par la Figure 3.2, la méta classe Thing permet de représenter tous les objets. Le Thing seul contient un policyId lien vers une politique contenant les informations d'autorisation. La méta-classe features permet de représenter les caractéristiques des objets (Things), qui contient des propriétés de ces caractéristiques.

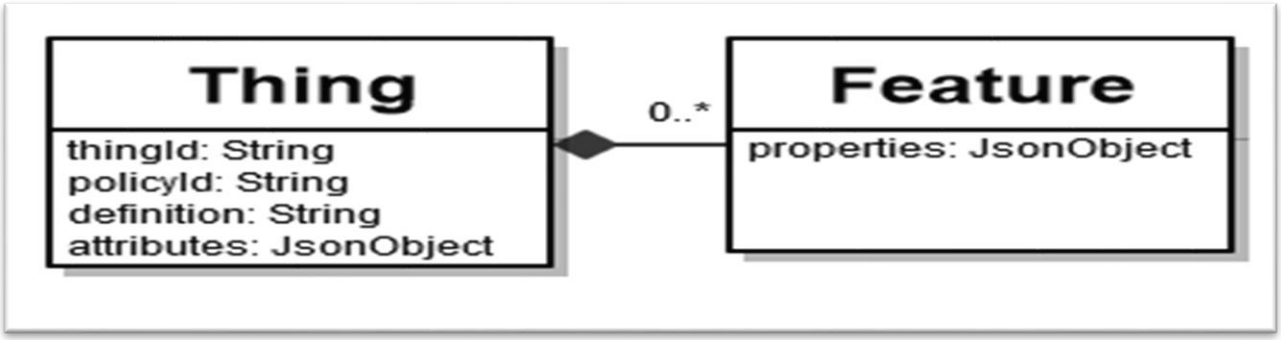


Figure 3. 2 : Méta modèle des jumeaux numériques [19].

5.1.1 Objets (things)

Les objets sont des entités très génériques, et sont principalement utilisées en tant que "descripteur" de plusieurs fonctionnalités appartenant à cet objet.

Exemples :

- **Dispositif physique :** pipe, pump, junction, valve, reservoire, tank.
- **Périphérique virtuel** : une pièce dans une maison, une centrale électrique virtuelle couvrant plusieurs centrales, les informations météo d'un lieu spécifique collectées par divers capteurs.
- **Entité transactionnelle** : visite d'un véhicule (du début à la fin), série de mesures d'une machine.

- **Entité de données maîtresse** : fournisseur d'appareils ou fournisseur de services d'appareils, entité représentant une ville / une région.

 Thingid : Identifiant unique d'un objet.

 Les attributs (Attributes) : Les attributs décrivent l'objet (thing) plus en détail et peuvent être de n'importe quel type. Les attributs peuvent également être utilisés pour trouver des objets. Les attributs sont généralement utilisés pour modéliser des propriétés plutôt statiques au niveau d'objet. Statique signifie que les valeurs ne changent pas aussi souvent que les valeurs de propriété des entités.

Définition : Une Thing peut contenir une définition. La définition peut également être utilisée pour rechercher des things. La définition est utilisée pour lier une thing à un modèle correspondant définissant ses capacités / caractéristiques.

PolicyID : La ressource Policy (adressable en tant que policy: /) définit le contrôle d'accès pour la policy elle-même [19].

5.1.2. Fonctionnalité (Feature)

Une fonctionnalité est utilisée pour gérer toutes les données et fonctionnalités d'un objet pouvant être mises en cluster dans un contexte technique défini.

Pour différents contextes ou aspects d'un objet, vous pouvez utiliser différentes fonctionnalités qui appartiennent toutes au même objet et n'existent pas sans cet objet [19].

5.1.3. Propriété (property)

Les données relatives aux fonctionnalités sont gérées sous la forme d'une liste des propriétés. Ces propriétés peuvent être classées, par exemple pour gérer l'état, la configuration ou toute information de panne. Les propriétés des fonctionnalités sont représentées sous la forme d'un seul objet JSON. Chaque propriété elle-même peut être une valeur simple / scalaire ou un objet complexe. Autorisé est une valeur JSON [19].

5.2. Démarche de transformation

Pour créer un jumeau numérique d'un réseau de distribution d'eau potable, on doit représenter d'abord les composants de ce dernier au format JSON (identification des things), et pour obtenir le fichier JSON à partir de la modélisation initiale d'un réseau de distribution (sous un fichier .inp), on doit faire une transformation. Cette transformation consiste à décrire les composants du réseau en format JSON conforme aux concepts du modèle de jumeau numérique.

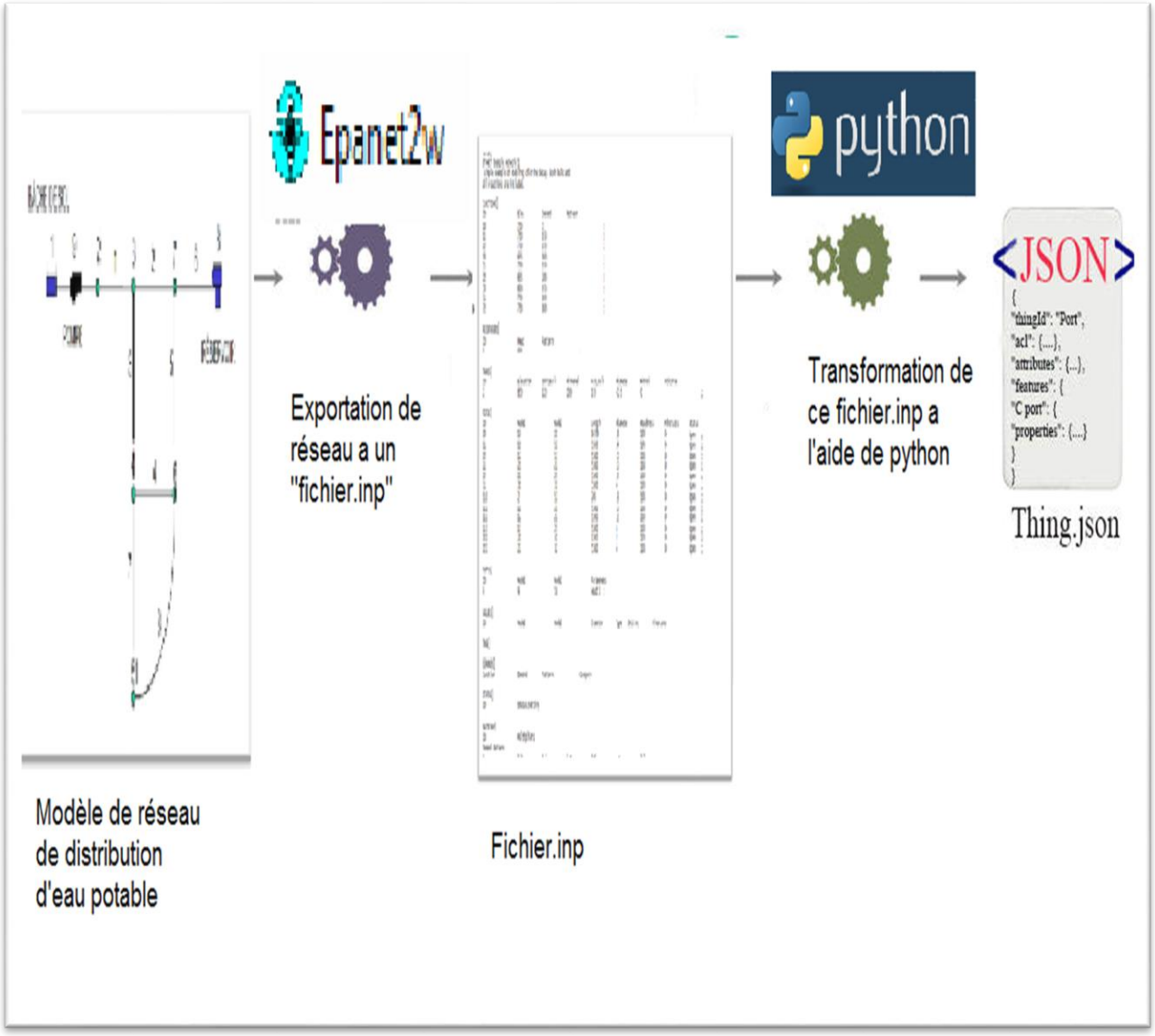


Figure 3. 3 :Démarche de transformation.

5.3. Processus de transformation

Chaque composant dans le modèle du réseau de distribution d'eau contient un identifiant (id) et d'autres caractéristiques selon le composant. Dans notre proposition, nous transformons un composant à une instance de la classe « thing » dans le modèle de jumeaux numérique. L'identifiant de ce composant est représenté par un attribut. Les caractéristiques du composant sont représentées comme propriétés relatives aux fonctionnalités. Les exemples ci-après (Figure 3.4 et Figure 3.6) représente les composants « pipe » et « junction » sur le modèle du réseau de distribution d'eau. Le modèle de jumeaux numérique correspondant à ces composants est présenté dans la (Figure 3.5 et Figure3.7**)** comme modèle d'objet instance du méta-modèle du jumeau numérique.

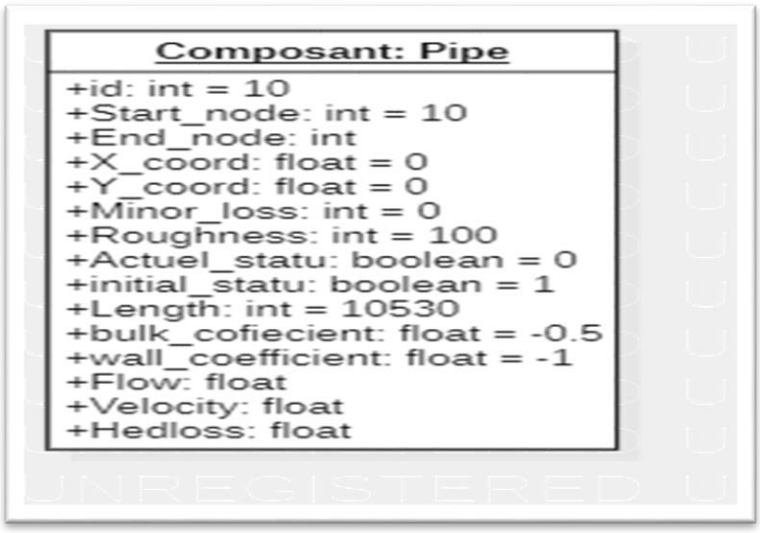


Figure 3. 4 : Exemple du composant pipe dans le fichier inp.

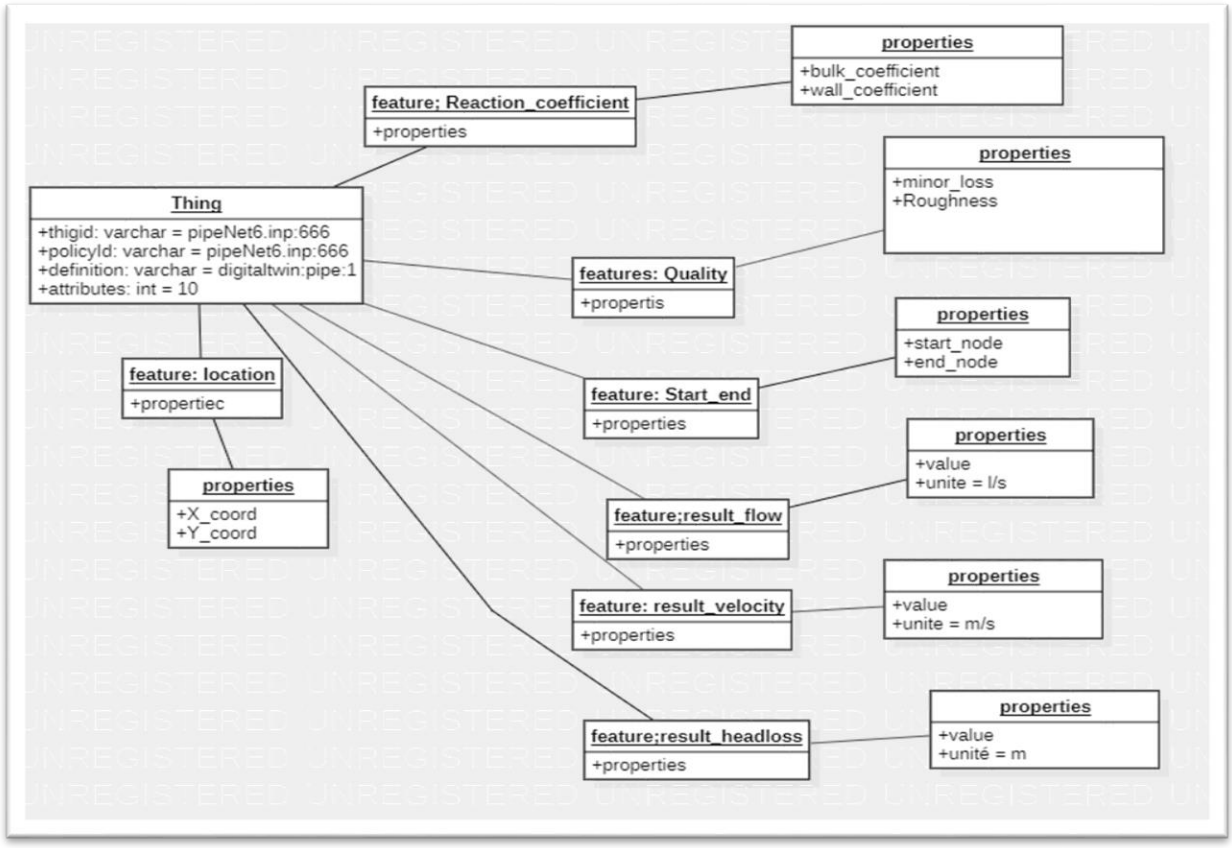


Figure 3. 5: Modèle de jumeau numérique de pipe.

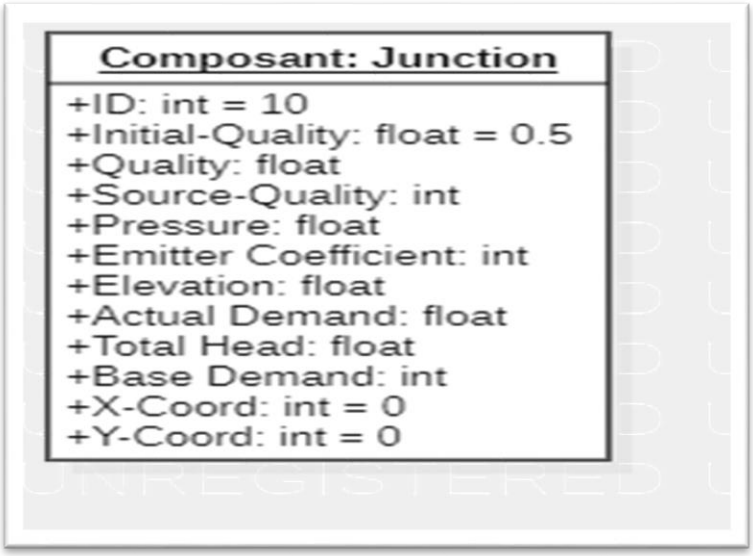


Figure 3. 6 : Exemple du composant junction dans le fichier inp.

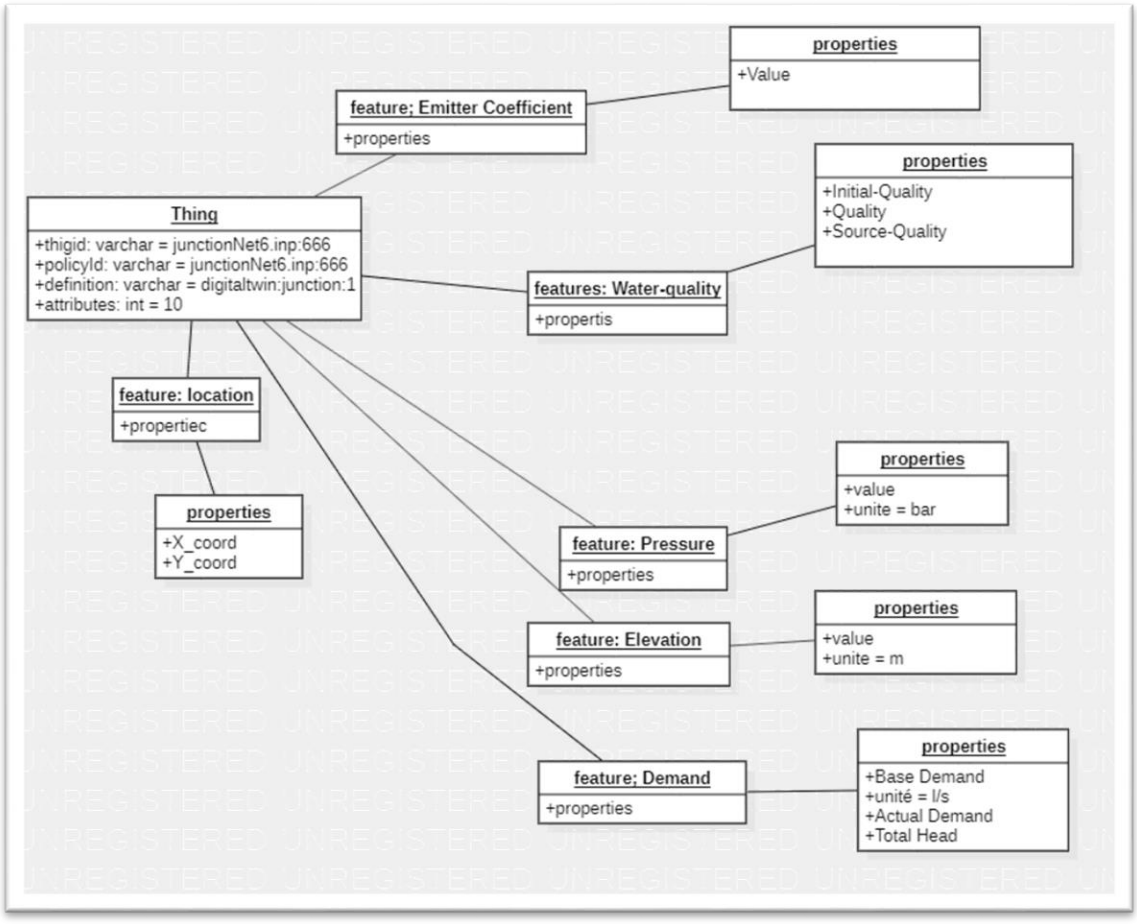


Figure 3. 7 : Modèle de jumeau numérique de junction

La transformation du modèle (réseau) de distribution d'eau vers un fichier JSON doit respecter la hiérarchie et la décomposition des concepts de l'objet (thing) dans la plateforme des jumeaux numérique, La Figure 3.8 : définit comment la forme des objets devrait être au format JSON.



