République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Yahia Farés - Médéa



Faculté des Sciences

Département de Mathématiques et Informatique

Mémoire de Fin d'Etudes de Master

Filière : Informatique

Spécialité : Ingénierie des Systèmes et Technologie du Web

Thème

Conception et développement d'un jumeau numérique pour le contrôle et la Supervision des lits d'hôpital intelligents

Proposé et Dirigé Par:

- Dr. RAHIM Messaoud

Réalisé Par:

- CHERAI Karim
- BELARIBI Saad

Année Universitaire : 2020 / 2021

Dédicace

Avant tout, je remercie le grand Dieu, qui nous a aidés à élaborer ce modeste travail.

J'ai l'immense honneur de dédier ce modeste travail :

A mon très cher père rahimahouh Allah et à ma très chère mère qui étaient présents pour moi durant toute ma vie.

A ma chère femme et mes enfants Mohamed Tayeb et Maria.

A mes frères et mes sœurs :

Amina , Anaoure, Abdelkaderet Abdallah

A toute la famille CHERAI sans exception.

A mes amis : Hannachi Abdelmalek, Othmani fethi ,Elhachmi Habib,HAMZA Tarek, Abdelkader, Abdellah, Imad, chamso,Mustapha, Mohamed.

A mon binôme BELARIBI Saad.

A tous ceux qui j'aime, tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui me sont chers.

A tous les professeurs et les enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mes études universitaires.

A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire.

A toute la promotion ISTW 2021.

CHERAI Karim

Dédicace

Avant tout, je remercie le grand Dieu, qui nous a aidés à élaborer ce modeste travail.

J'ai l'immense honneur de dédier ce modeste travail :

A mes très chers parents qui étaient présents pour moi durant toute ma vie.

A mes frères et mes sœurs.

A toute la famille BELARIBI sans exception.

A mes amis .

A mon binôme CHERAIKarim.

A tous ceux qui j'aime, tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui me sont chers.

A tous les professeurs et les enseignants qui ont collaboré à ma formation depuis mon premier cycle d'étude jusqu'à la fin de mes études universitaires.

A tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire.

A toute la promotion ISTW 2021.

BELARIBI Saad

Remerciement

Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier de tout cœur notre encadreur Monsieur Dr. RAHIM Messaoud et témoigner toute notre reconnaissance pour ses conseils judicieux, de ses remarques objectives et surtout de sa gentillesse permanente.

Nous remercions les enseignants et orienteurs : Dr. MAZARI Redha, Dr. BOUHEDDA Mounir, Dr. BAILICHE Mohammed Amine, Dr. KARA BERRNOU Mohamed, Dr. HAROUN Omar et tous les enseignants qui ont contribués à notre formation, et ainsi tous les gens de prés et de loin qui ont aidé à l'élaboration de ce sujet et à tous nos professeurs et travailleurs de l'université YAHIA FARES –MEDEA.

Enfin, nos chers parents et familles, nous leurs présentons l'expression de nos remerciements les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifices, aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation de Master dans les meilleures conditions.

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 lits d'hôpital, nous basons sur la modélisation automatisée pour développer le jumeau numérique. Dans cette démarche, nous utilisons la plateforme (Eclipse Ditto) pour la création des jumeaux numériques. Pour aider les acteurs de la santé pour contrôler et superviser l'état des patients à distance et aussi l'état des lits, nous avons conçu et développé une application web permettante de supporter toutes les étapes de la démarche proposée.

Mots clé : Jumeau Numérique, Système Supervisé, IoT, Santé, Patient, Eclipse Ditto.

Abstract

A digital twin is a virtual image of a physical system. This work aims to improve the development process of digital twins concerning hospital beds, we base on automated modeling to develop the digital twins. In this approach, we use the platform (Eclipse Ditto) for the creation of digital twins. To help healthcare stakeholders to remotely control and supervise the condition of patients and also the condition of beds, we have designed and developed a web application to support all stages of the proposed approach.

Keywords: Digital Twin, Supervised System, IoT, Health, Patient, Eclipse Ditto.

ملخص

إنّ التوأم الرقمي هو صورة افتراضية لنظام مادي. يهدف هذا العمل إلى تحسين عملية تطوير التوائم الرقمية المتعلقة بـأسِرّة المستشفيات، ونعتمد على نمذجة أوتوماتيكية لتطوير التوأم الرقمي للشبكة. في هذه المنهجية، نستخدم النظام (Eclipse Ditto) لإنشاء التوائم الرقمية. الهدف من التطبيق هو مساعدة عمال قطاع الصحة على التحكم عن بعد والإشراف على حالة المرضى وكذلك حالة الأسِرّة، حيث قمنا بتصميم وتطوير تطبيق ويب لدعم كل المرحلة ضمن هذه المنهجية.

الكلمات الدالة: التوأم الرقمي، النظام الخاضع للإشراف، إنترنت الأشياء، الصحة، المريض، إيكليبس ديتو.

Sommaire

Sommaire ..... **V**
Liste des Abréviations ..... **VIII**
Liste de Figures ..... **IX**
Introduction Générale **1**
Chapitre I : Jumeaux Numériques **3**
I. Introduction 4
II. Objets connectés 4
II.1. Fonctionnement des objets connectés 4
II.2. Caractéristiques d'un objet connecté 4
III. Internet des objets 5
III.1. Architecture d'IoT (internet of things) 5
III.2 Enjeu majeur de l'IoT 6
IV. Jumeau numérique 7
IV.1. Composants d'un jumeau numérique 7
IV.2. Types des jumeaux numériques 8
IV.3. Avantages des jumeaux numériques 9
IV.4. Domaines d'application des jumeaux numériques 9
V. Technologies et outils utilisées pour les jumeaux 11
V.1. Node-red 11
V.1.1. Editeur Node-red 11
V.1.2. Principe de la programmation Node-RED 12
V.1.3. Avantage de Node-red 12
V.2. Plate forme Eclipse DITTO 13
V.2 .1. Architecteur de Eclipse DITTO 13
V.2.2. Caractéristique principale d'Eclipse Ditto 14
V.2.3. Protocoles de communications utilisées par Eclipse ditto 14
VI. Conclusion 17
Chapitre II : Lits d'Hôpital Intelligent **18**
I. Introduction 19
II. Lit médical 19