Figure 3. 8 : Exemple de format de thing en JSON.

6. Application de jumeau numérique

L'étape finale consiste à fournir une application web permettant de superviser et contrôler le réseau de distribution d'eau à distance en se basant sur le jumeau numérique.

Cette application doit permettre de

- Réduire le temps et les efforts nécessaires pour effectuer des opérations dans des cas normaux (manuellement).
- Simplifier le travaille humain.
- Augmenter la sécurité de réseau (éviter les pannes, surveiller la qualité etc….).
- Accroitre la productivité du réseau de distribution.
- faciliter la surveillance et la gestion du processus en temps réel.
- Réduire l'intervention humaine.

La conception de cette application elle est détaillée dans ce qui suit :

7. Diagramme de classes de réseaux de distribution d'eau

Il représente les classes intervenant dans le système. Le diagramme de classe est une représentation statique des éléments qui composent un système et de leurs relations.

Chaque application qui va mettre en œuvre le système sera une instance des différentes classes qui le compose [31].

Le diagramme suivant représente : un réseau de distribution, dans notre application est représenté par un fichier inp.

Les composants d'un réseau de distribution d'eau qui sont :

- Des nœuds : contiennent : jonction, réservoir, château d'eau.
- Des liens : contient tuyau, pompe, vanne.

Un réseau de distribution d'eau potable peut être visualisé et contrôler par un admin, et visualiser par un user.

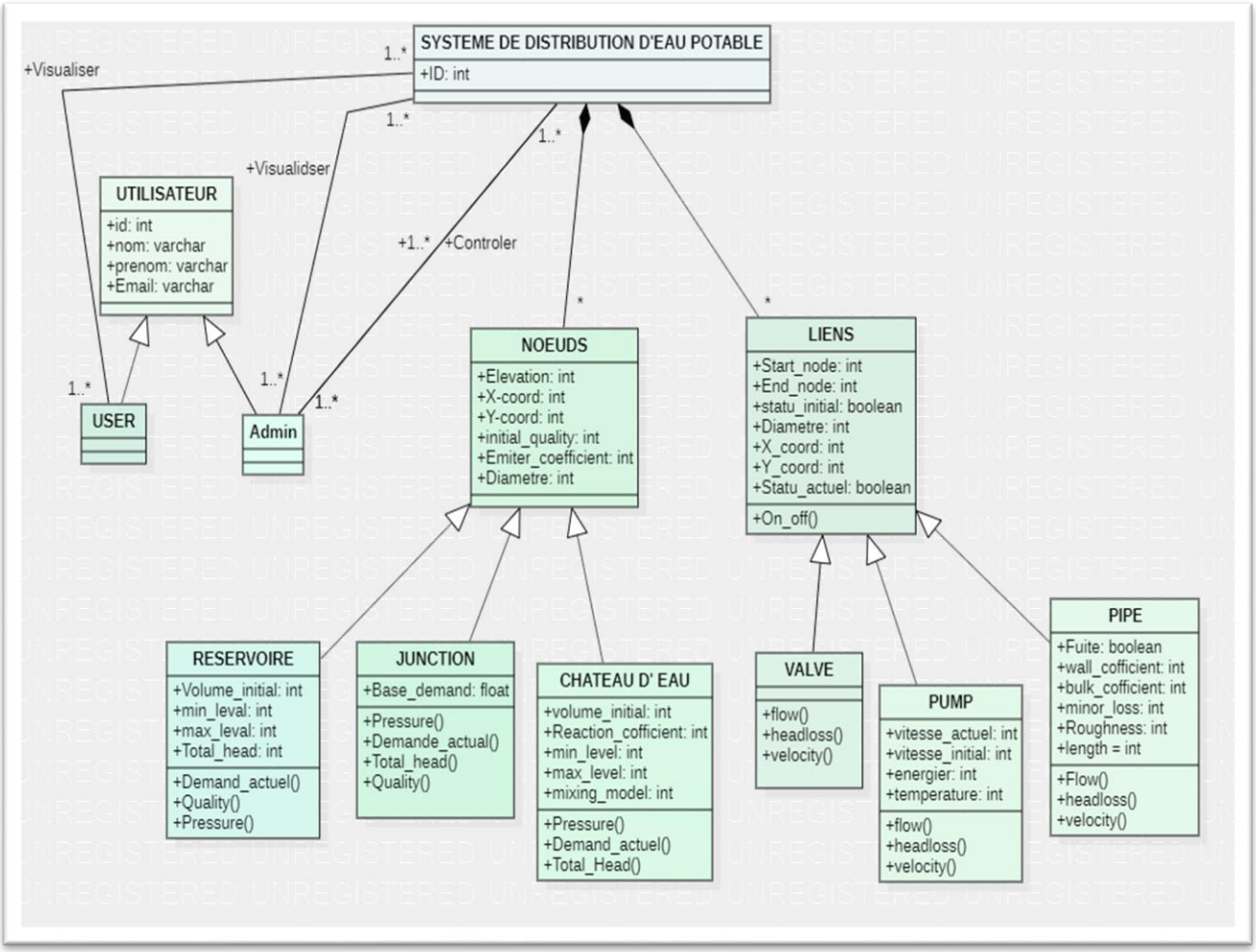


Figure 3. 9 : Diagramme de classe.

8. Diagramme de cas d'utilisation

Les diagrammes de cas d'utilisation (DCU) sont des diagrammes UML utilisés pour donner une vision globale du comportement fonctionnel d'un système logiciel. Ils sont utiles pour des présentations auprès de la direction ou des acteurs d'un projet, mais pour le développement, les cas d'utilisation sont plus appropriés. Un cas d'utilisation représente une unité discrète d'interaction entre un utilisateur (humain ou machine) et un système. Il est une unité significative de travail. Dans un diagramme de cas d'utilisation, les utilisateurs sont appelés acteurs (actors), ils interagissent avec les cas d'utilisation (use cases) [30].

Le diagramme suivant représente le cas d'utilisation de notre approche (Figure 3.10). Il décrit le Comportement du système du point de vue utilisateur et l'application.

Les diagrammes de cas d'utilisation, USER), comme le l'Admin a une autorisation supplémentaire.

En effet, l'application a deux type d'utilisateur (ADMIN, USER), comme le l'Admin a une autorisation supplémentaire.

L'utilisateur d'abord doit exporter le réseau modélisé dans le logiciel Epanet.

L'utilisateur s'authentifier à l'application, puis il va charger (sélectionner) un modèle de réseau qui est existe déjà.

L'application vérifier l'authentification de l'utilisateur, transforme le modèle de réseau à un fichier qui contient les composants au modèle de jumeau numérique, ensuit créer les composants dans la plateforme de jumeau numérique.

Ensuite, l'utilisateur gère l'interface de jumeau numérique, ou il peut contrôler le réseau de distribution à distance (peut affecter des modifications), si l'utilisateur a le droit de contrôle d'un réseau, sinon il ne peut que superviser le réseau à distance et consulter les graphes.

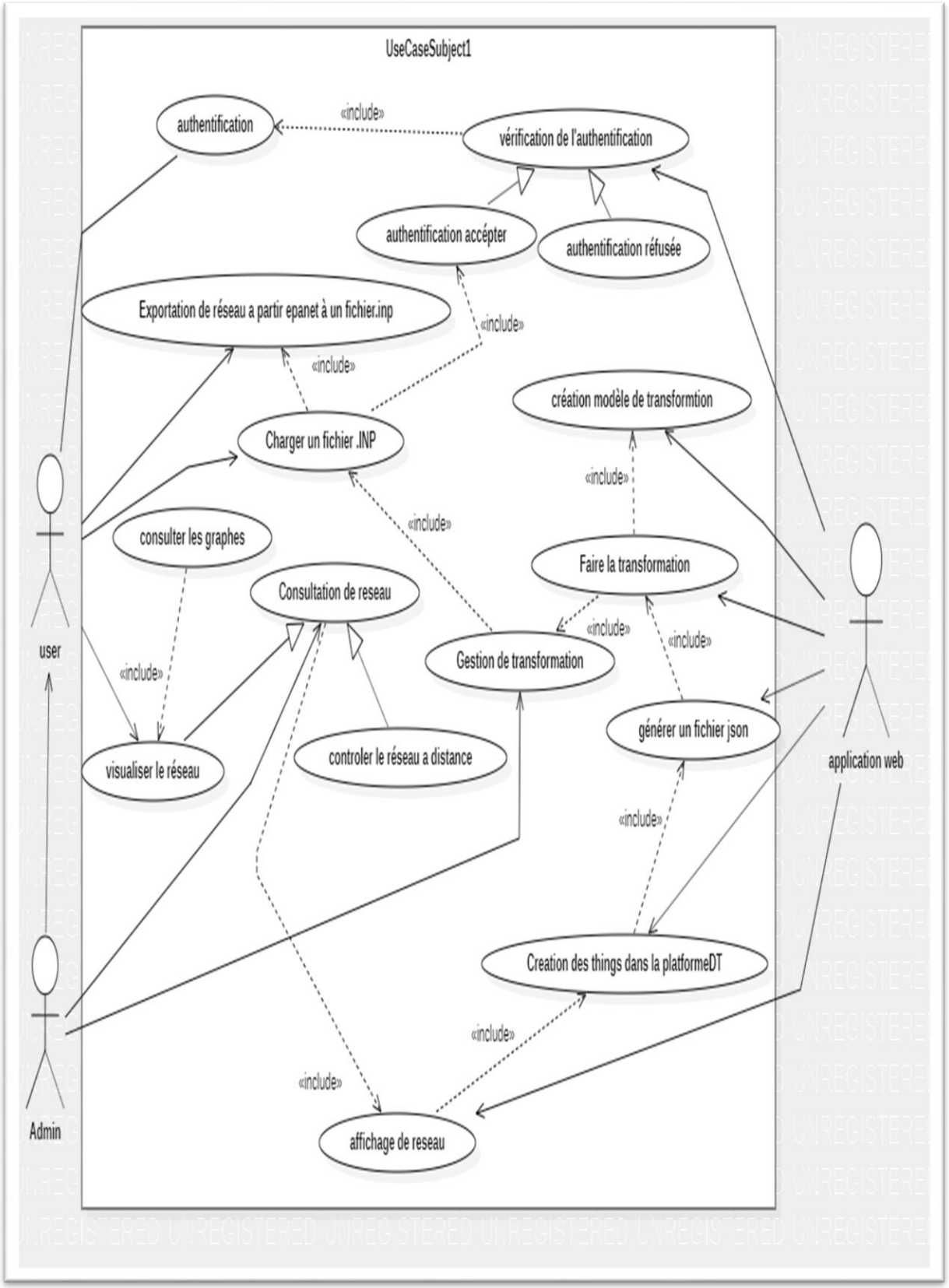


Figure 3. 10 : Diagramme de cas d'utilisation.

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Exportation de modèle de réseau» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre:	Exportation de modèle de réseau.
Description :	Ce cas permet d'exporter le réseau vers un fichier d'extension (.inp)
Acteur :	Utilisateur (principale).
Description des enchaînements	
Préconditions :	Existence d'un réseau sous un fichier .Net
Post conditions :	Existence d'un fichier .inp du réseau
Scénario nominal	
• L'utilisateur choisit un fichier .Net de réseau. • L'utilisateur export le fichier fichier.net en fichier .inp .	

Table 3. 1 : Description de sous cas d'utilisation «Exportation de modèle de réseau».

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Authentification» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre :	Authentification.
Description :	Ce cas permet l'utilisateur de saisir son username+ son password .
Acteurs :	Utilisateur (principal),Application (secondaire).
Sous cas :	
Description des enchaînements	
Pré conditions :	• Uusername et password correctes.
Scenario nominal	
• Le cas d'utilisation passe par les trois étapes suivantes: o Identification de l'utilisateur. o Vérification de l'identification. o Affichage de la première page.	
Enchainment alternative	
• L'utilisateur saisir données incorrectes(username ou password).	

Table 3. 2: Description de sous cas d'utilisation «Authentification».

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Création modèle de transformation» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre :	Création modèle de transformation.
Description :	Ce cas permet de générer un modèle json conforme au modèle Epanet.
Acteur :	Application (principale), utilisateur (secondaire)
Sous cas :	/
Description des enchaînements	
Pré conditions :	• Existence de modèle de réseau (fichier.inp).
Post conditions:	• Existence de modèle jumeau numérique. • Générer fichier JSON.
Scénario nominal	
• L'application demande de sélectionner un de modèle de réseau (fichier d'extension .inp). • L'utilisateur sélectionne un modèle de réseau (fichier .inp). • L'application crée le modèle.	

Table 3. 3: Description de sous cas d'utilisation «Création modèle de transformation».

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Gestion de transformation» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre :	Gestion de transformation
Description :	Ce cas permet d'exécuter une série de transformation et générer une représentation au format JSON à une modélisation de réseau sous un fichier .inp, et puis crée les things de réseau dans la plateforme de jumeaux numérique.
Acteurs :	Utilisateur (principale), Application (secondaire).
Sous cas :	générer fichier JSON. Affichage de réseau (interface jumeau numérique).
Description des enchaînements	
Pré conditions :	• Existence de fichier.inp
Post conditions :	• Existence de fichier JSON. • Existence de thing dans la palateforme de jumeau numérique. • Affichage de réseau.
Scénario nominal	
• Le cas d'utilisation passe par les quatre étapes suivantes: o Sélection de modèle de réseau (fichier.inp). o Transformation de modèle de réseau en fichier json o Génération des thing dans la plate forme de jumeau numérique. o Affichage de réseau (interface jumeau numérique).	
Enchaînement alternative	
• L'utilisateur décide de quitter l'application.	

Table 3. 4: Description de sous cas d'utilisation «Gestion de transformation».

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Générer fichier JSON» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre	Générer fichier JSON.
Description	Ce cas permet de générer fichier json après l'exécution de transformation, pour avoir la représentation du modèle jumeau numérique en format json.
Acteur :	Utilisateur (principale),Application (secondaire).
Sous cas :	/
Description des enchaînements	
Pré conditions :	Existence de modèle de transformation.
Post conditions:	• Existence de fichier JSON contient tous les éléments (things) du modèle jumeau numérique (tous les composants). • Affichage de réseau.
Scénario nominal	
• Le cas d'utilisation passe par les trois étapes suivantes: • Création de modèle jumeau numérique. • L'application faire la transformation. • L'application génère le fichier json.	

Table 3. 5: Description de sous cas d'utilisation «Générer fichier JSON».

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Création de thing dans la plateforme de jumeau numérique» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre :	Création de thing dans la plateforme de jumeau numérique.
Description :	Ce cas permet crée les things dans la plateforme jumeau numérique Eclipse ditto .
Acteur:	Utilisateur (principale), plateforme ditto (secondaire).
Description des enchaînements	
Préconditions :	-La validation de fichier par l'utilisateur.
Post conditions :	-thing crée en dans la plateforme de jumeau numérique (création de jumeau numérique), -gestion de l'interface de jumeau numérique. (consultation de réseau).
Scénario nominal	
• L'utilisateur valide le fichier inp. • La plateforme de jumeau numérique Eclipse Ditto crée le thing. • Le système affiche le réseau.	
Enchaînement alternatif	
• L'utilisateur quitte l'application avant que la création de thing sera terminée.	

Table 3. 6 : Description de sous cas d'utilisation «Création de thing dans la plateforme de jumeau numérique».

Le tableau ci-dessous représente la description de sous cas d'utilisation «Gestion de l'interface de jumeau numérique» et ce dernier montre en détail le scénario et l'enchaînement de ce cas.

Sommaire	
Titre :	Gestion de l'interface de jumeau numérique.
Description :	Ce cas permet de consulter les thing en temps réel.
Acteur :	Utilisateur (principale), Application, plate forme de jumeau numérique (secondaire).
Sous cas :	Test le changement de valeur. Affiche l'état de l'objet (thing), Consulter les graphes en temps réel.
Description des enchaînements	
Pré conditions :	Au moins un thing crée.
Post conditions :	- Afficher le jumeau numérique des objets (things) créé. -Affiche les graphes en temps réel. -Modifier les valeurs de thing.
Scénario nominal	
• L'utilisateur clique sur un composant de réseau. • L'application affiche le composant. • L'utilisateur peut affecter des changements de valeur aux champs modifiables. • L'utilisateur peut consulter les graphes en temps réel.	

Table 3. 7: Description de sous cas d'utilisation «Gestion de l'interface de jumeau numérique».