II.1. Historique des lits d'hôpital 19
II.2. Différents modèles de lits et table 20
II.2.1. Lit d'hôpital standard : 20
II.2.2. Table d'opération : 21
II.2.3. Couveuse bébé : 21
II.3. Lit d'hôpital ordinaire 22
III. Lit d'hôpital intelligent 24
III.1. Principe et fonctionnement des lits intelligent 25
III.2. Des avantages et des inconvénients du lit intelligent 26
IV. Capteurs 26
V. Actionneurs 30
VI. Conclusion 33
Chapitre III : Conception 34
I. Introduction 35
II. Architecture globale de la solution proposée 35
III. Modélisation des lits intelligents 36
IV. Jumeau numérique 37
V. Model du jumeau numérique 39
VI. Application de supervision à travers les jumeaux numériques 43
VI.1. Diagramme de cas d'utilisation 44
VI.2. Diagramme de séquence 46
VI.2.1. Diagramme de séquence pour «Authentification» 46
VI.2.2. Diagramme de séquence pour «La création des things» 47
VI.2.3. Diagramme de séquence pour supervision «jumeau numérique» 48
VI.2.4. Diagramme de séquence pour contrôle «jumeau numérique» 49
VI.3. Intégration avec le système des lits d'hôpital intelligent : 50
VII. Conclusion 50
Chapitre IV : Implémentation 51
I. Introduction 52
II. Environnement d'implémentation 52
II.1. Plateforme des jumeaux numériques 52
II.2. Liaison des lits d'hôpital au jumeau numérique 53

II.3. Application Web 54
II.3.1. Interface d'authentification 55
II.3.2. Interface d'accueil 56
II.3.3. Interface de création des lits d'hôpital intelligents 56
II.3.4. Interface de supervision des lits d'hôpital intelligent 57
II.3.5. Interface de supervision et contrôle de lit 58
II.3.6. Interface de mise à jour du lit d'hôpital intelligent 58
II.3.7. Interface d'affectation de patient dans le lit d'hôpital intelligent 59
II.3.8. Interface de supervision et contrôle de patient dans le lit d'hôpital intelligent . 60
III. Conclusion 61
Conclusion Général 63
Bibliographie 65

Liste des Abréviations

CSS : Cascading Style Sheets

HTML : Hypertext Markup Language

IOT : Internet Des Objets

M2M : Model to Model

PHP : Hypertext Preprocessor

HTTP : Hypertext Transfer Protocol

MQTT : (Message Queuing Telemetry Transport)

AMQP: Advanced Message Queuing Protocol

Liste de Figures

Figure I.1. Architecture d'IOT 6
Figure I.2. Interagir entre le monde physique et le monde numérique. 6
Figure I.3. Processus de fabrication modèle de jumeau numérique. 8
Figure I.4. Éditeur Node-RED. 12
Figure I.5. Architecteur de ditto. Architecteur de ditto. 14
Figure I.6. Les protocoles utilisés par la plateforme Eclipse Ditto. 15
Figure I.7. Le protocole MQTT. 16
Figure I.8. Le protocole Websocket. 16
Figure I.9. Le protocole AMQP. 17
Figure II.1. Lit médicalisé standard. 20
Figure II.2. Table d'opération. 21
Figure II.3. Couveuse bébé. 22
Figure II.4. Un Lit médical ordinaire. 23
Figure II.5. Lit médical intelligent. 24
Figure II.6. Ecran tactile pour un lit d'hôpital intelligent. 25
Figure II.7. Nœuds des capteurs sur le corps humain. 27
Figure II.8. Capteur de température et d'humidité « DHT11 ». 28
Figure II.9. Capteur de fréquence cardiaque et d'oxygène « oxymétrie MAX30102 ». 28
Figure II.10. Capteur ultras violet. 29
Figure II.11. Capteur de niveau d'eau ML5211. 29
Figure II.12. Capteur de poids. 30
Figure II.13. Chauffage. 30
Figure II.14. Humidificateur. 31
Figure II.15. Lampe Ultraviolet. 32
Figure II.16. Chauffage. 32
Figure III.1. Architecture de la solution proposée. 36
Figure III.2. Modèle de blocs du lit intelligent. 37
Figure III.3. Modèle de blocs du lit intelligent. 38
Figure III.4. Représentation d'objet. 40
Figure III.5. Représentation l'objet avec les fonctionnalités. 40
Figure III.6. Représentation des fonctionnalités. 41
Figure III.7. Modèle jumeau numérique d'un lit intelligent 42

Figure III.8. Exemple de format de JSON du jumeau numérique de lit d'hôpital. 43
Figure III.9. Diagramme de cas d'utilisation. 45
Figure III.10. Diagramme de séquence pour «Authentification». 46
Figure III.11. Diagramme de séquence pour «La création des things». 47
Figure III.12. Diagramme de séquence pour supervision «jumeau numérique». 48
Figure III.13. Diagramme de séquence pour contrôler «jumeau numérique». 49
Figure IV.1. Interface principale de l'API Eclipse Ditto. 52
Figure IV.2. Interface principale de la plateforme d'Eclipse Ditto. 52
Figure IV.3. Connexion avec les lits d'hôpital intelligents. 53
Figure IV.4. Connexion avec les actionneurs du lit d'hôpital intelligent. 54
Figure IV.5. Positionnement de l'application dans l'architecture global de notre solution. 55
Figure IV.6. Interface d'authentification. 55
Figure IV.7. Interface d'accueil de l'application web. 56
Figure IV.8. Interface de création de lits d'hôpital intelligents 57
Figure IV.9. Représente la liste globale des lits d'hôpital intelligents. 57
Figure IV.10. Un exemple de supervision d'un lit d'hôpital intelligent. 58
Figure IV.11. Un exemple de mise à jour sur un lit d'hôpital intelligent. 59
Figure IV.12. Représente l'affectation de patient sur un lit d'hôpital intelligent. 60
Figure IV.13. Supervision d'un patient à travers un lit d'hôpital intelligent. 60

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Grâce au développement technologique dans le domaine de l'Internet des Objets (IoT) et à travers l'apparition du concept de jumeau numérique, on assiste au développement de système cyber-pysique contenant des parties physiques reliées et commandes par des parties informatiques. Le concept de jumeau numérique est devenu de plus en plus important. De plus, les systèmes sont devenus plus complexes, mais avec la capacité de présenter des données et avoir un équivalent numérique, les experts ont la possibilité d'optimiser les déploiements pour une productivité plus élevée.