9. Modèle dynamique (diagrammes de séquences)

Les diagrammes de séquences sont la représentation graphique des interactions entre les acteurs et le système selon un ordre chronologique dans la formulation (Unified Mode Ling Langage). [32]

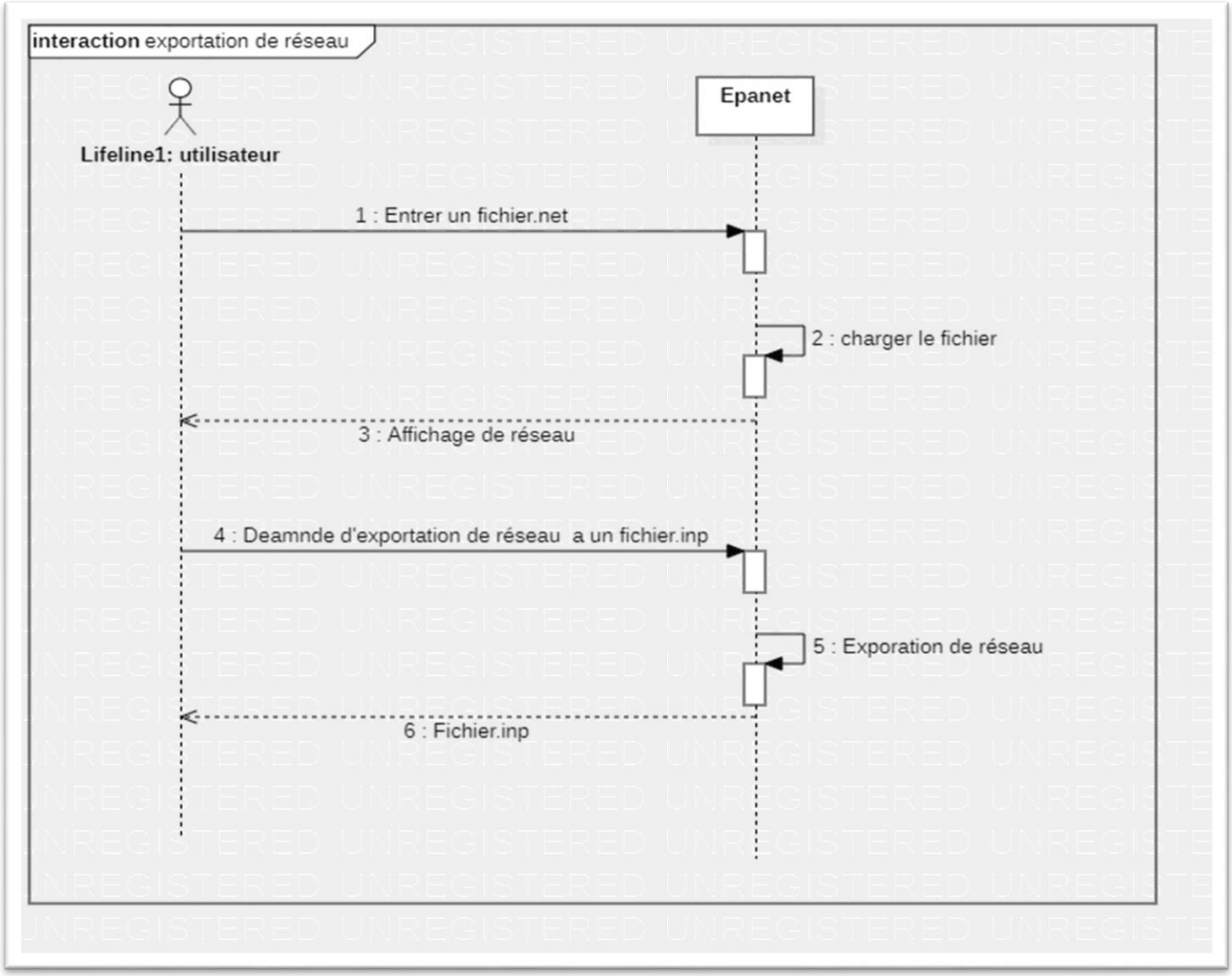


Figure 3. 11: Diagramme de séquence pour «Exportation de fichier inp».

La Figure 3.11 : décrire la phase d'exportation de fichier inp dans Epanet.

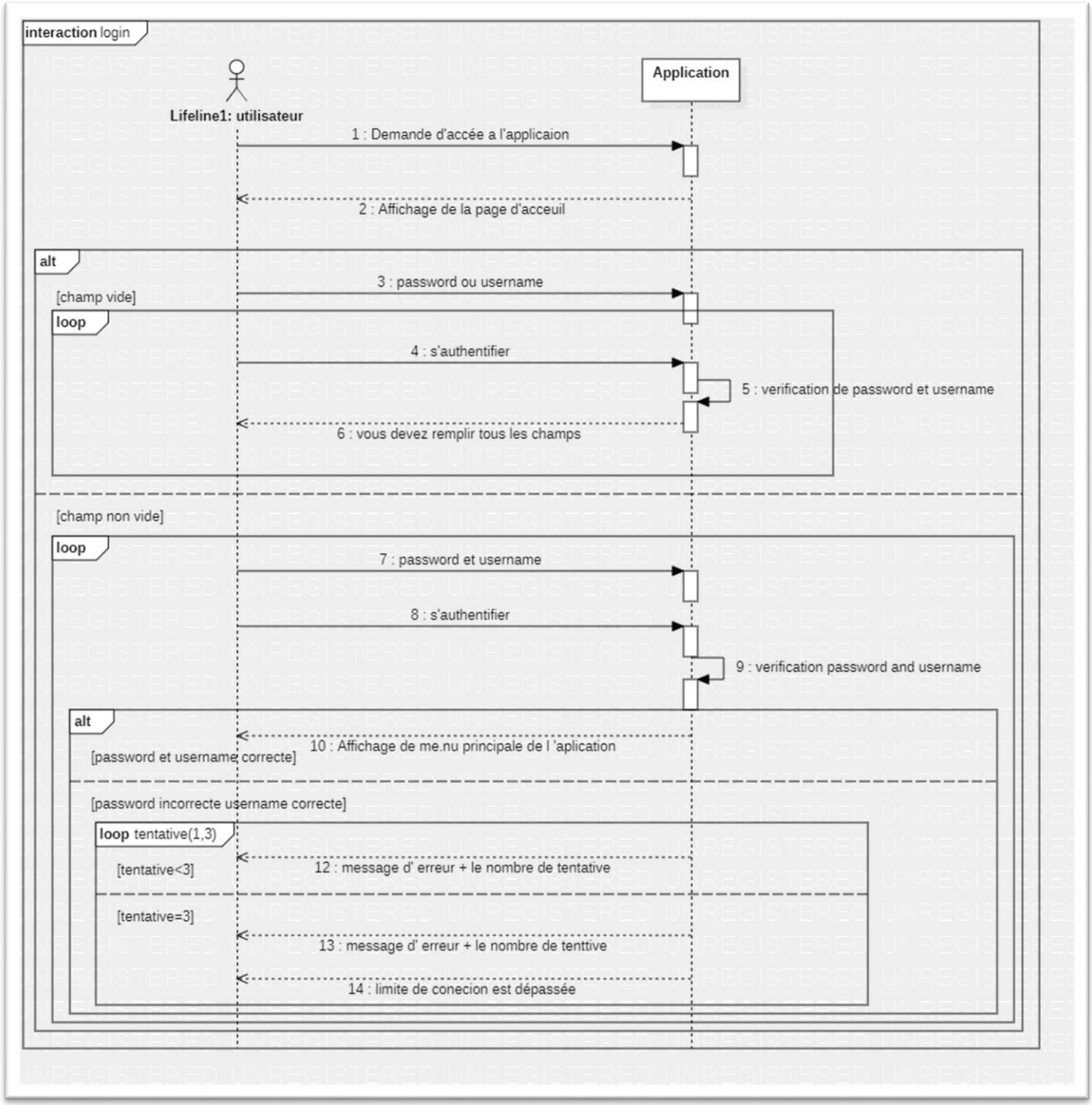


Figure 3. 12 : Diagramme de séquence pour «Authentification».

La Figure 3.12 : décrire les interactions entre l'utilisateur et l'application, l'utilisateur demande l'accès à l'application, page login sera afficher, si un champ est vide un message d'erreur sera afficher, sinon le système vérifie le password et le username, si les informations entrées sont incorrecte et le nombre de tentative est inferieur à 3, un message d'erreur sera afficher, sinon si le

nombre de tentative égale à 3, un message d'erreur sera afficher plus un message de limite de connexion dépassé.

Si les information entrées sont correcte l'utilisateur peut accéder a le menu principale de l'application.

Un utilisateur doit être authentifie, pour pouvoir accéder au menu principale de l'application dont l'application vérifie le mot de passe et le login.

Un utilisateur doit être authentifie, pour pouvoir accéder au menu principale de l'application dont l'application vérifie le mot de passe et le login.

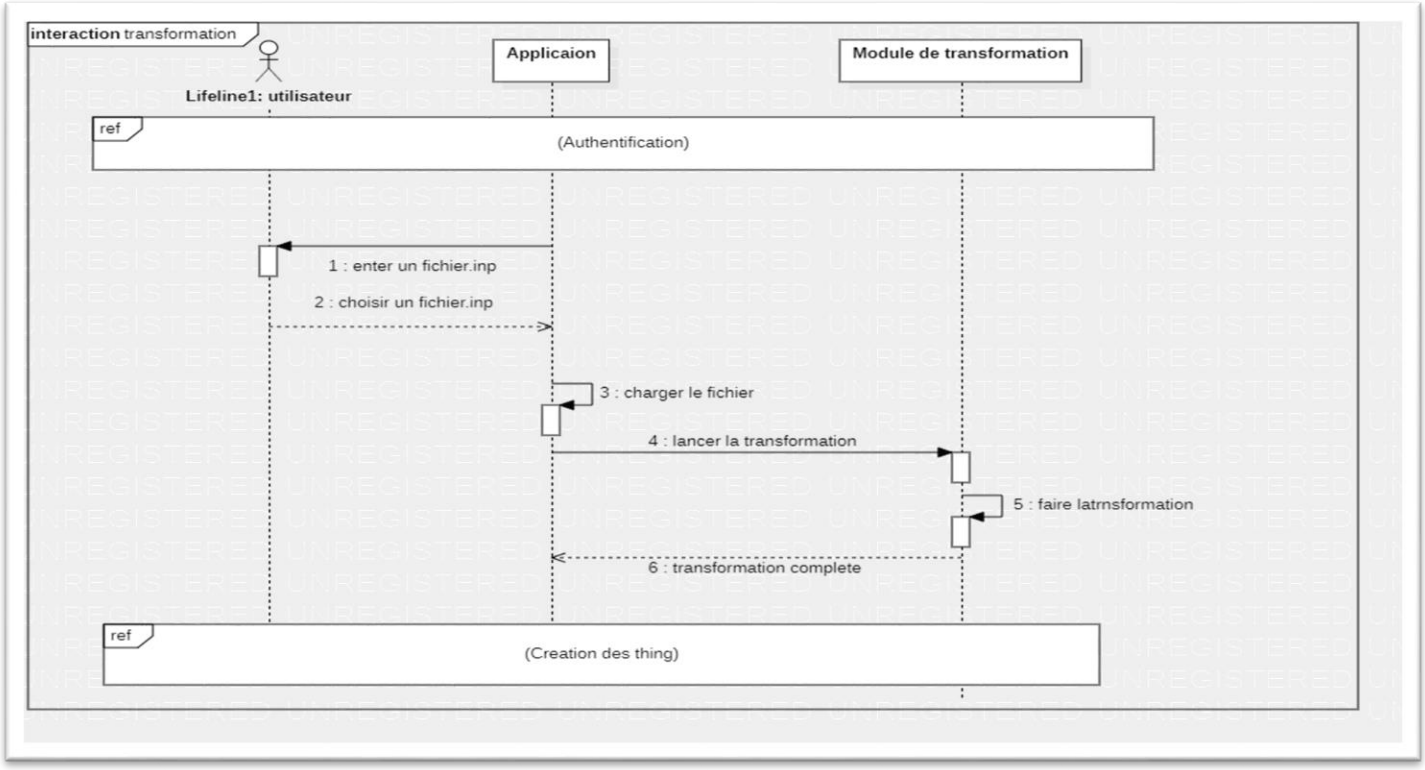


Figure 3. 13 : Diagramme de séquence pour «Transformation».

La Figure 3.13: décrire la phase de chargement de modèle de réseau (fichier.inp) par l'utilisateur et rentre dans la transformation intégrer dans l'application.

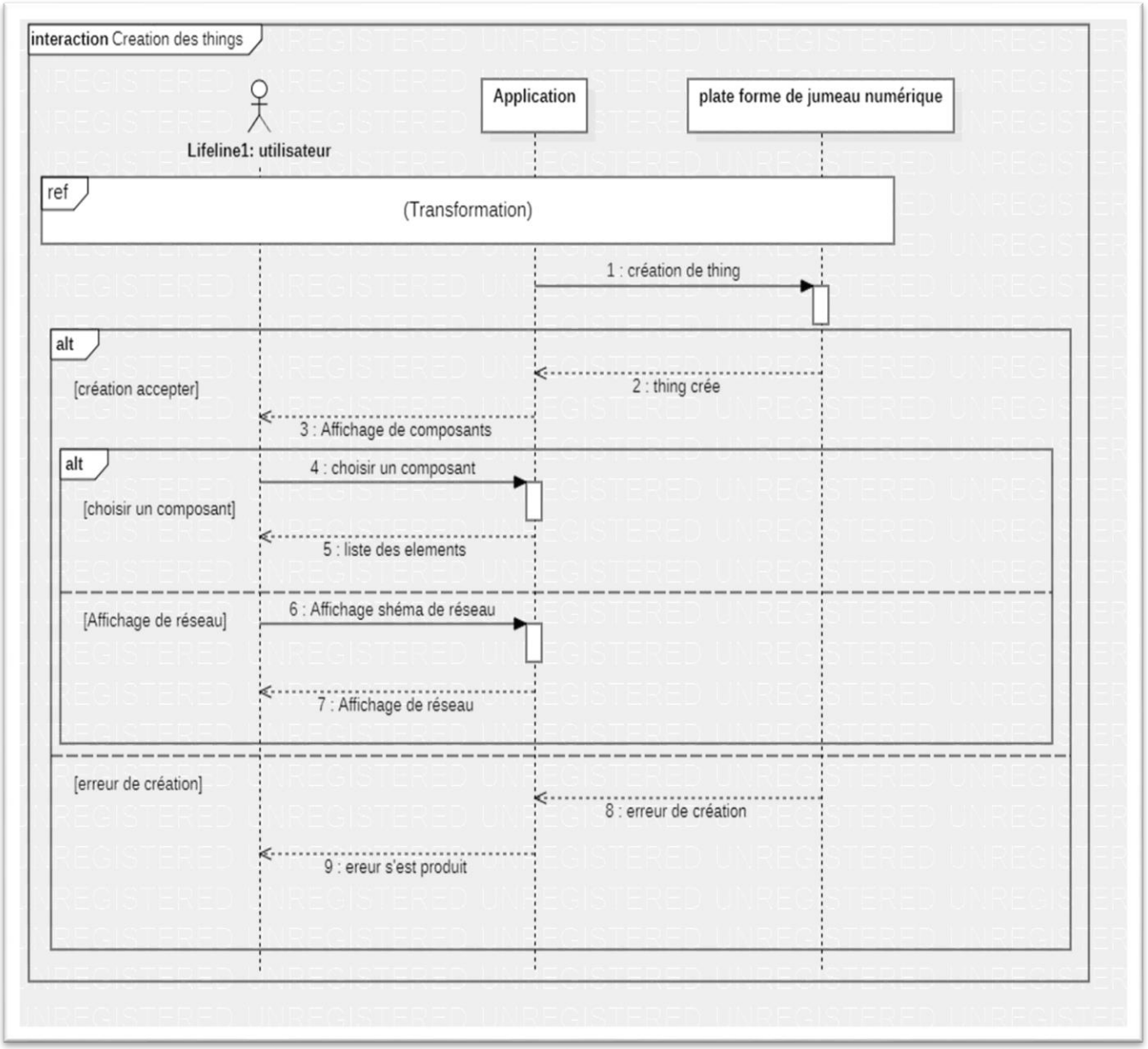


Figure 3. 14 : Diagramme de séquence pour «La création des things».

La Figure 3.14 **:** décrire la phase de la création des things dans la plate forme de jumeau numérique (Eclipse Ditto).