L'avance de technologie en terme de l'internet des objets a permis au domaine de la santé de réaliser des progrès importants, en particulier l'utilisation des lits d'hôpital intelligents. Ces derniers embarquent des composants électriques (des capteurs et des actionneurs) permettant le contrôle et la supervision du lit à distance (ou via internet). Malgré cet avancé, la gestion et la supervision de ces lits intelligents avec les patients reste un défi dans le manque d'une application permettant la supervision el la gestion de ces lits dans le cadre des prestations de santé fournies (services d'hospitalisation, état de santé du malade, …)

Dans ce contexte, nous proposons une démarche pour le développement des jumeaux numériques concernant des systèmes de lits d'hôpital. Celle-ci est basée sur une ingénierie système dirigée par les modèles. L'idée consiste à exploiter la modélisation du lit d'hôpital pour construire et générer son jumeau numérique.

Dans ce travail, nous proposons de développer une application basée sur les jumeaux numériques des lits d'hôpital pour permettre aux acteurs d'un hôpital de gérer et superviser les lits et leurs composants ainsi que les patients sur le lit.

Le mémoire est organisé en quatre chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous expliquons le concept de jumeaux numériques en détail. Quant au deuxième chapitre, il s'agira de présenter le lit d'hôpital intelligent et principe de fonction avec les capteurs et les actionneurs. Le troisième chapitre présentera la méthodologie proposée avec toutes les étapes du développement d'un lit intelligent numérique. Et le quatrième chapitre présente l'application et ses principales fonctions à travers des topiques la conception des jumeaux numériques, le lit intelligent ainsi que l'application de supervision et de gestion.

Chapitre I : Jumeaux Numériques

I. Introduction

Avec l'apparition de l'Internet des objets (IOT) et son utilisation dans plusieurs domaines pour connecter des objets physiques, une technologie moderne s'appelant « jumeaux numériques » (Digital Twin) est apparait.

Le but de ce chapitre est de donner un aperçu de cette nouvelle technologie. En discutant du concept de « jumeaux numériques », et en expliquant les principes du fonctionnement et ses composants avec des exemples entre autres : certains protocoles de communication, les plateformes destinées à leur développement, ainsi que certains domaines d'application.

II. Objets connectés

Un objet connecté est un objet physique équipé de capteurs ou d'une puce qui lui permettent de transcender son usage initial pour proposer des nouveaux services. Il s'agit d'un matériel électronique capable de communiquer avec un ordinateur, un Smartphone ou une tablette via un réseau sans fil (Wi-Fi, Bluetooth, réseaux de téléphonie mobile, réseau radio à longue portée de type Sigfox ou LoRa, etc.), qui le relie à Internet ou à un réseau local [1].

II.1. Fonctionnement des objets connectés

Les objets connectés sont reliés à Internet (on parle d'ailleurs d'Internet des objets) : ils peuvent donc communiquer avec d'autres systèmes pour obtenir ou fournir de l'information. Cela est rendu possible par la forte miniaturisation des composants électroniques, mais aussi par l'émergence des nouveaux réseaux de télécommunication de type M2M [2]. Par exemple, les capteurs de détection du mouvement permettent à un système de surveillance de lancer l'enregistrement et d'envoyer des alertes.

II.2. Caractéristiques d'un objet connecté

Les caractéristiques d'un objet connecté sont les suivantes [3]:

- **Identification** : est un code qui lui permet d'être identifié parmi d'autres objets connectés.
- **Sensibilité à son environnement** : un objet connecté peut avoir la capacité de communiquer avec son environnement**.**
- **Interactivité :** la connexion en permanence d'un objet connecté à son réseau n'est pas nécessaire, sauf si l'objet a besoin de communiquer des informations à travers le réseau.
- **Représentation virtuelle** : est un programme résidant dans le Cloud pouvant agir au nom d'un objet connecté. Cette représentation est nommée parfois cyber-objet ou agent virtuel.

- **Autonomie** : un objet connecté doit fonctionner indépendamment d'un contrôle à distance.

III. Internet des objets

L'internet des objets, ou IoT (Internet of Things en anglais) peut se définir comme une infrastructure mondiale qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication [4].

L'internet des objets propose d'une part des objets équipés de capteurs (température, pression, luminosité, mesure de consommation, etc.) connectés à internet, dans le but de recueillir à distance de manière régulière des données. D'autre part, le réseau qui permet la connexion et le transport des données produites par les objets connectés est en pleine structuration.

Les objets connectés par un réseau peuvent également interagir entre eux. Reprenant les bases du M2M (machine to machine), ce procédé promet la mise en place d'un écosystème d'objets de logiciels fonctionnant de manière automatisée.

III.1. Architecture d'IoT (internet of things)

L'architecture d'une solution IoT varie d'un système à l'autre en se basant sur le type de la solution à mettre en place [1].

L'architecture la plus élémentaire est une architecture à trois couches :

- **La couche perception** possède des capteurs et actionneurs qui détectent et recueillent des informations sur l'environnement.
- **La couche réseau** est responsable de la connexion, du transport et du traitement des données issues des capteurs et actionneurs.
- **La couche application** est chargée de fournir à l'utilisateur des services spécifiques et applications intelligentes.

La figure I.1 représente l'architecture de l'IoT en trois couches principale :