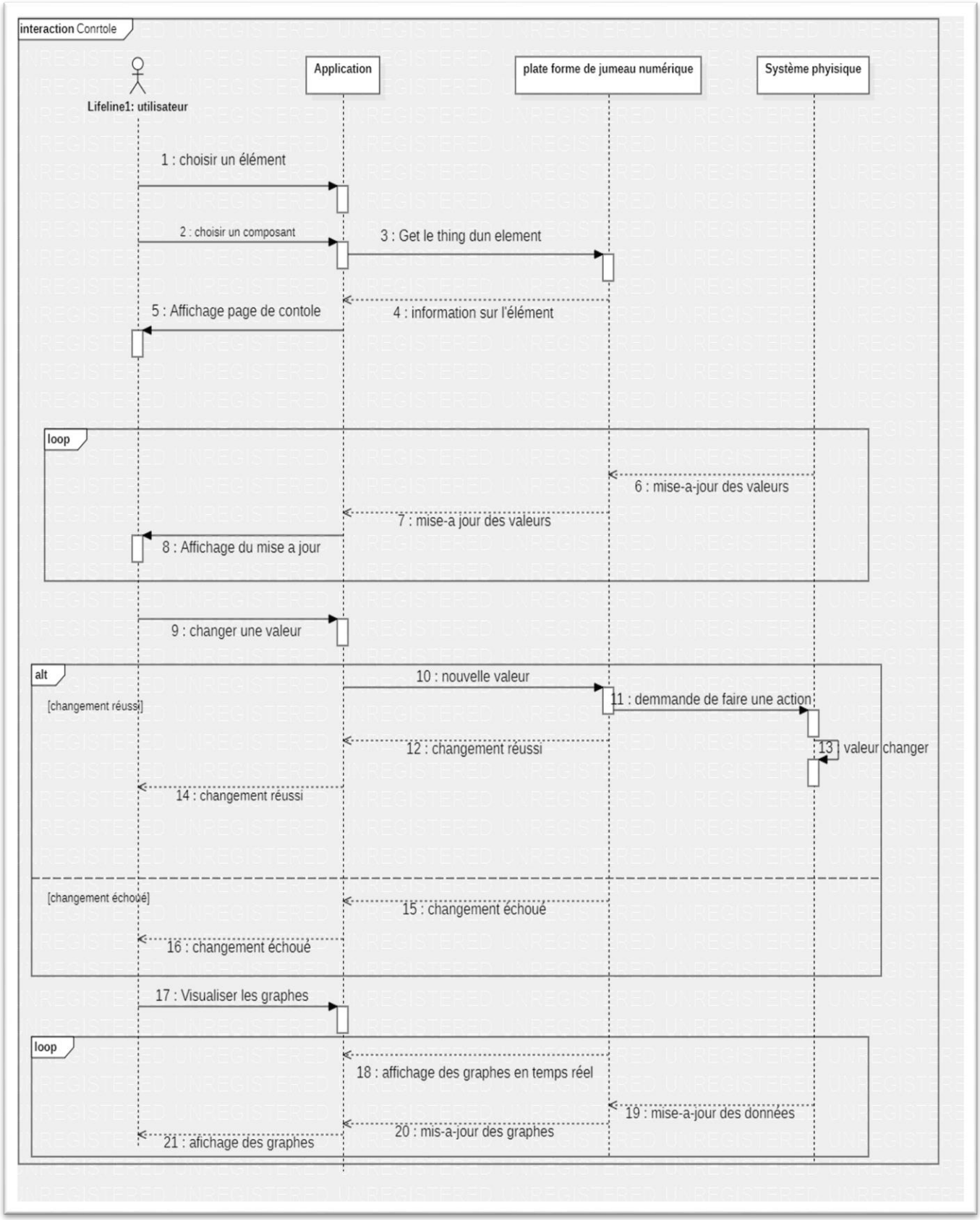


Figure 3. 15: Diagramme de séquence pour «jumeau numérique».

La Figure 3.15 **:** description des séquences à effectuer pour entamer la phase de contrôle de jumeau numérique**.**

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception pour générer des jumeaux numériques des réseaux de distribution d'eau à partir du modèle initial de réseau dans le logiciel Epanet. Nous avons identifié les différentes étapes de notre démarche, telle que la transformation de modèle a des objets (things) pour construire la représentation du jumeau numérique. Enfin, nous avons expliqué l'objectif et l'architecture générale de l'application web permettant la création du jumeau numérique du réseau de distribution d'eau et ses différentes fonctionnalités de supervision et de contrôle.

Chapitre 4 : Implémentation

1. Introduction

L'implémentation est la phase la plus importante après celle de la conception. Le choix des outils de développement influe énormément sur le coût en temps de programmation, ainsi que sur la flexibilité du produit à réaliser. Cette phase consiste à mentionner les outils technologiques utilisés, la description de l'environnement de travail puis à dégager et à élaborer l'application proposée pour notre approche. Nous débutons, tout d'abord ,par l'exportation et la transformation de modèle de réseau de distribution d'eau au modèle de jumeau numérique au format json pour la création de jumeau numérique de réseau, puis, nous mentionnons la simulation du réseau, Finalement, nous donnons un aperçu sur l'application réalisé pour la création ,le contrôle et la visualisation du réseau de distribution d'eau.

2. Implémentation jumeaux numérique du réseau de distribution d'eau

Pour implémenter notre système on a utilisé la plateforme de jumeau numérique (eclipse ditto), pour être à jour avec toute les modifications qui se produit sur le réseau, et NODE-RED pour faire la liaison entre le système réelle et le jumeau virtuel c'est-t-dire la simulation du système.

La figure 4.1 : représente le schéma global de notre système.

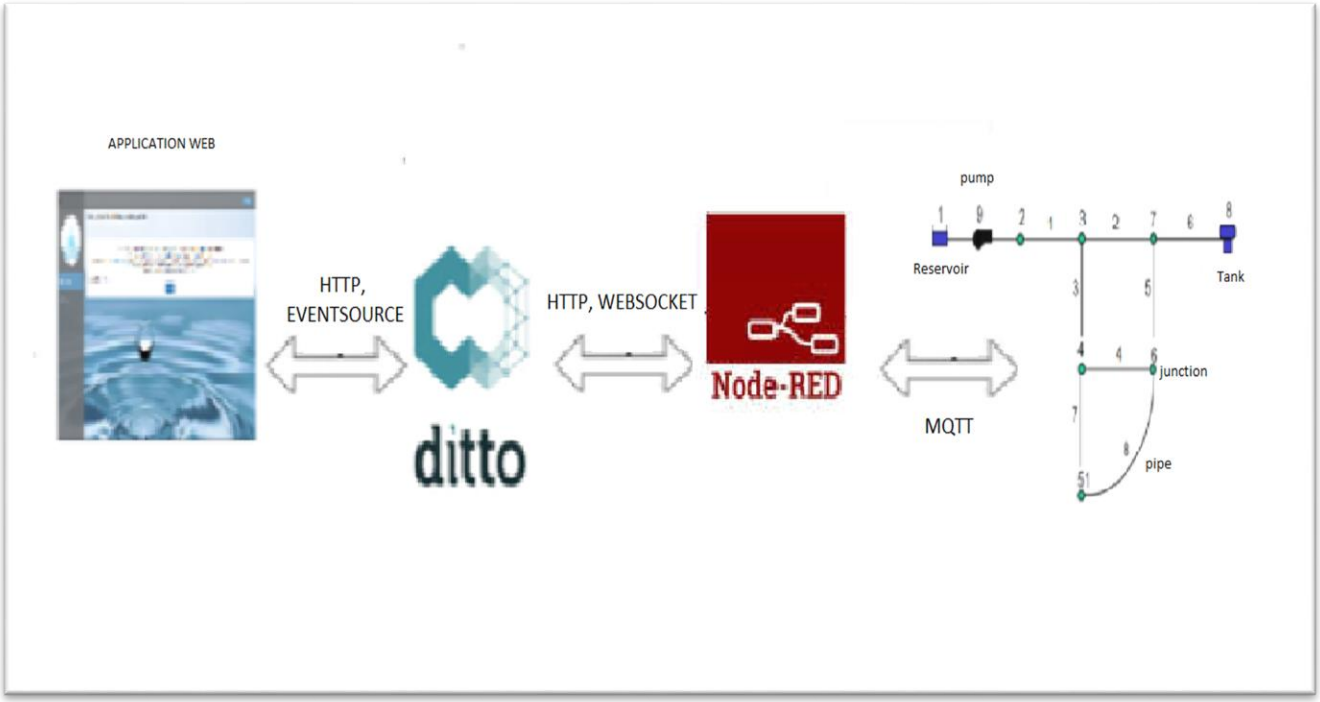


Figure 4. 1 : schéma globale de notre système**.**

3. Exportation du réseau de distribution d'eau à un fichier.inp

Pour Exporter les données d'un modèle de réseaux de distribution dans un Fichier.inp:

1. importer un fichier.net.

2. Sélectionnez **Fichier >> Exporter >> Réseau.** Dans le menu principal.

3. Dans la boîte de dialogue Enregistrer le Réseau sous, introduisez le nom du fichier (l'extension par défaut est .inp).

4. Cliquez sur **Save** pour compléter l'exportation.

La Figure 4.2 : représente comment exporter un modèle de réseau (fichier.inp).

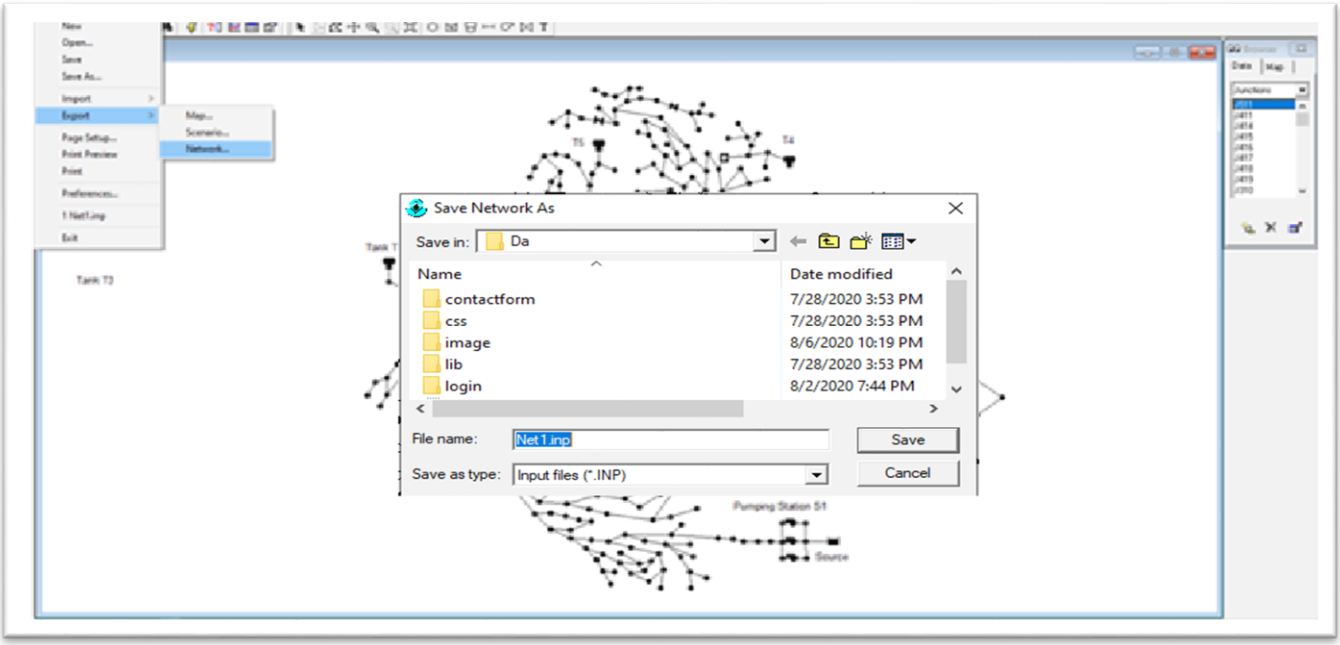


Figure 4. 2: Exportation de modèle de réseau.

4. Transformation

Afin d'exploiter le modèle de réseau de distribution d'eau potable qui est constituée a l'aide de programme Epanet et exporter ce dernier a un fichier qui porte l'extension <<.inp>>. Nous avons donné à l'application web, la possibilité d'accéder à ce fichier, d'ou on a utilisé l'outil python pour charger ce dernier, en utilisant EPANETTOOLS qui est un package python permettant à l'utilisateur d'appeler toutes les fonctions de la boîte à outils dans des scripts python, et générer pour chaque composant un modèle json conforme au modèle Epanet.

Chaque composant de réseau à des propriétés spécifique dans le fichier.inp, et à une transformation spécifique dans le script python, ce script génère un fichier JSON qui contiens des things conforment au concept des things dans la plate forme de jumeau numérique.

Exemple : transformation de composant pipe dans le script python

```
elif y.link_type==Link.link_types['PIPE'] :
    pipe = {"pipe":{
            "definition": "digitaltwin:pipe:1",


            "attributes": {"ID" : (y.id  ),},

              "features": {
                "Diameter": {

                  "properties": {

                      "Value":(y.results[Link.value_type['EN_DIAMETER']]),
                      "unité" : "mm",


                      }
                },
                  "Lenght": {

                  "properties": {

                      "Value": (y.results[Link.value_type['EN_LENGTH']]),
                      "unité" : "m",

                      }
                },
                "result_flow": {

                  "properties": {"unité" : "l/s",

                      "Value": (y.results[Link.value_type['EN_FLOW']]),

                      }
                },
                 "result_velocity": {

                  "properties": {"unité" : "m/s",

                      "Value": (y.results[Link.value_type['EN_VELOCITY']]),

                      }
                },
                "result_headloss": {

                  "properties": {"unité" : "m",

                      "Value": (y.results[Link.value_type['EN_HEADLOSS']]),
```

```
      ,
},

"Location": {

  "properties": {"X-Coord": "0",
                 "Y-Coord": "0"

     }
      },
"Quality": {

  "properties": {"Minor loss":(y.results[Link.value_type['EN_MINORLOSS']]),
                 "Roughness":(y.results[Link.value_type['EN_ROUGHNESS']])

}

},
"Start-end": {

  "properties": {"Start_node":(y.start.id),
                "End_node":(y.end.id)

      }
},
"status": {

  "properties": {"Actuel_statu":(y.results[Link.value_type['EN_STATUS']]),
                 "Initial_statu":(y.results[Link.value_type['EN_INITSTATUS']])

      }
},
"Reaction_coefficient": {

  "properties": {"Bulk_Coefficient":(y.results[Link.value_type['EN_KBULK']]),
                 "Wall_Coefficient":(y.results[Link.value_type['EN_KWALL']])


}

},
```

Figure 4. 3 : transformation de composant pipe**.**

La Figure 4.4 : représente le thing pipe au format json dans la plate forme de jumeau numérique après la transformation.

```
{
  "thingId": ":pipeNet6.inp'666'",
  "policyId": ":pipeNet6.inp'666'",
  "definition": "digitaltwin:pipe:1",
  "attributes": {
    "ID": "10"
  },
  "features": {
    "Reaction_coefficient": {
      "properties": {
        "Bulk_Coefficient": [
          -0.5
        ],
        "Wall_Coefficient": [
          -1
        ]
      }
    },
    "Start-end": {
      "properties": {
        "Start_node": "10",
        "End_node": "11"
      }
    },
    "Quality": {
      "properties": {
        "Minor loss": [
          0
        ],
        "Roughness": [
          100
        ]
      }
    },
    "result_flow": {
      "properties": {
        "unite": "l/s",
        "Value": 62.80763811920544
      }
    },
    "result_headloss": {
      "properties": {
```

```
    },
    "Lenght": {
      "properties": {
        "Value": [
          10530
        ],
        "unite": "m"
      }
    },
    "Diameter": {
      "properties": {
        "Value": [
          18
        ],
        "unite": "mm"
      }
    },
    "result_velocity": {
      "properties": {
        "unite": "m/s",
        "Value": 40.18072975389462
      }
    },
    "Location": {
      "properties": {
        "X-Coord": "0",
        "Y-Coord": "0"
      }
    },
    "status": {
      "properties": {
        "Actuel_statu": [
          0
        ],
        "Initial_statu": [
          1
        ]
      }
    }
  }
}
]
```


Figure 4. 4 : Représentation de thing pipe.

5. Interface supervision et contrôle

Dans ce qui suit nous allons détailler les étapes de la création des ’interfaces de jumeau numérique.

5.1. Création des things dans la plateforme de jumeau numérique

Une fois la transformation de fichier.inp de réseau à des things est bien déterminer, les things seront crée dans la plateforme de jumeau numérique (eclipse ditto). La plateforme de jumeau numérique fournit une capacité (RESTAPI) pour interagir avec le jumeau numérique, cette API est accessible a travers le HTTP pour pouvoir communiquer avec le jumeau numérique de réseau, d’autre part la plateforme de jumeau numérique fournit plusieurs protocoles (HTTP, MQTT, WEBSOCKET…), pour communiquer avec le jumeau physique qui contient déjà des objets connectés.

Grace à ce jumeau numérique on peut contrôler le réseau et avoir une image réelle afin de suivre un composant en temps réel, et on peut appliquer des scenarios, et il nous garantit que l’accès au jumeau ne peut être fait que par la partie autorisé.

La création des things dans notre application a été réalisé par python, d’où on a crée le thing par PUT (HTTP_RQUEST) pour spécifier la codification de thingId.

La Figure 4.5 : montre la requête de création d’un thing dans la plateforme de jumeau numérique.

```
url="http://"+host+"/api/2/things/:"+thing+number
creds=("ditto","ditto")
g=requests.put(url,json.dumps(k[i]),auth=creds)
print((repr(g.status_code)+","+g.reason+";"+g.content.decode()))
```

Figure 4. 5 : Requête de la création d’un thing.

- **Host** : Représente l’adresse de la plateforme de jumeau numérique (eclipse ditto).
- **thing** : Se compose de deux parties : la première partie représente le numéro de fichier inp plus la deuxième partie représente le type de composant.
- **number** : Un numéro séquentiel.
- **thing+number :** représente le thingId qui est une étiquette unique pour chaque objet dans le modèle virtuel. Qui servirait d'espace réservé aux données pour le produit physique réel.

- **Creds** : Représente l'authentification.

5.2 Contrôle de Réseau en temps réel

Dans notre application on a utilise HTTP pour récupérer les informations depuis la plateforme de jumeau numérique.

Pour un composant de réseau on peut :

- Afficher les informations : En utilisant dans notre application GET (HTTP_REQUEST) pour récupérer les données.