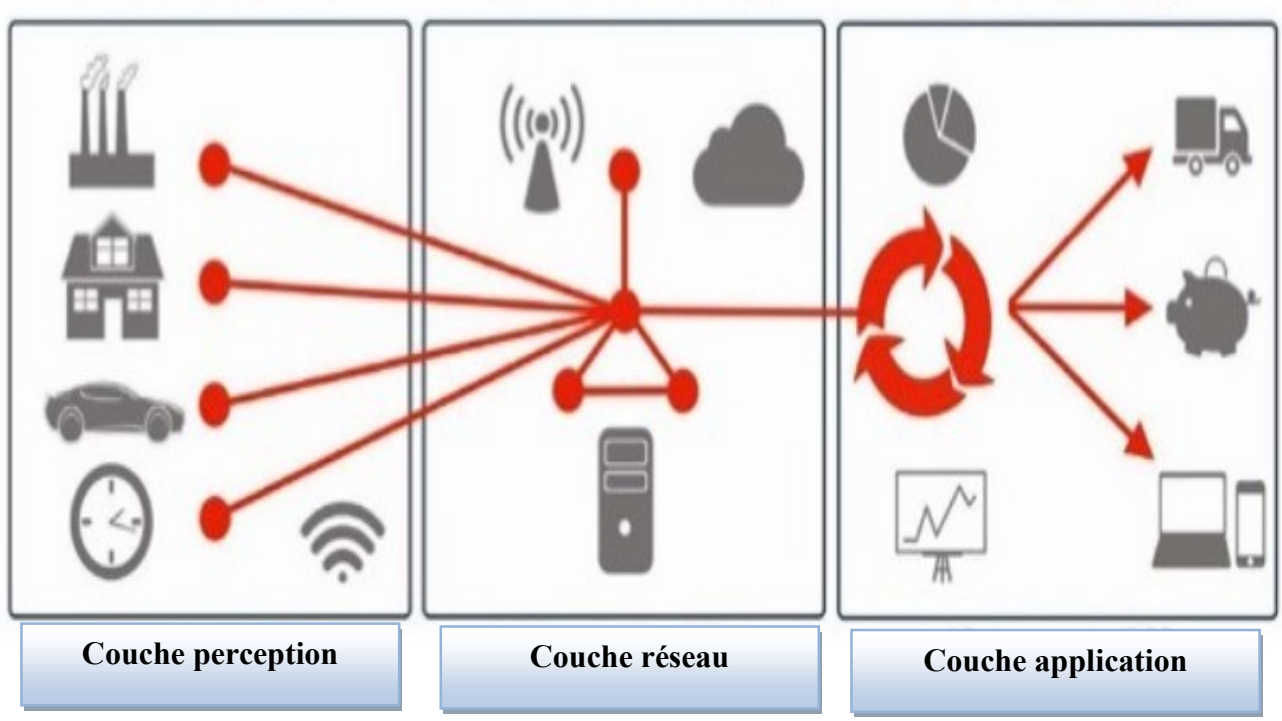


Figure I.1. Architecture d'IOT

III.2 Enjeu majeur de l'IoT

Pour faire interagir ces deux mondes, il convient de mettre en œuvre des moyens permettant à une grandeur physique de renseigner un système informatique et, inversement, des moyens permettant à un système informatique d'agir sur le monde physique (c'est-à-dire : changer son état) [5].

La figure I.2 montre comment faire interagir ces deux mondes :

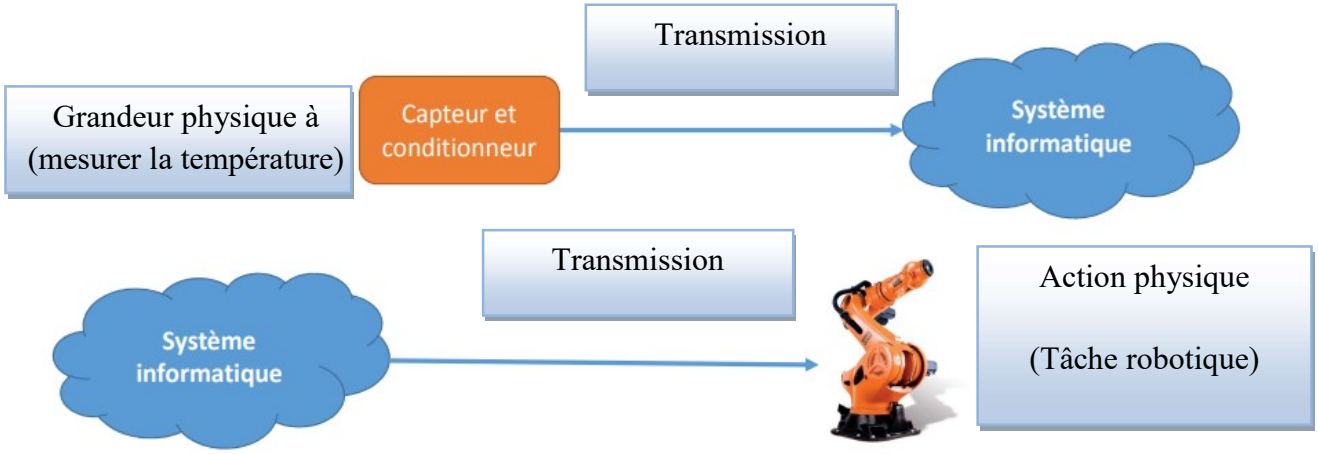


Figure I.2. Interagir entre le monde physique et le monde numérique.

IV. Jumeau numérique

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 supplychain. Suivant le système concerné et l'utilisation souhaitée il peut être un modèle géométrique, multi physique, fonctionnel, comportemental. Il doit évoluer dans le temps comme son jumeau réel [6].

Le jumeau 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 supplychain (modèle as a service). Il permet d'obtenir un gain en qualité des produits en améliorant la correction des processus.

Un jumeau 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 duplicâbles ou transportables.

IV.1. Composants d'un jumeau numérique

La figure I.3 met en évidence la rotation du flux des données entre, d'un côté, la partie réelle (PHYSICAL) qui se compose de capteurs et d'actionneurs, et de l'autre côté, la partie numérique ou virtuelle (DIGITAL) qui est constamment mise à jour [7] .

Les éléments cités ci-dessus sont expliqués comme suit :

- **Les capteurs :** distribués tout au long du processus de fabrication créent des signaux qui permettent au jumeau de capturer des données opérationnelles et environnementales relatives au processus physique dans le monde réel.
- **Données :** Les données opérationnelles et environnementales du monde réel sont agrégées à partir de capteurs et combinées aux données de l'organisation.
- **Intégration :** Les capteurs fournissent des données au monde numérique grâce à la technologie d'intégration entre le monde physique et le monde numérique.
- **Analytique :** Les techniques analytiques sont utilisées pour analyser les données à travers les simulations informatiques et les procédures de visualisation utilisée par le jumeau numérique pour produire des informations.

- **Actionneurs :** Si une action est justifiée dans le monde réel, le jumeau numérique produit l'action au moyen d'actionneurs, soumis à une intervention humaine, qui déclenche le processus physique.

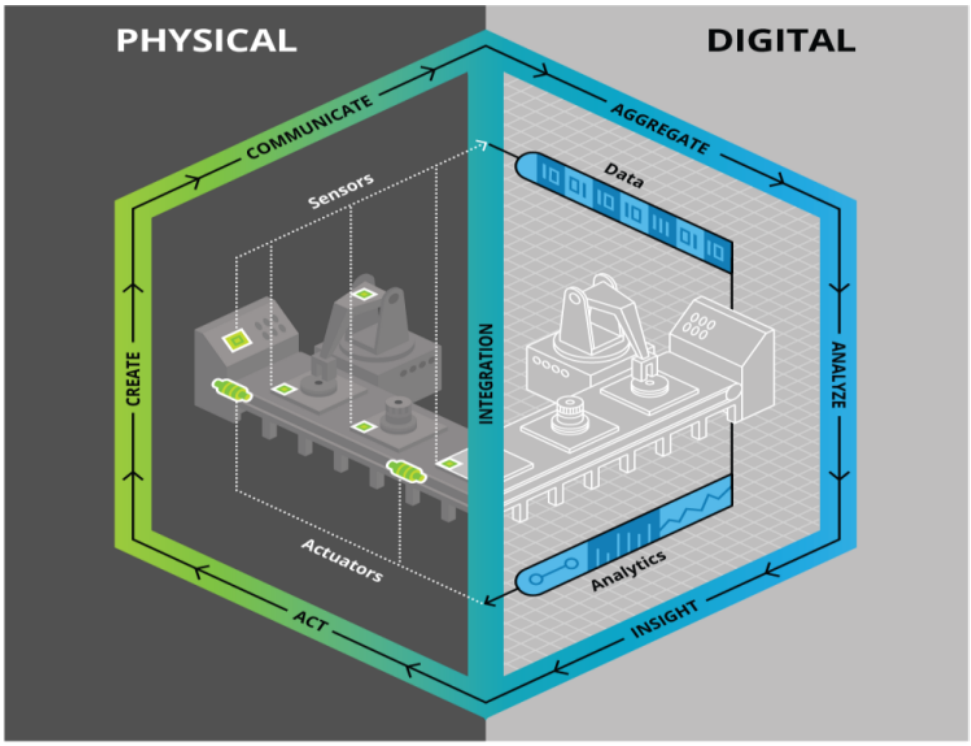


Figure I.3. Processus de fabrication modèle de jumeau numérique.

IV.2. Types des jumeaux numériques

Les différentes variétés de jumeaux numériques peuvent être regroupées en quatre catégories principales [8]:

- **Jumeaux d'actifs :** les jumeaux d'actifs décrivent comment les éléments individuels fonctionnent ensemble dans leur ensemble. d'autre part vous permettent de valider le système complet. Ils peuvent être utilisés pour vérifier la compatibilité entre les composants individuels.
- **Jumeaux système ou jumeaux d'unité :** fonctionnent à un niveau supérieur. Ils combinent divers jumeaux d'actifs individuels et vous offrent la possibilité d'examiner comment ces jumeaux individuels fonctionnent ensemble.
- **Jumeaux de processus :** peut être utilisé pour simuler toute l'opération. Ce n'est qu'à ce niveau que toute la complexité de la surveillance via des jumeaux numériques devient

évidente. Après tout, un processus ne devient fonctionnel et efficace que lorsque toutes les unités, tous les actifs et tous les composants remplissent leur objectif.

- **Jumeaux de composants :** Il s'agit de la forme la plus basique et la plus courante de jumeau numérique. Un jumeau d'un seul composant dans tout le système**.**

IV.3. Avantages des jumeaux numériques

L'utilisation des jumeaux numériques présente de nombreux avantages logistiques qui améliorent la rentabilité de toute la chaîne d'approvisionnement [9].

- **Augmentation de la productivité :** les jumeaux numériques peuvent détecter les goulots d'étranglement et autres difficultés opérationnelles.
- **Identification d'axes d'amélioration** : il est possible d'analyser l'entrepôt dans un cadre virtuel, d'y introduire des éléments ou de modifier des stratégies, puis de les appliquer dans le monde réel afin d'améliorer les processus.
- **Prévenir les erreurs** : grâce aux jumeaux numériques, il est possible d'anticiper et d'éviter les problèmes avant qu'ils ne se posent, évitant ainsi toute interruption d'activité qui aurait pour conséquence un coût économique élevé et une mauvaise image pour la marque. Autrement dit, ils représentent un atout considérable dans l'analyse prédictive de l'activité.
- **Contrôle des stocks** : il est possible d'anticiper la réaction de la chaîne logistique face aux pics de demande, évitant ainsi les ruptures de stocks.
- **Économies** : il est clair qu'en testant une opération dans un milieu virtuel plutôt que directement dans l'entrepôt, on réalise des économies.
- **Suivi de l'activité** : l'essor de l'Internet des Objets (IoT) permet à chaque élément impliqué dans l'entrepôt d'être connecté en permanence et de générer une grande quantité de données (big data) et de pouvoir suivre en temps réel la progression de la chaîne logistique.

IV.4. Domaines d'application des jumeaux numériques

Aujourd'hui, de nombreuses organisations de différents secteurs ou secteurs utilisons jumeaux numériques pour simplifier, améliorer, automatiser et contrôler différents processus objets[8].

Ensuite, nous montrons quelques domaines qui bénéficier pratiques de l'Internet des objets :

- **Production :** les industriels peuvent bénéficier d'un avantage concurrentiel grâce à la surveillance des chaînes de production, afin de mettre en place une maintenance proactive des équipements sur lesquels les capteurs détectent une défaillance imminent.

- **Automobile :** l'industrie automobile pourra bénéficier d'avantages considérables en utilisant des applications basé sur les jumeaux numériques. Au-delà des avantages obtenus par ses l'application, des capteurs peuvent détecter l'imminence de pannes sur des véhicules déjà en circulation, ainsi qu'alerter le conducteur en lui fournissant des détails et des recommandations. Grâce aux informations agrégées collectées par des applications reposant sur utilisons jumeaux numériques,
- **Transport et logistique :** les systèmes de transport et de logistique bénéficient d'une grande diversité d'applications applications basé sur les jumeaux numériques. Les parcs de voitures, camions, navires et trains qui transportent du stock peuvent être réacheminés en fonction des conditions météo, ou encore de la disponibilité des véhicules ou des chauffeurs grâce aux données envoi par les capteurs. Le stock lui-même peut également être muni de capteurs en vue de son suivi, ou à des fins de contrôle de température.
- **Retail :** les applications basées sur les jumeaux numériques permettent aux entreprises de la grande distribution de gérer leurs stocks, d'améliorer l'expérience client, d'optimiser la supply chain et de réduire les coûts d'exploitation. Par exemple, des rayons intelligents pourvus de capteurs de poids peuvent collecter des informations par radio-identification (RFID) et envoyer les données à la plateforme pour surveiller automatiquement les stocks et déclencher des alertes si la quantité d'articles commence à baisser.
- **Secteur public :** les avantages des jumeaux numériques dans le secteur public et les autres environnements de service sont tout aussi vastes. Par exemple, certains services publics peuvent utiliser des applications basé sur les jumeaux numériques pour avertir leurs utilisateurs de pannes à grande échelle, voir de coupures plus brèves d'eau, d'électricité ou des services d'assainissement.
- **Santé :** la santé est un secteur d'activité directement impacté par l'émergence des jumeaux numériques. Il s'agit principalement ici de [10].