En utilisant dans notre application PUT (HTTP_REQUEST) pour affecter les commandes. (Modifier les données).

- Afficher les valeurs et les alertes en temps réel: Qui aide l'utilisateur à identifier les pannes, par exemple les alertes de fuite, préparer aux situations d'urgence en fonction des risques, par exemple alerte d'efficacité d'une pompe ou les valeurs de la demande actuel.

Les notifications de modification dans notre application peuvent être reçues via l'Eventsource (SSE) [33]. (Les événements envoyés par le serveur (SSE) sont une technologie qui permet à un navigateur (client) de recevoir des mises à jour automatiques telles que des données d'événements textuelles à partir d'un serveur via une connexion HTTP).

La Figure 4.6 : schéma montre le fonctionnement d'Eventsource.

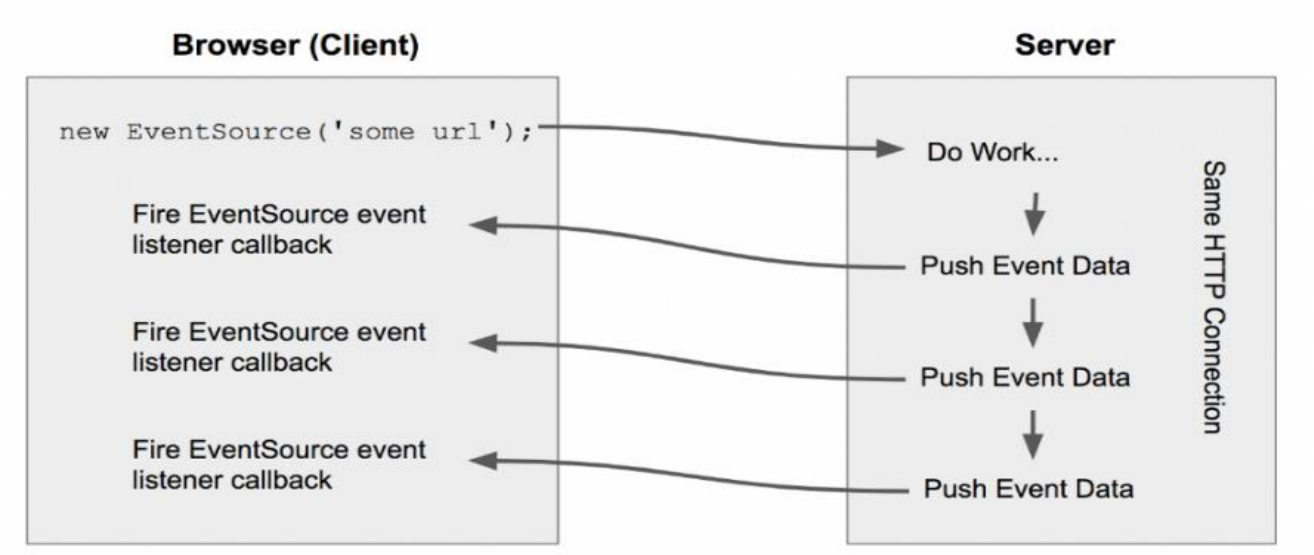


Figure 4. 6: Fonctionnement d'Eventsource [33].

5.3. La visualisation de Réseau en temps réel

La visualisation sert à donne une image réelle pour permettre à l'utilisateur de «voir» virtuellement ce qui se passe à l'intérieur de réseau. Fournit toutes les informations nécessaires pour la surveillance et l'observation simultanée de réseau, afin de résoudre les problèmes et maintenir le fonctionnement de l'équipement aussi efficacement que possible pour éviter les pannes et les temps d'arrêt.

Dans notre application on affiche toutes les informations qui se varient avec le temps. En intégrant des graphiques expressif permet aux utilisateurs de visualiser et d'interagir avec les données.

L'affichage des graphes en temps réels qui montrent la variabilité des demandes actuel des nœuds, le débit, la qualité, etc. ce fait a l'aide de l'interface Eventsource, et la bibliothèque canvas [34].

La Figure 4.7 : représente l'utilisation d'Eventsource pour construire les graphes en temps réel.

```
const es = new EventSource('https://ditto.eclipse.org/api/2/things?ids=:junctionNet6.inp\'666\'',{withCredentials:true},
 {authorizationHeader: "ditto:ditto" });
  window.console.log(es.withCredentials);
 const listener = function (event) {
     const type = event.type;
     window.console.log(`${type}:${event.data || es.url}`);
    if (event.data) {
    try{ donne = JSON.parse(event.data);
     console.log(donne);
     var prusureValue = donne.features.Pressure.properties.Value ;
     console.log(prusureValue);
     updateChart(prusureValue); }catch(err) {} }
if (type === 'result') {
  es.close(); } };
    es.addEventListener('message', listener);
```

Figure 4. 7: Utilisation d'Eventsource.

5.4. Simulation du réseau de distribution d'eau dans NODE-RED

Un modèle de jumeau numérique doit contenir trois parties principales: les actifs physiques (construction physique), un modèle virtuel et les connexions de données et d'informations qui relient les espaces virtuels et réels.

Comme on n'a pas la construction physique de réseau de distribution, on a proposée de simulé le réseau avec NODE-RED, dans notre travail la simulation est utilisée pour obtenir des informations sur le composant de réseau en temps réel.

La connexion entre NODE-RED et le jumeau numérique se fait à l'aide des autorisations http et Web Socket [35].

La Figure 4.8 : représente la simulation de déférentes informations de composant de réseau dans NODE-RED.

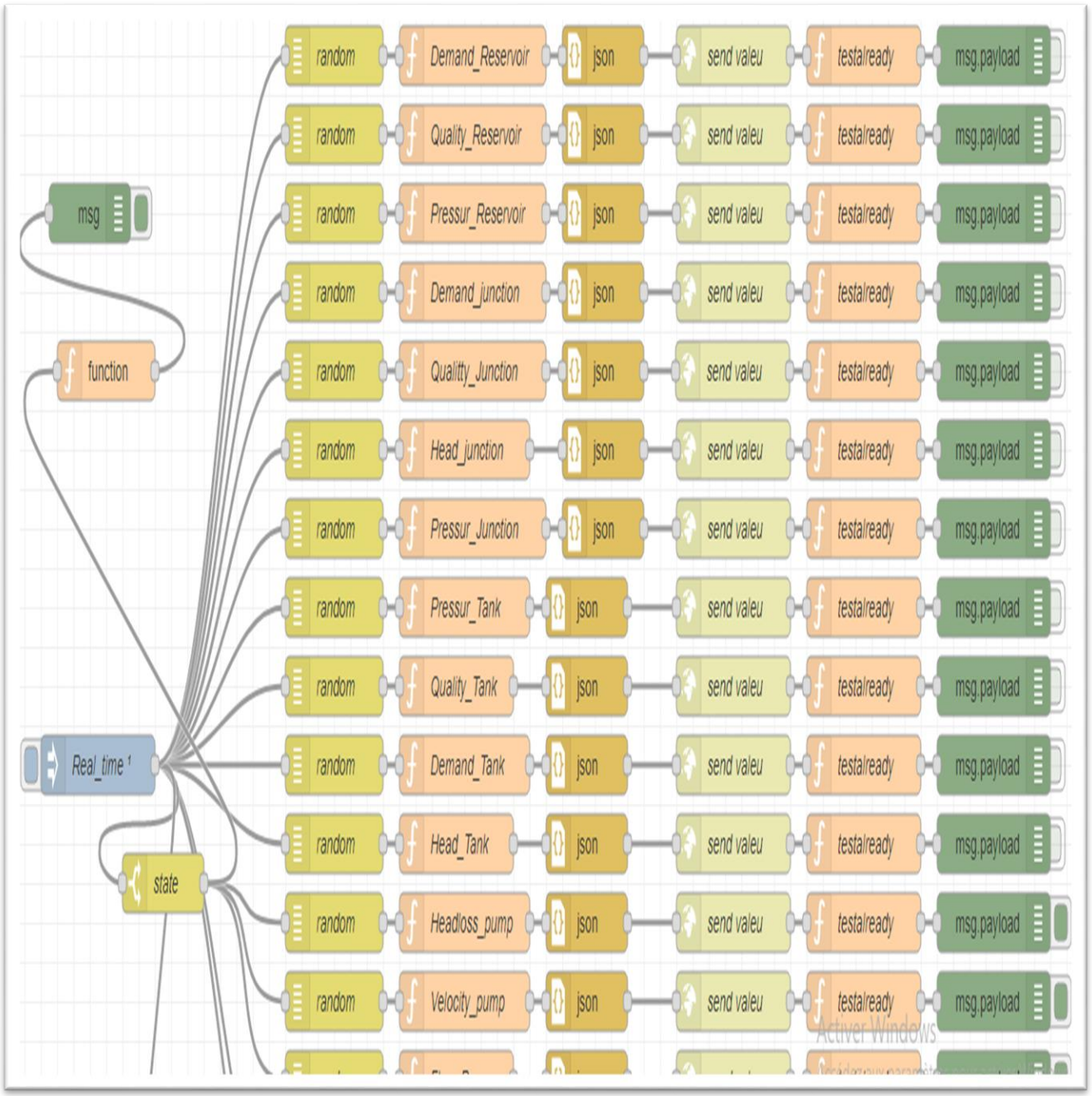


Figure 4. 8 : Simulation des informations de composant.

Le WebSocket : est une connexion duplex, des notifications de modification peuvent être envoyées via le WebSocket [35] pour les modifications d'entités effectuées dans la plateforme Eclipse Ditto.

La Figure 4.9 : représente la simulation de websocket dans NODE-RED.

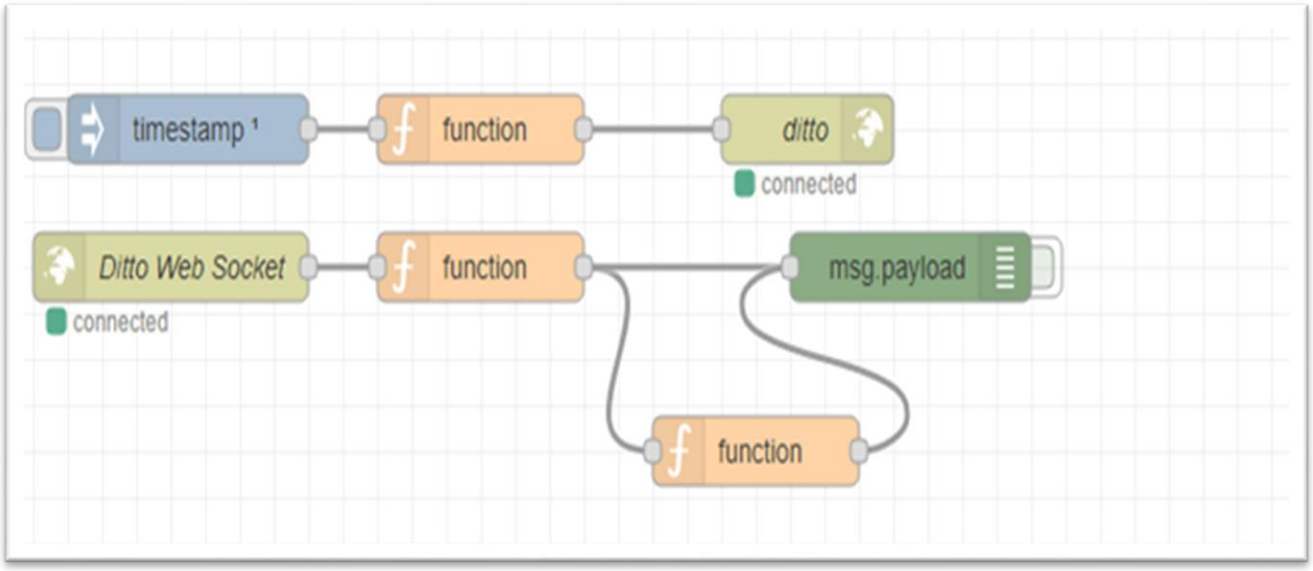


Figure 4. 9 : la simulation de websocket dans NODE-RED.

Les Alertes : peut aider à diriger une intervention d'urgence pour mieux contenir et résoudre la situation.

La Figure 4.10 : représente la simulation d'une Alerte dans NODE-RED.

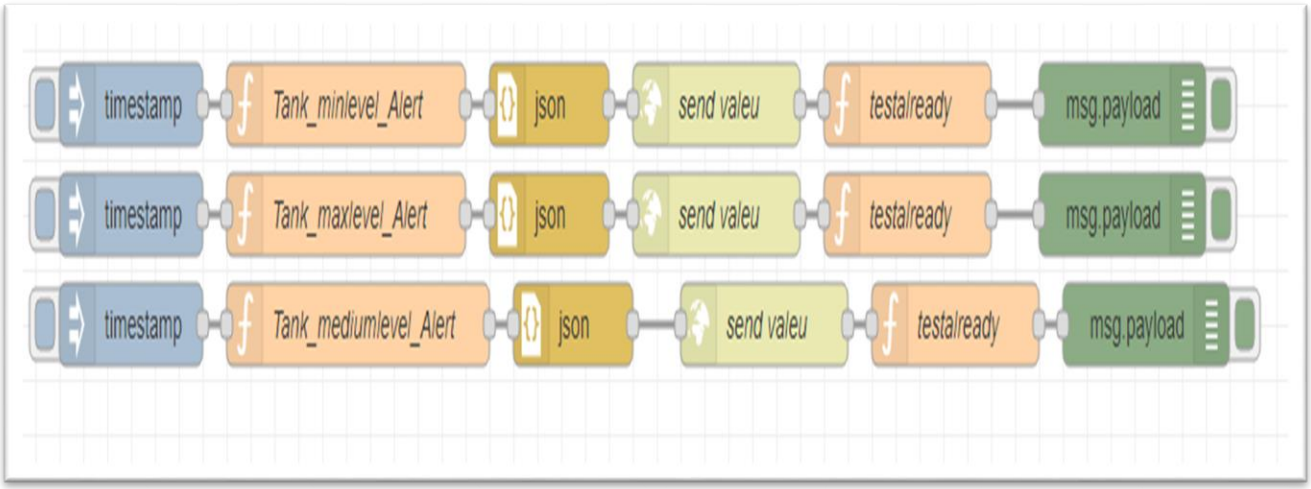


Figure 4. 10 : Simulation d'une Alerte.

5.5. Les interfaces de l'application

Pour réaliser notre application, nous avons utilisé le langage de programmation python [36], et langage html [37], le langage de programmation JAVASCRIPT [38], et le langage PHP [39], dédié à la création des applications web dynamique, on a utilisé aussi le langage CSS [40], et la technologie BOOTSRAP [41] pour le style,

Celui-ci nous l'avons manipulé dans un outil de développement intitulé WAMPSERVER [42], qui nous permet d'héberger notre application.

- **Interface d'authentification :**

Cette page permet à l'utilisateur de s'authentifier pour pouvoir accéder au système, pour visualiser le réseau de distribution d'eau, et l'admin pour visualiser et contrôler le réseau.



Figure 4. 11: Interface d'authentification**.**

- **Interface de chargement de modèle de réseau (fichier inp) :**

Cette interface permet l'utilisateur de charger un fichier .inp, pour lancer la transformation et génère le jumeau numérique de réseau de distribution d'eau.

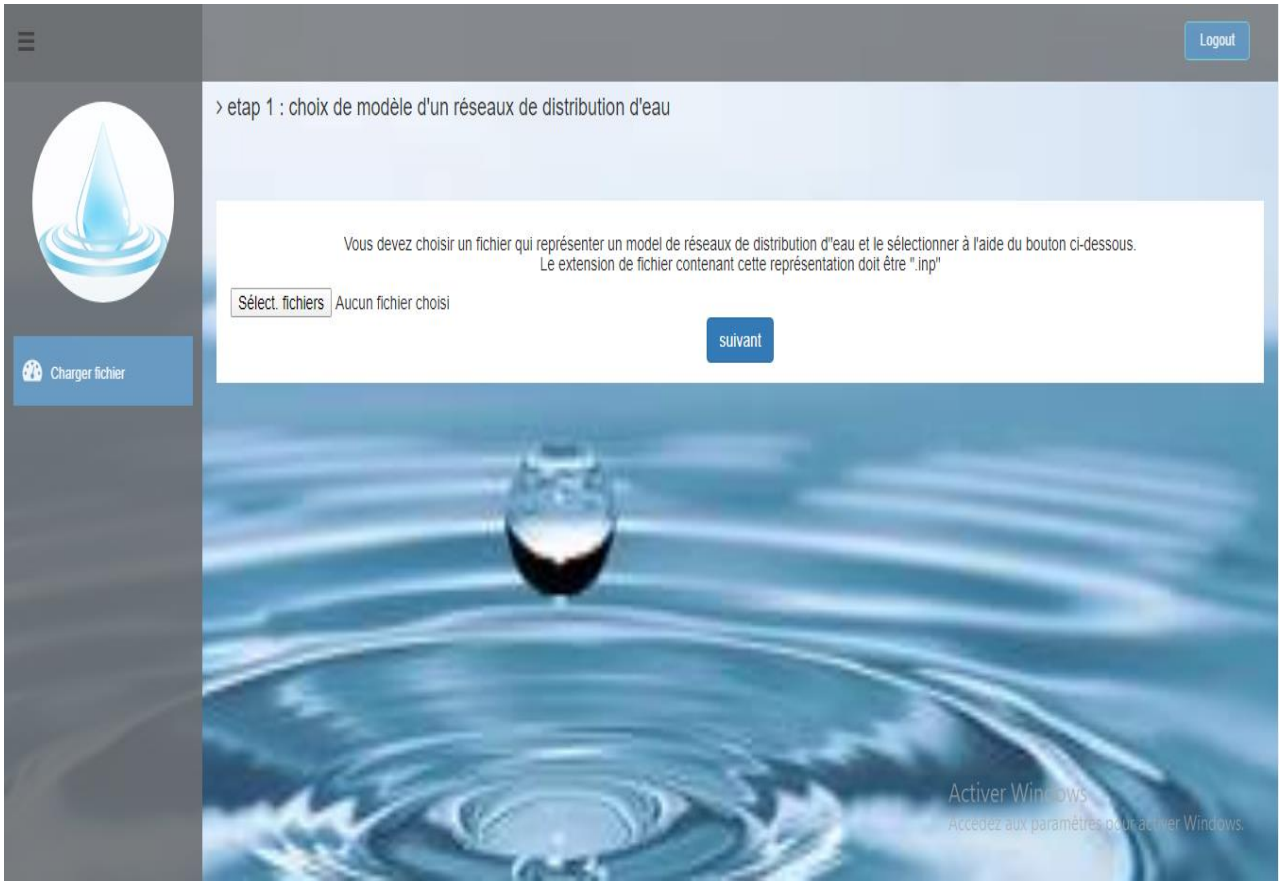


Figure 4. 12 : Interface de chargement de modèle de réseau (fichier inp).