  ✓ Suivre les patients à distance par le médecin ou Infirmier.
  ✓ Tester des traitements sur un patient virtuel (ou jumeau numérique) avant leur administration au patient réel.
  ✓ Développer la simulation d'opérations complexes.
  ✓ Améliorer la qualité des dispositifs médicaux tels que les prothèses.
  ✓ Tester l'efficacité d'une molécule sur l'organisme.

V. Technologies et outils utilisées pour les jumeaux

V.1. Node-red

Node-red est un outil puissant pour construire des applications de l'Internet des Objets en mettant l'accent sur la simplification de la programmation qui se fait grâce à des blocs de code prédéfinis, appelés nœuds pour effectuer des tâches. Il utilise une approche de programmation visuelle qui permet aux développeurs de connecter les blocs de code ensemble.

Les nœuds connectés, généralement une combinaison de nœuds d'entrée, de nœuds de traitement et de nœuds de sortie, lorsqu'ils sont câblés ensemble, constituent un flow.

Node-red est construit sur Node.js, tirant pleinement parti de son modèle non bloquant piloté par les événements. Cela le rend idéal pour fonctionner en périphérie du réseau sur un serveur d'application qui peut être un matériel à faible coût tel que le RaspberryPi ou un serveur dans le cloud [11].

V.1.1. Editeur Node-RED

Node-RED fournit un éditeur de flux basé sur un navigateur qui facilite le câblage des flux à l'aide des nœuds à large plage de la palette. Les flux peuvent ensuite être déployés sur le runtime en un seul clic. Les fonctions JavaScript peuvent être créées dans l'éditeur à l'aide d'un éditeur de texte enrichi. Une bibliothèque intégrée vous permet d'enregistrer des fonctions, des modèles ou des flux utiles pour les réutiliser [12].

L'éditeur se compose en quatre composants principaux :

- L'en-tête en haut, contenant le bouton de déploiement, le menu principal et, si l'authentification utilisateur est activée, le menu utilisateur.
- La palette de gauche, contenant les nœuds disponibles à utiliser.
- L'espace de travail principal au milieu, où les flux sont créés.
- La barre latérale à droite.

La figure 1.4 représente l'interface de le diteur Node-RED

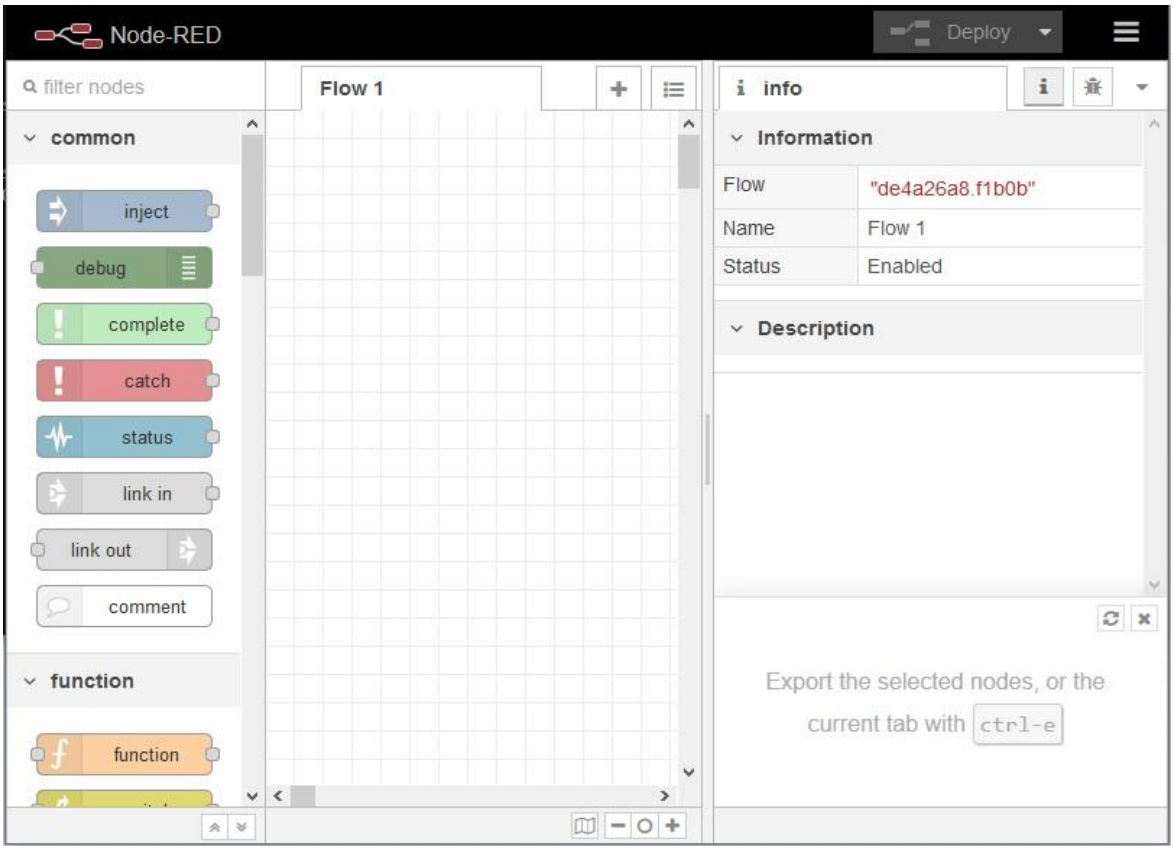


Figure I.4. Éditeur Node-RED.

V.1.2. Principe de la programmation Node-RED

Les principes de la programmation dans le Node-RED [10] consiste à :

- glisser-déplacer les nodes sur le flow et à les relier entre eux. Les données échangées sont des objets JSON et doivent posséder la propriété payload (charge utile)
- Le payload peut être un nombre, une chaine de caractères ou un objet JSON.
- Certains nodes peuvent avoir plusieurs sorties. Dans ce cas, le node retourne un tableau d'objets JSON dont le premier élément sort par la première sortie, le deuxième par le seconde.