- **Interface de composant de réseau :**

Cette interface s'affiche lorsque l'utilisateur choisir de visualiser et superviser un réseau a travers un schéma.

Dans cette interface l'utilisateur peut choisir n'importe quel composant de réseau pour contrôler ou le visualiser.

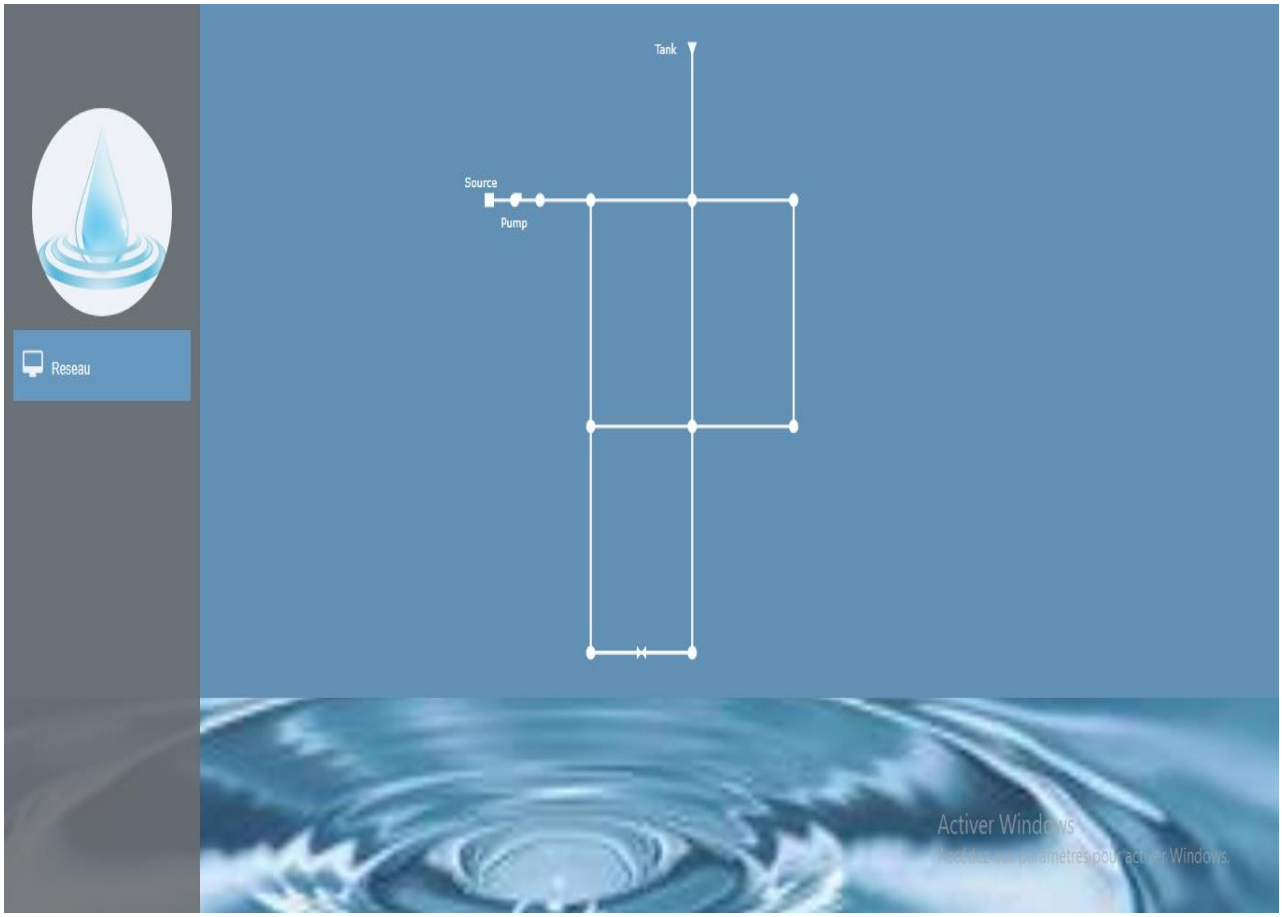


Figure 4. 13: Interface de réseau**.**

- **Interface des éléments de composant choisi :**

Après la sélection d'un composant de réseau, l'interface qui s'affiche contient les éléments de composant, la figure suivante représente la liste des éléments qui s'affiche lorsque l'utilisateur sélectionne le composant Pipe.

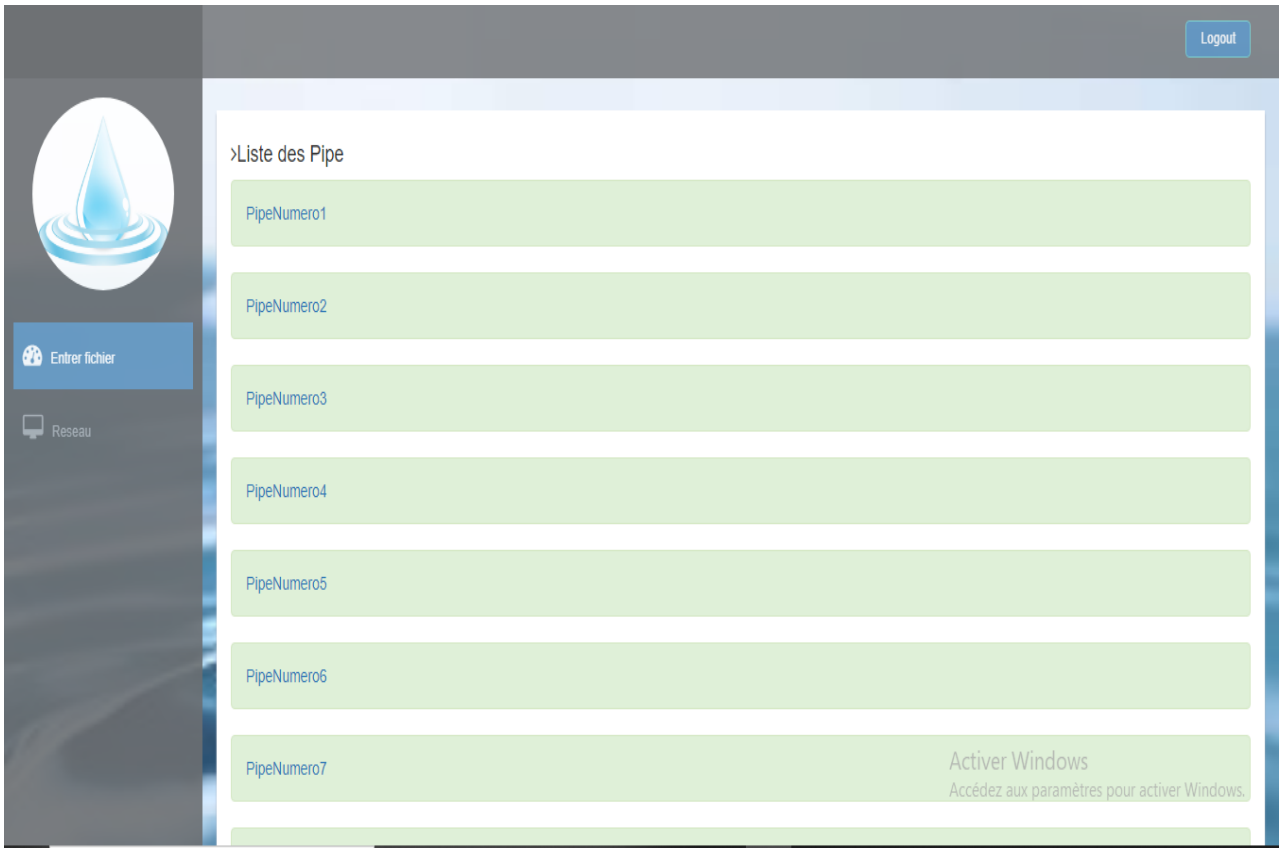


Figure 4. 14 : Interface des éléments de composant pipe**.**

- **Interface de contrôle de pipe :**

Cette interface s'affiche une fois l'utilisateur choisit un élément d'un composant, l'application affiche l'interface de contrôle de jumeau numérique d'un composant. L'interface de contrôle permettre à l'utilisateur qui à des droit supplémentaire « admin » d'affecter des changements de valeur aux champs modifiables dans la plateforme des jumeaux numériques Eclipse Ditto.

La figure suivante montre l'interface qui s'affiche lors de recevoir une alerte, dans le composant pipe lorsque une fuite s'est produise, et représente l'interface de contrôle de l'élément pipe.

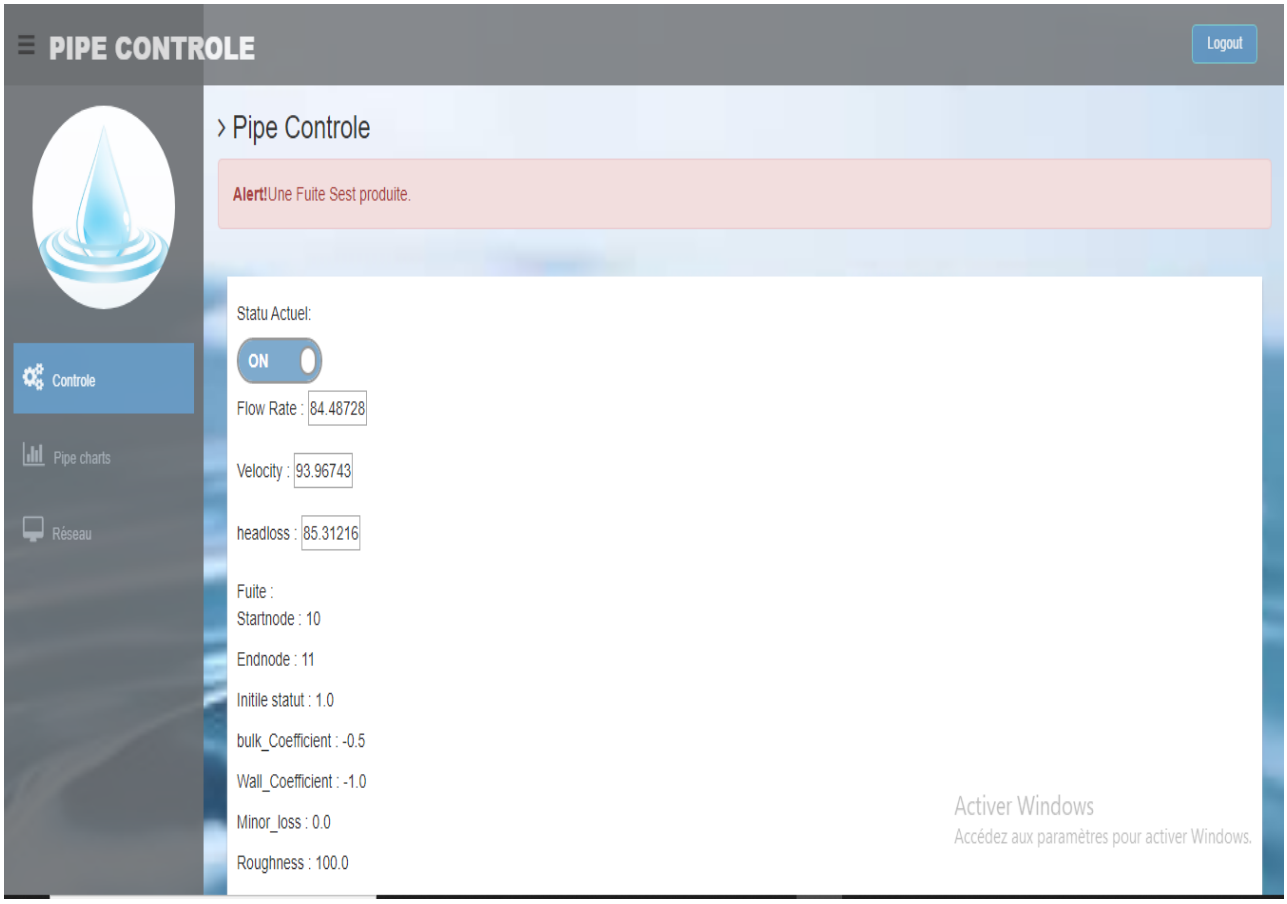


Figure 4. 15 : Interface de contrôle de pipe.

- **Interface de visualisation des graphes de composant pipe:**

Ces interfaces s'affiche lorsque l'utilisateur choisir de consulter les graphes en temps réel (de visualiser le réseau a travers des graphes).

Les interfaces ci-dessus montre l'exemple d'un pipe lorsque l'utilisateur sélectionne Pipe charts puis choisir le graphe qu'il veut consulter, ensuit l'application charge l'interface de graphe sélectionner.

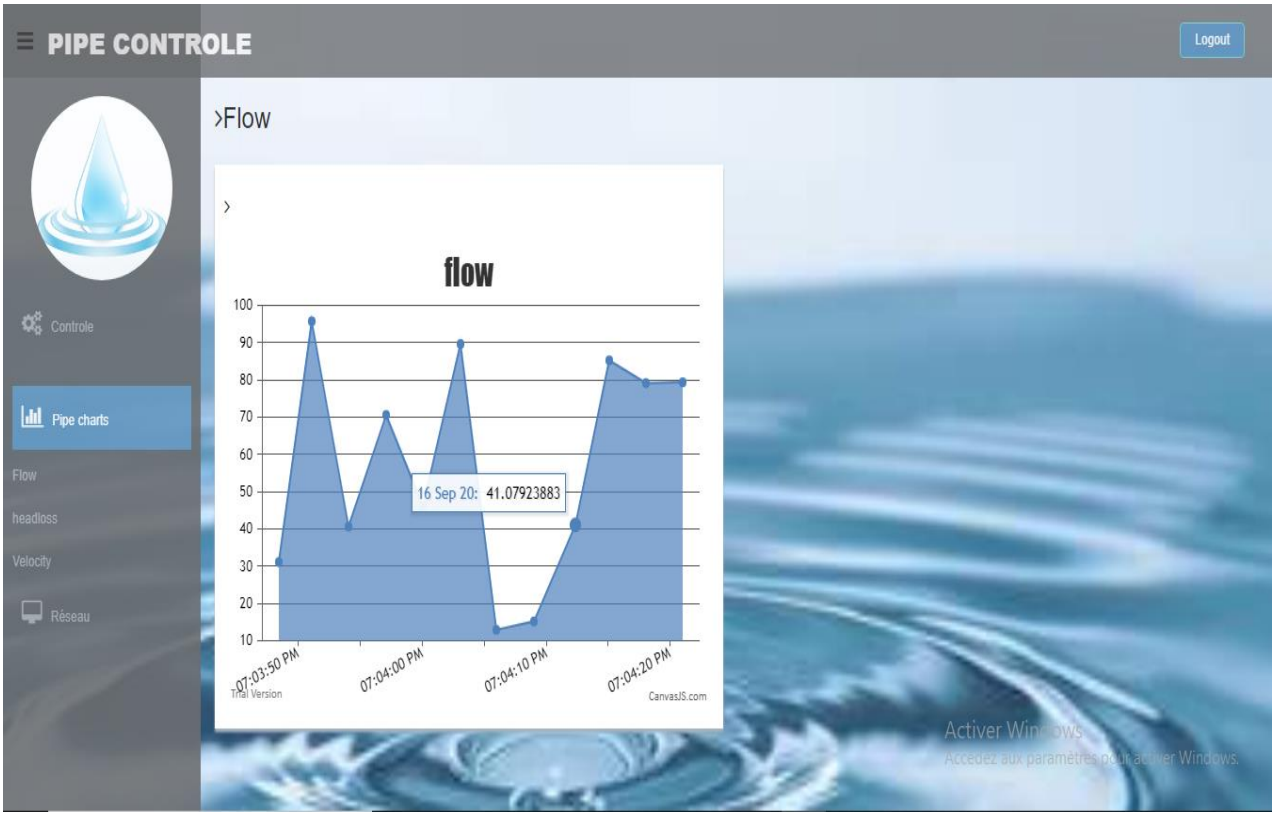


Figure 4. 16 : Interface de graphe Flow en temps réel en temps réel.

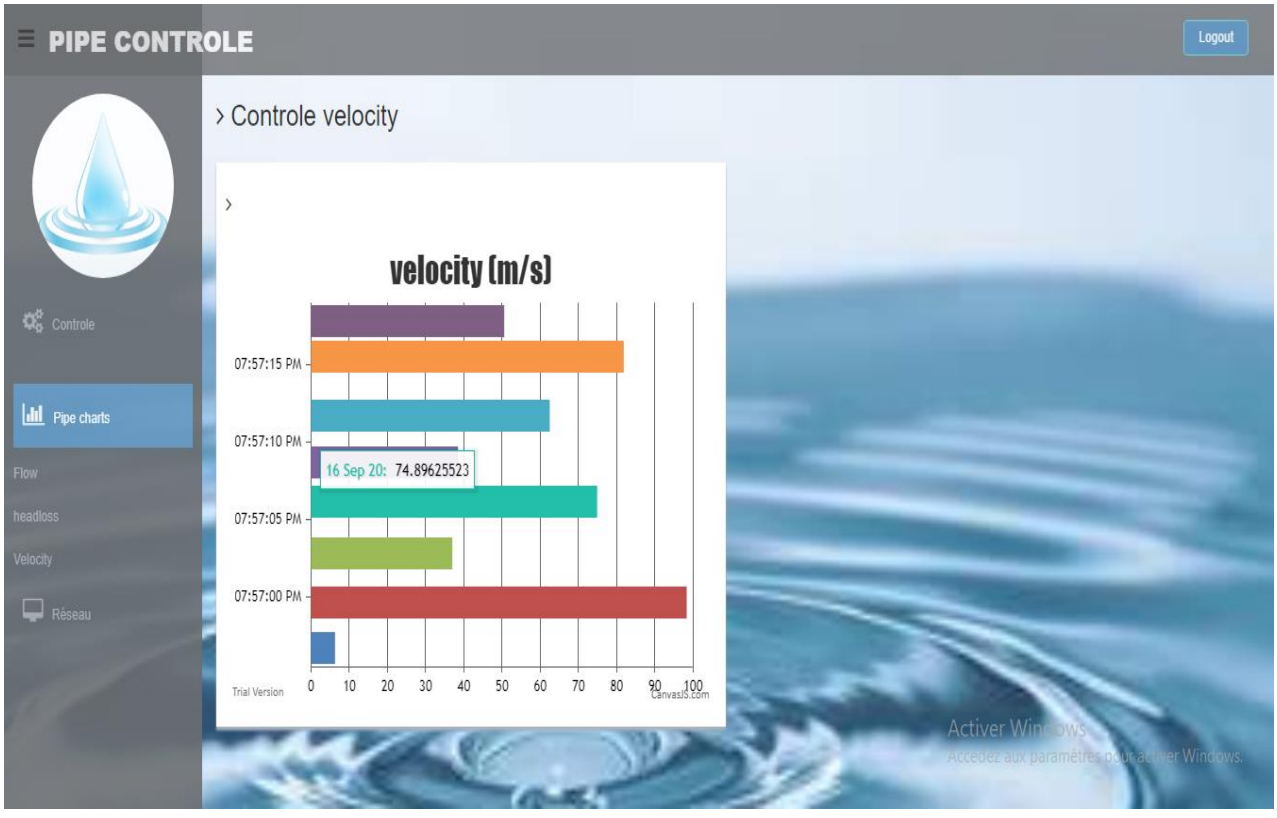


Figure 4. 17: Interface de graphe Velocity en temps réel.

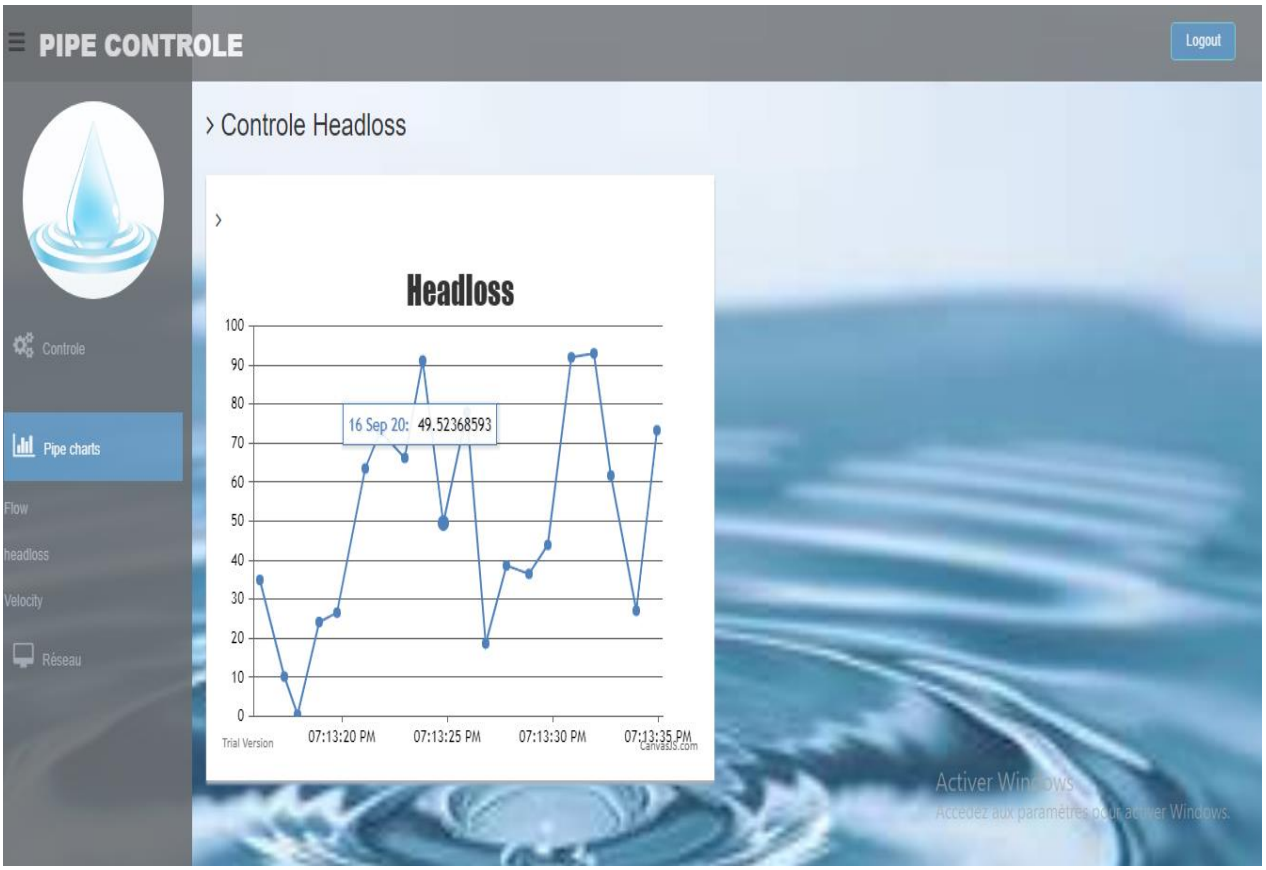


Figure 4. 18 : Interface de graphe Headloss en temps réel**.**

- **Interface d'une alerte :**

Montre l'interface qui s'affiche pour le contrôle de composant château d'eau, et la notification d'alerte qui s'affiche lorsque le niveau d'eau est supérieur au niveau maximale.

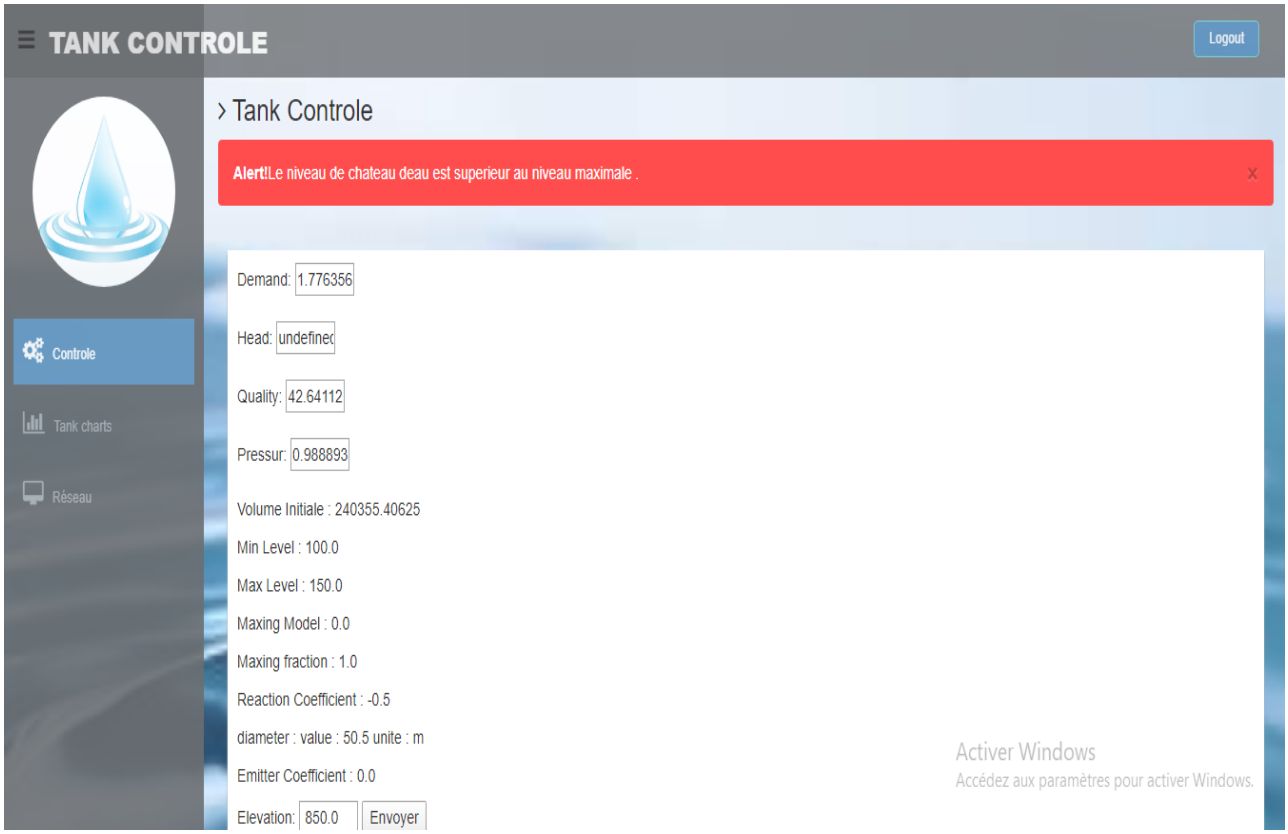


Figure 4. 19 : Interface d'une alerte**.**

- **Interface de visualisation des graphes de nœud tank :**

Les figures ci-dessous montre les graphes en temps réel dans le jumeau numérique de nœud Tank telle que : la qualité de l'eau et la pression.

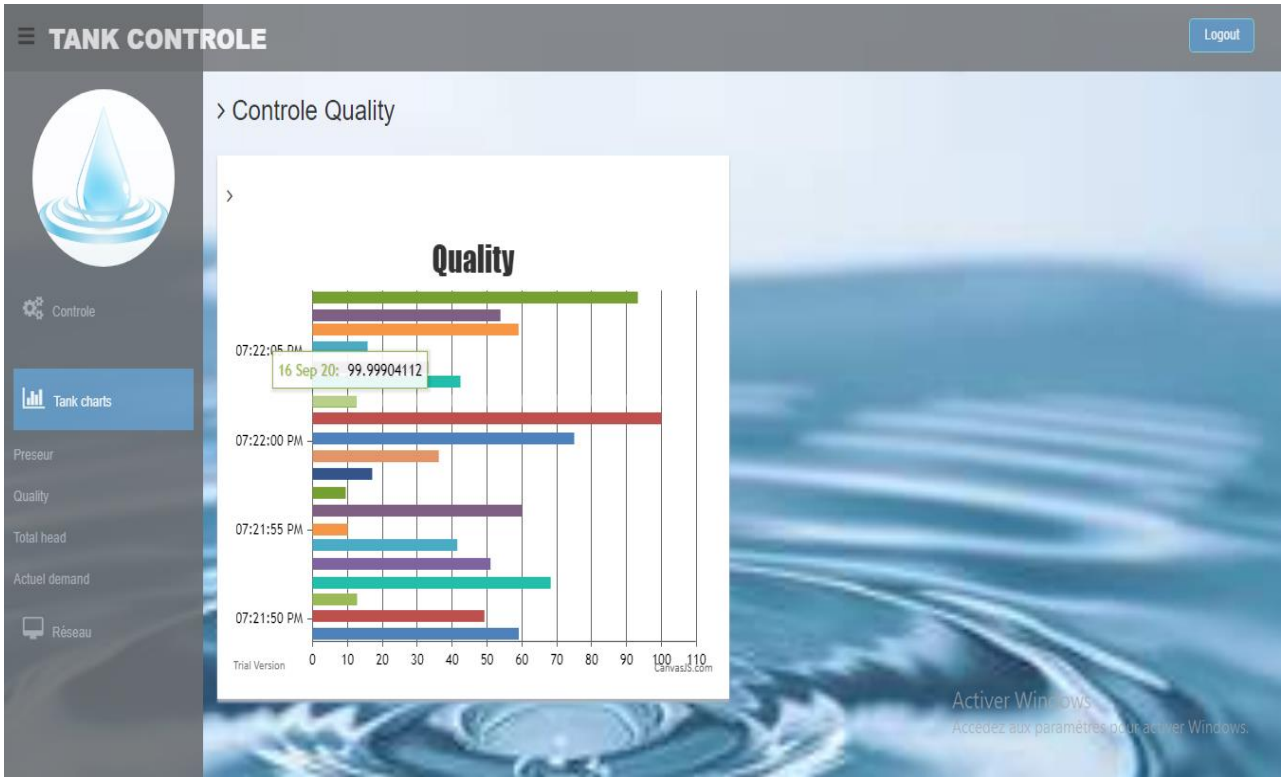


Figure 4. 20 : interface de graphe Quality en temps réel**.**

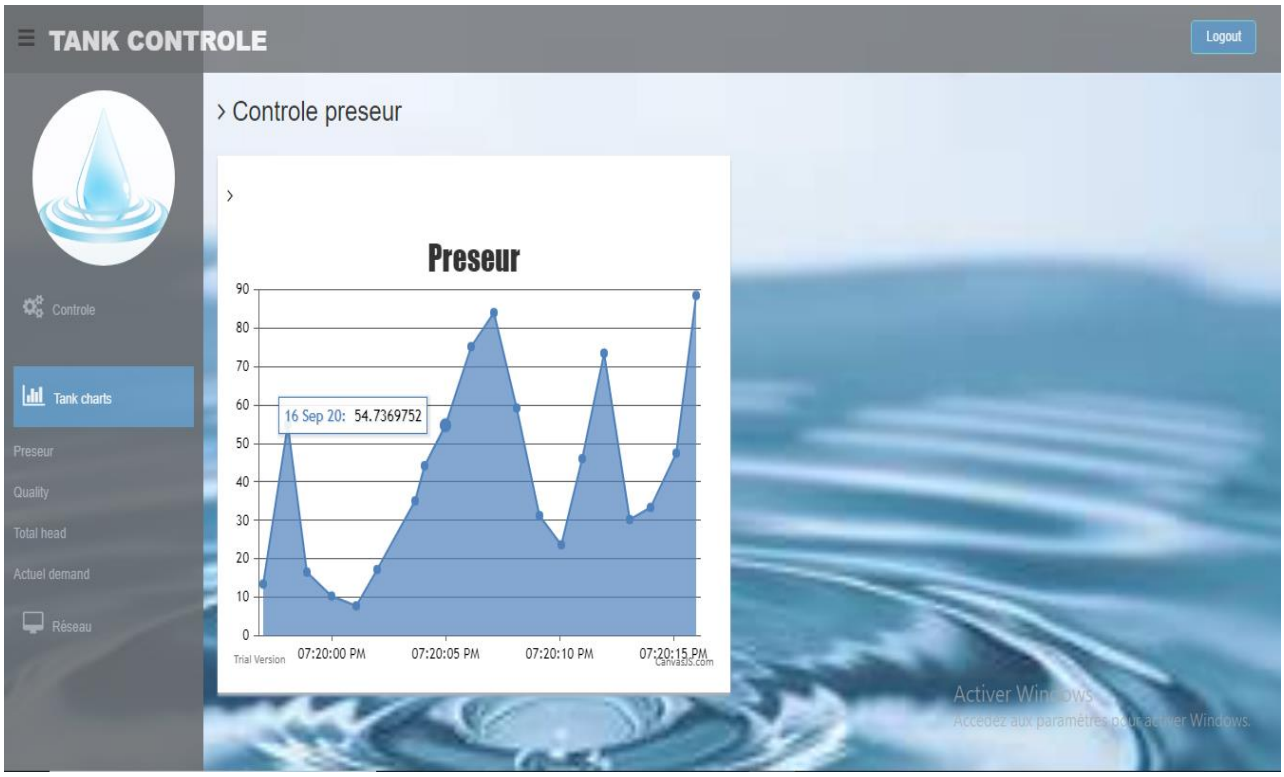


Figure 4. 21 : Interface de graphe Pressure en temps réel**.**

6. Conclusion

A ce chapitre, notre projet d'études atteint sa fin. Nous l'avons consacré à la partie développement de l'application ainsi que pour les étapes de la réalisation d'une interface de supervision et de télégestion en temps réel d'un réseau de distribution d'eau.

Nous avons présenté en détails la réalisation de notre projet, où nous avons décrit la transformation des composants du réseau de distribution d'eau en objets crées dans la plateforme des jumeaux numériques. Enfin, nous avons décrit les interfaces de l'application « jumeau numérique » pour contrôler et superviser le réseau.