V.1.3. Avantage de Node-RED

Les avantages de Node-RED peuvent être mentionnés comme suit :

- Il réduit le temps nécessaire pour créer une application fonctionnelle.
- Il est accessible à un large éventail de développeurs et de non-développeurs.
- La nature visuelle de l'interface le rend très intuitif
- Il dispose d'une forte communauté et par conséquent il existe une panoplie de bibliothèques Node-RED [13].

V.2. Plate forme Eclipse DITTO

Eclipse DITTO est une technologie de l'IOT implémentant un modèle logiciel appelé «jumeaux numériques» Un jumeau numérique est une représentation virtuelle, basée sur le cloud, de son homologue du monde réel («things» du monde réel, par exemple des appareils comme les capteurs, le chauffage intelligent, les voitures connectées, les réseaux intelligents, les bornes de recharge pour véhicules électriques,…).

La technologie reflète potentiellement des millions et des milliards de jumeaux numériques résidant dans le monde numérique avec des «choses» 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 «choses» physiques sont connectées.

Avec DITTO, un « thing » peut simplement être utilisée comme n'importe quel autre service Web via son jumeau numérique [14].

V.2 .1. Architecteur de Eclipse DITTO

L'Architecteur de ditto est basé sur l'élément suivant:

- Politiques: contrôle d'accès fin aux objets.
- Objets: persistance des objets.
- Recherche d'objets: suivi les modifications apportées aux objets, fonctionnalités, politiques et la mise à jour d'un index de recherche optimisé et l'exécution de requêtes sur cet index de recherche.
- Concierge: orchestre et autorise les services de persistance de support
- Passerelle: fournit l'API HTTP et Web Socket.
- Connectivité: envoie des messages Ditto Protocol aux courtiers de messages externes et reçoit des messages d'eux.

La Figure I.5 représente Architecteur générale de ditto.

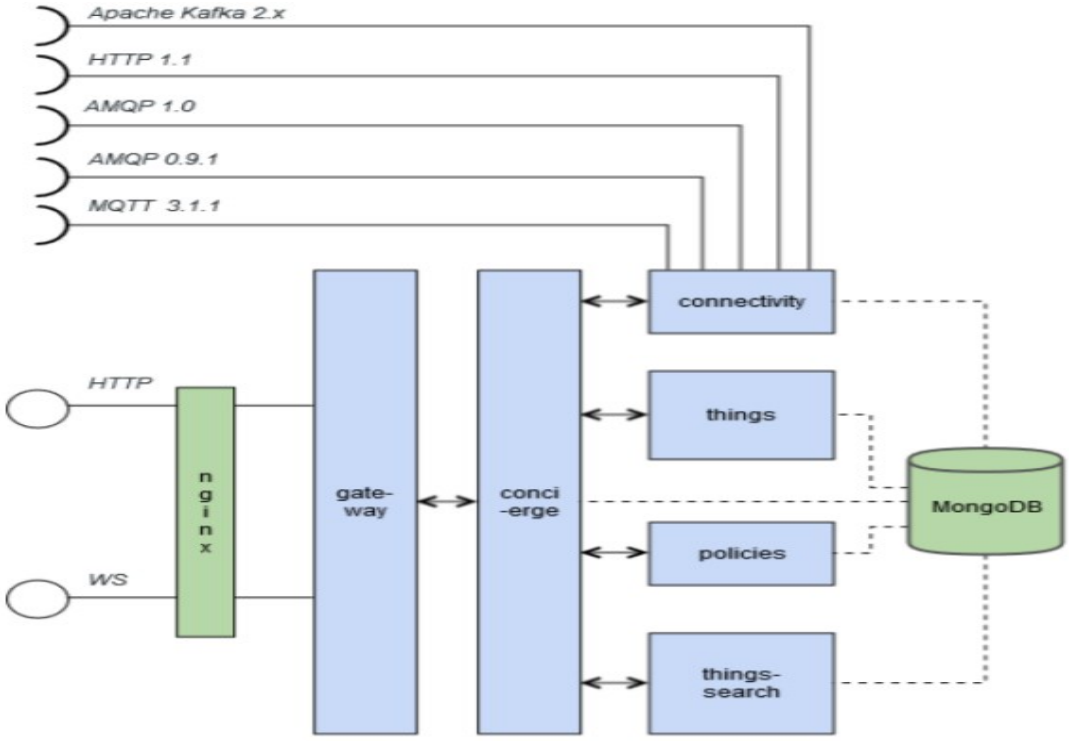


Figure 0.7. Architecteur de ditto. Architecteur de ditto.

V.2.2. Caractéristique principale d'Eclipse Ditto

La plate forme Eclipse ditto se compose de plusieurs « micro services » comme indiqué dans la vue des composants ci-dessus [14].

- a une API sous forme de signaux (commandes, réponses aux commandes, événements)
- Routage des demandes entre le matériel et applications client
- Gestion des politiques de contrôle d'accès
- La persistance du dernier état signalé du matériel comme Cache
- Modifier la notification aux parties intéressées.

V.2.3. Protocoles de communications utilisées par Eclipse ditto

La plateforme Eclipse ditto utilise plusieurs protocoles, la figure 1.6 suivante montre les protocoles utilisés par la plate forme Eclipse ditto [14].