Conclusion générale

Dans le cadre de notre projet, nous avons réalisé un jumeau numérique pour un réseau de distribution d'eau pour permettre de déterminer les propriétés de systèmes d'eau qui ne peuvent pas être mesurées directement, telles que l'âge ou la vitesse de l'eau, etc .La mise à jour continue des jumeaux numériques avec des données opérationnelles mesurées sert à donner une image plus complète du système pour augmenter la sécurité physique, et aider l'utilisateur à déterminer l'emplacement des fuites potentielles(Détecter les anomalies)pour réduire la perte d'eau., Cela permettre aussi de surveiller les installations. En plus les organisations peuvent éviter les problèmes, éviter les temps d'arrêt, essayer de nouvelles opportunités commerciales, afin d'assurer un fonctionnement plus régulier (donner une bonne production), plus économique et améliorer les performances et l'efficacité de réseau assurer la visualisation du réseau.

Nous avons profité de la technologie d'Internet des objets afin de pouvoir contrôler le réseau à distance grâce à une application web développée ainsi dans le cadre de notre projet. L'utilisateur pourra donc à son tour contrôler des paramètres tels statut d'une pompe et la vitesse d'une pompe, etc .Afin d'optimiser les performances du système, en utilisant son application web.

Durant la préparation de notre projet de fin d'étude, nous avons essayé de mettre en pratique les connaissances acquises durant nos cinq années d'études universitaires et cela dans le but de réaliser un modèle de réseau d'eau intelligent (un système de télégestion d'un réseau de distribution), et de développer une application permettant de faciliter la gestion des informations.

On a pris le plaisir de travailler sur ce thème, par ce qu'il consiste l'avenir du domaine des réseaux de distribution d'eau algérien. Cette idée est un système qui peut aider à améliorer la gestion d'un réseau de distribution d'eau en facilitant la gestion des informations effectué par l'application développée.

Notre projet était en relation avec plusieurs autres domaines comme l'électronique appliquée, l'hydraulique et l'informatique ce qui nous a permis d'acquérir beaucoup d'informations en le réalisant.

Enfin, on espère que ce projet pourra attendre les objectifs visés qui cherche d'acquérir une connaissance approfondie du comportement du réseau, en simulant en temps réel ce qui se passe à chaque instant et à tout moment, d'avoir un bon fonctionnement du réseau, de détecter les alertes.

d’améliorer leur contrôle et leur visualisation via son jumeau numérique, et d’évité le maximum des problèmes qu’on a l’habitude de les trouvés dans les réseaux de distribution d’eau en général. Perspective Notre réalisation est encore d’actualité et ne s’arrête pas à ce niveau. En effet il y a plusieurs perspectives qui sont ouvertes qui peuvent être résumes en deux points suivantes :

• Le premier point consiste à créer une application qui permet de collecter, d'optimiser et de traiter les données du système à l'aide de l’apprentissage automatique afin de prédire une éventuelle défaillance à partir de la base de donnes des alarmes.

• Le deuxième point consiste à permet au DT de reproduire n'importe quel scénario passé, ainsi que de simuler en temps réel et d'obtenir l'évolution prévue du futur proche.

ANNEXE

Annexe1

Epanet

1. Historique

Le logiciel Epanet est né suite à une initiative du Congrès des Etats–Unis qui visait à protéger les ressources naturelles du pays. Dès lors, l'EPA (US Environnemental Protection Agency) a été chargée de développer des techniques permettant de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l'eau dans un réseau d'adduction d'eau potable. Depuis 1993, le logiciel est disponible gratuitement pour tous les bureaux d'études et les sociétés d'affermage qui souhaitent l'utiliser. Enfin, le logiciel a connu des améliorations depuis sa création. La dernière version date de l'année 2001 [43].

2. Définition D'Epanet

Epanet est une application logicielle utilisée dans le monde entier pour modéliser les réseaux de distribution d'eau. Il a été développé comme un outil pour comprendre le mouvement et le devenir des constituants de l'eau potable dans les réseaux de distribution, et peut être utilisé pour de nombreux types d'applications dans l'analyse des systèmes de distribution. Aujourd'hui, les ingénieurs et les consultants utilisent Epanet pour concevoir et dimensionner de nouvelles infrastructures hydrauliques, rénover des infrastructures vieillissantes existantes, optimiser le fonctionnement des réservoirs et des pompes, réduire la consommation d'énergie, étudier les problèmes de qualité de l'eau et se préparer aux urgences. Il peut également être utilisé pour modéliser les menaces de contamination et évaluer la résilience aux menaces de sécurité [44].

3. Objectif d'Epanet

Epanet a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de L'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution.

Epanet fournit un environnement intégré pour l'édition de données de réseau, pour l'exécution de simulations hydrauliques et de simulations qualité, et pour l'affichage des résultats sous plusieurs formats (des fichiers, des cartes avec des codes couleurs, des tableaux et des graphiques) [29].

4. Caractéristique principales du logiciel

- ❖ Logiciel gratuit.
- ❖ Dimensionnement de réseaux.
- ❖ Taille de réseau illimitée.
- ❖ Choix de différentes formules de calcul des pertes de charge.
- ❖ Régulation des pressions dans le réseau.
- ❖ Simulation de pompes à vitesse fixe ou variable.
- ❖ Calcul de l'énergie consommée et coût.
- ❖ Simulation de différents types de vannes et clapets.
- ❖ Géométrie des réservoirs aux formes variées possible.
- ❖ Détection des zones de fonctionnement déficitaire [43].

5. Modélisation de réseaux de distribution d'eau dans Epanet

Pour modéliser un réseau de distribution d'eau nous devons utiliser des composants, etchaque composant possède ses propres caractéristiques et a une utilité particulière :

- Jonction (ou Nœud de demande) : Ce sont des points du réseau où les arcs se rejoignent. Ce sont des points d'entrée ou de sortie d'eau et peuvent ne pas avoir de débit. Les données d'entrée minimales pour les nœuds de demande sont : l'altitude au dessus d'un plan de référence (généralement le niveau de la mer), la demande en eau et la qualité de l'eau initiale.

- Bâcheinfinie : Ce sont des nœuds représentant une source externe de capacité infinie permettant de modéliser des lacs, des couches d'aquifère ou encore des arrivées d'eau extérieures. Les données de base pour la bâche infinie sont la charge totale et la qualité initiale de l'eau.

- Réservoir : Ce sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau stocké peut varier au cours du temps. Les données de base pour les réservoirs sont : l'altitude du radier, le diamètre, le niveau initial, minimal et maximal de l'eau et la qualité initiale de l'eau.

- Tuyau: Ce sont des arcs qui transportent l'eau d'un point du réseau à un autre. EPANET suppose que tous les tuyaux soient peins à tout instant. L'eau s'écoule alors de l'extrémité qui a la charge hydraulique la plus élevée à celle qui a la charge hydraulique la plus faible.

Les données de base pour les tuyaux sont : les nœuds initial et final, le diamètre, la longueur, le coefficient de rugosité et l'état (ouvert, fermé ou avec clapet anti-retour).

- Pompe : Les pompes sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique.Les principaux paramètres d'entrée sont : ses nœuds d'aspiration et de décharge et sa courbe caractéristique. Si on n'utilise pas de courbe caractéristique, la pompe est représentée comme un élément qui fournit une puissance constante au fluide pour toutes les combinaisons.
- Vanne : Les vannes sont des arcs qui limitent la pression ou le débit en un point précis du réseau. Les principaux paramètres d'entrée sont : les nœuds d'entrée et de sortie, le diamètre, le type de vanne, la consigne de fonctionnement et l'état de la vanne.

Grâce à tous ces éléments nous pouvons construire un modèle (réseaux). Un réseau doit au moins contenir un réservoir ou une bâche infinie devant être relié à l'aide d'une conduite à une jonction. [45]

Annexe 2

1. Fichier INP

Les fichiers Epanet sont des fichiers .net (interface graphique) ou .inp. Le fichier .inp est un fichier « plat » lisible sous Excel ou Blocnote et regroupe toutes les données descriptives du modèle (les attributs de chaque objet du modèle, le géo référencement et les options). Il est composé de chapitres dont le contenu est décrit ci-dessous :

-[JUNCTIONS] : Description des nœuds : identifiant, altitudes, 1ère catégorie des demandes de base, identifiant de la courbe de modulation de la 1ère catégorie de la demande de base, contenu du champ DESCRIPTION.

- [RESERVOIRS] : Description des bâches : identifiant, charge hydraulique totale et la courbe de modulation de la charge totale, contenu du champ DESCRIPTION.

- [TANKS] : Description des réservoirs : identifiant, altitude du radier, niveau initial, niveau minimum et maximum de l'eau, leurs diamètres ainsi que leurs volumes minimums, contenu du champ DESCRIPTION.

- [PIPES] : Description des tronçons : identifiant, identifiant du nœud amont, identifiant du nœud aval, longueur, diamètre, rugosité, coefficient de perte de charge singulière, état actuel (ouverts ou fermés), contenu du champ DESCRIPTION

- [PUMPS] : Description des pompes : identifiant, identifiant du nœud d'aspiration, identifiant du nœud de décharge, contenu du champ DESCRIPTION.

- [VALVES] : Description des vannes : identifiant, identifiant du nœud amont, identifiant du nœud aval, diamètre, types, consignes, coefficients de pertes de charges, contenu du champ « DESCRIPTION ».

- [TAGS] : Contenu du champ «TAG» regroupé par nœud puis par arc. L'identifiant de l'objet est précédé de son type « NODE » ou « LINK ».

- [DEMANDS] : Récapitulatif de toutes les demandes de base renseignées sur chaque nœud du modèle Identifiant du nœud, valeur de la demande de base.

- [STATUS] : Description de tous les arcs fermés, ouvert ou en régulation o Identifiant de l'arc, état

- [PATTERNS] : Description de toutes les courbes de modulation et de tous leurs coefficients.

- [CURVES] : Description de toutes les courbes définies dans Epanet (PUMP, VOLUME, …).

- [CONTROL] : Description de toutes les règles de fonctionnement des ouvrages dans Epanet.

- [ENERGY] : Description des options de calculs des couts énergétiques (rendement moyen des groupes de pompage, prix de l'énergie, courbe de modulation standard du prix du kWh).
- [EMITTERS], [QUALITY], [SOURCES], [REACTIONS], [MIXING] : ces chapitres ne sont pas détaillés ici car ils ne seront pas utilisés dans cette expression de besoin.
- [TIMES] : Description de tous les pas de temps du modèle : durée de la simulation, pas de temps du calcul hydraulique et qualité, pas de temps des courbes de modulation, réalisation d'un calcul statistique
- [OPTIONS] : Description des options de calcul du modèle : choix du système métrique, équation de pertes de charge, mais également un coefficient multiplicatif de l'ensemble des demandes de base.
- [COORIDNATES] : Description de tous les couples de coordonnées (X,Y) de chaque nœud du modèle.
- [VERTICES] : Description de tous les couples de coordonnées (X,Y) de chaque sommet (ou nœud graphique) des arcs du modèle.[43]

La figure : représente le fichier.inp après l'exportation de d'un réseau de distribution d'eau (network) qui contient toutes les informations sur les éléments du réseau.

```
[TITLE]

[JUNCTIONS]
;ID              Elevation       BaseDemand      DemandPattern   ;Description
 1               0                               ;
 2               0                               ;
....
 418             0                               ;

[PIPEs]
;ID     Node1   Node2   Length          Diamter   Roughness   LossCoefficient   InitialStatus   ;Description
 0       1       2       82.543571112    200       0                 ;
 1       3       4       72.4318000756   125       0                 ;
 2       5       6       30.4882375621   100       0                 ;
....
442     412     408     787.113622073   200       0                 ;


[COORDINATES]
;Node            X-Coord             Y_Coord
 1               554342.79           173723.31
....
418              554494.55           173576.82

[VERTICES]
;Link            X_Coord             Y_Coord
 0               554313.71           173681.53
 1               554330.48           173291.03
 1               554313.02           173266.99
 1               554304.13           173254.97
 1               554293.64           173241.65
 1               554293.17           173240.28
 1               554293.09           173240.04
 2               554292.75           173562.88
 2               554296.18           173567.96
 2               554297.72           173570.54
 2               554301.84           173575.75
....
 442             554967.98           173738.24
 442             554975              173750
 442             554975.08           173750.15
 442             555000              173800
 442             555014.53           173836.82
 442             555055.59           173909.37

[END]
```

Figure A. 1: Exemple d'un fichier.inp.

Bibliographie

[1] https://www.innovyze.com/en-us/blog/the-digital-twin-in-water-infrastructur consulter le 25/5/2020

[2] https://fr.wikipedia.org/wiki/Distribution_d%27eau consulter le 28/5/2020

[3] https://worldwatertechnorthamerica.com/innovyze/ consulter le 28/5/220

[4] Introduction à l'internet des objets (IdO – IoT) Yassine HADDAB

[5] https://www.challenge.org/insights/internet-of-things-vs-digital-twin/ consulter le 28/5/2020

[5] https://www.kwrwater.nl/en/projecten/digital-twin-demonstrator/

[7] http://silanus.fr/sin/?p=984 consulter le 2/6/2020

[8] https://projetsdiy.fr/category/objets-connectes/node-red-raspberrypi-iot/

[9] https://www.tutorialspoint.com/internet_of_things/index.html consulter le 15/6/2020

[10] Formation Internet OfEverythings, https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/IoE11 /FR/index.html#1.1.2.

[11] L'internet des objets-Part1-les réseaux de communication October 2016 Revue de l Electricité et de l Electronique Revue de l'Electricité et de l'Electronique(REE 2016-4):106-115

[12] CHALLAL, Yacine. Sécurité de l"Internet des Objets : vers une approche cognitive et systémique. Thèse de doctorat : Technologies de l"Information et des Systèmes. France : Juin 2012, 78

[13]https://www.zdnet.fr/blogs/green-si/connaissez-vous-votre-jumeau-numerique-digital-twin-39847818.html

[14] Définition Jumeau Numérique – Alliance Industrie du Futur – Janvier 2019

[15] DAVE, Evans. L"Internet des objets Comment l"évolution actuelle d"Internet transforme-t-elle le monde ?.Avril 2011, 12 p. (Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)

[16] http://techmoka.com/lentillesconnectees- samsung/ consulter le 29/6/2020

[17] https://metalblog.ctif.com/2019/09/02/les-jumeaux-numeriques/ consulter le 6/7/2020

[18] https://www.kwrwater.nl/en/projecten/digital-twin-demonstrator/ consulter le 6/7/2020

[19] https://www.eclipse.org/ditto/intro-overview.htm l consulter le 6/7/2020

[20] http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php/les-cycles-de-l-eau/le-petit-cycle-de-l-eau [20] consulter le 6/7/2020

[22]https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-production-deau-potable / consulter le 16/7/2020

[23]http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=reseaux-eau&action=imprimer&fbclid=IwAR3m8hDDT7oXW2Xz2KsKkDknbH4ovHq8I3I4YazgeXJYBsvB4sOTqm7XJa8

[24] Building and exploiting a Digital Twin for the management of drinking water distribution networks

[25]https://www.researchgate.net/publication/340236600_Development_and_Use_of_a_Digital_Twin_for_the_Water_Supply_and_Distribution_Network_of_Valencia_Spain consulter le 16/7/2020

[26] https://www.kwrwater.nl/en/projecten/digital-twin-demonstrator/ consulter le 16/7/2020

[27] https://www.dunforce.com/fr/5-raisons-dopter-pour-lautomatisation-au-sein-de-votre-societe//

[28] https://hydro-blog.com/5-meilleurs-logiciels-aep/

[29] https://www.arnalich.com/epanetes/descargas/Epanet_fr.pdf consulter le 16/7/2020

[30] https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_cas_d%27utilisationconsulter le 30/7/2020

[31]http://laurent-audibert.developpez.com/Cours-UML/?page=diagramme-classes consulter le 16/7/2020

[32]:Yohann Richarde, Modélisation avec UML, Février 2000

[33] https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/API/EventSource

[34] https://developer.mozilla.org/fr/docs/Tutoriel_canvas consulter le 22/8/2020

[35] https://developer.mozilla.org/fr/docs/Web/API/WebSockets_API

[36] https://techterms.com/definition/python consulter le 22/8/2020

[37] https://techterms.com/definition/html consulter le 22/8/2020

[38] http://glossaire.infowebmaster.fr/javascript/ consulter le 22/8/2020

[39]https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203597-php-hypertext-preprocessor-definition/ consulter le 22/8/2020

[40] https://techterms.com/definition/css consulter le 22/8/2020

[41] https://getbootstrap.com/docs/4.0/content/typography/ consulter le 22/8/2020

[42] https://fr.wikipedia.org/wiki/WampServer consulter le 22/8/2020

[43] SYLVAIN G., 2007, Modélisation sur le logiciel EPANET du réseau d'eau potable de la commune d'URRUGNE5(064)

[44]https://www.epa.gov/water-research/epanet consulter le 12/7/2020

[45] http://hmf.enseeiht.fr/travaux/beiepe/book/export/html/1002 consulter le 12/7/2020

[46]https://www.google.com/search?q=L%E2%80%99utilisation+de+l%E2%80%99Internet+des+objets&rlz=1C1YQLS_enDZ911DZ911&sxsrf=ALeKk02rZmDgptRGcytDzGo6_TuNt0YDSg:1602682723302&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwj-u6

[47]https://www.google.com/search?q=eclipse+ditto&rlz=1C1YQLS_enDZ911DZ911&sxsrf=ALeKk018um50PYCPIED9eUr_NQ7pHaLs1A:1602683715364&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjnkKqMnrTsAhVGyhoKHQuND_oQ_AUoAXoECAwQAw&biw=1600&bih=757