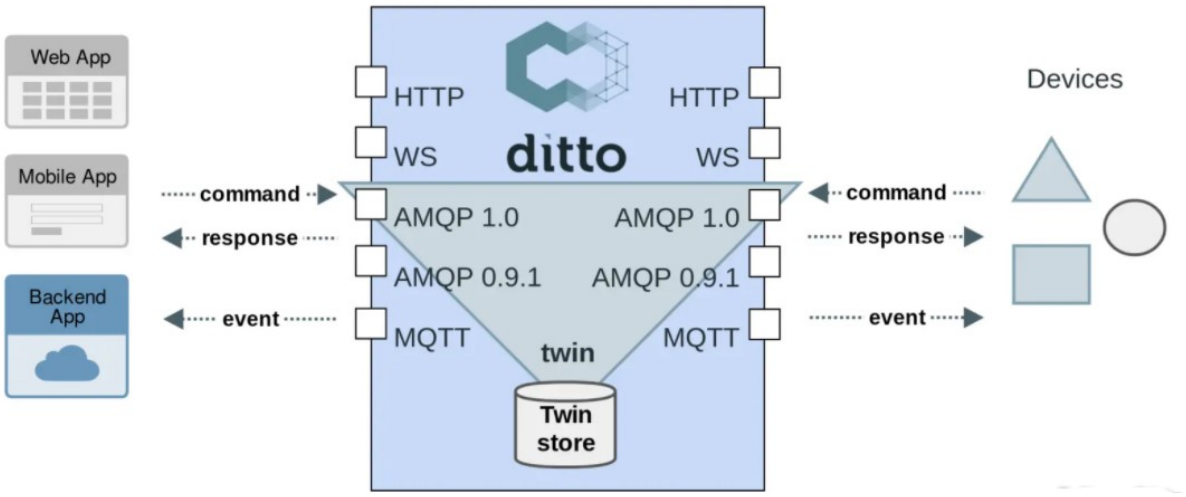


Figure I.6. Les protocoles utilisés par la plateforme Eclipse Ditto.

Protocole HTTP Hypertext Transfer Protocol : désigne dans le langage informatique un protocole de communication entre un client et un serveur pour le World Wide Web. On le traduit littéralement en français par protocole de transfert hypertexte. Le protocole **http** établit une liaison entre un ordinateur (client) et un serveur Web. Le premier, via un navigateur Web, envoie une requête au second qui lui apporte une réponse presque instantanée. Autrement dit, le protocole de communication **http** est ce qui permet à un internaute d'accéder à un contenu (une page Web, un fichier CSS, etc.), en commandant au serveur d'effectuer une action [15].

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) **:** est l'un des protocoles les plus couramment utilisés en ce qui concerne l'IoT. MQTT permet aux dispositifs IoT à ressources limitées d'envoyer ou de publier des informations sur un sujet donné à un serveur qui fonctionne comme un courtier de messages MQTT. Le courtier transmet ensuite les informations aux clients qui se sont précédemment abonnés au sujet. Pour un humain, un sujet ressemble à un chemin de fichier hiérarchique. Les clients peuvent s'abonner à un niveau spécifique de la hiérarchie d'un sujet ou utiliser un caractère de remplacement pour s'abonner à plusieurs niveaux [16].

La figure 1.7 suivante représente les principes de fonctionnement du protocole MQTT

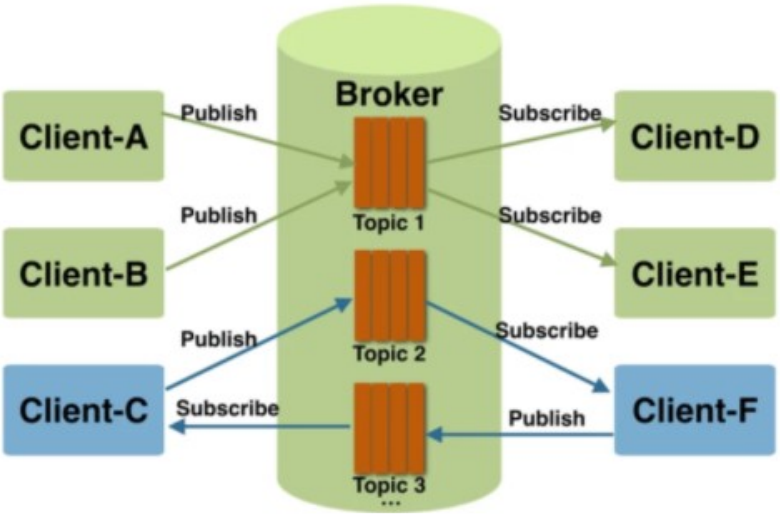


Figure I.7. Le protocole MQTT.

Le Websocket : est un canal de communication bidirectionnel entre une page Web et un serveur Web. Cette socket restera ouverture durant l'affichage de la page et permettra notamment d'envisager des notifications « Push » : le client n'a plus à périodiquement soliciter le serveur pour savoir si quelque chose s'est passé. Au contraire le serveur notifie le client dès que cela est nécessaire [17].

La figure 1.8 montrer le principe de communication entre une page Web et un serveur Web

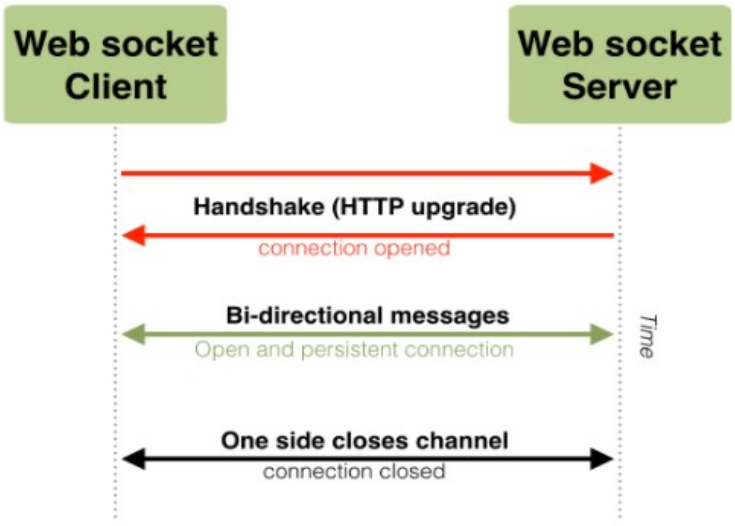


Figure I.8. Le protocole Websocket.

AMQP : pour '**Advanced Message Queuing Protocol**', est un protocole de messagerie qui est une solution alternative aux produits payants MOM (Message-Oriented Middleware) et au JMS. En effet, l'interopérabilité entre différentes implémentations de JMS est très difficile voire n'est pas

possible, ce qui présente un énorme frein dans le monde de l'IoT. C'est pour cela que nous n'avons pas choisi ce dernier dans la liste des solutions à étudier.

Le fonctionnement du protocole AMQP est basé sur le même principe que celui de MQTT, toutefois la notion de **publisher/subsciber** est remplacée par celle de **producer/consumer**. En outre, grâce à un mécanisme interne noté « exchang », AMQP permet de router un message d'un producer vers plusieurs topics. Les critères de routage peuvent se faire de plusieurs façons ; inspection du contenu, de l'en-tête, clés de routage, etc. Ainsi, un même message peut être consommé par différents consumers via plusieurs topics [18].

La figure 1.9 représente le principe de fonctionnement du protocole AMQP

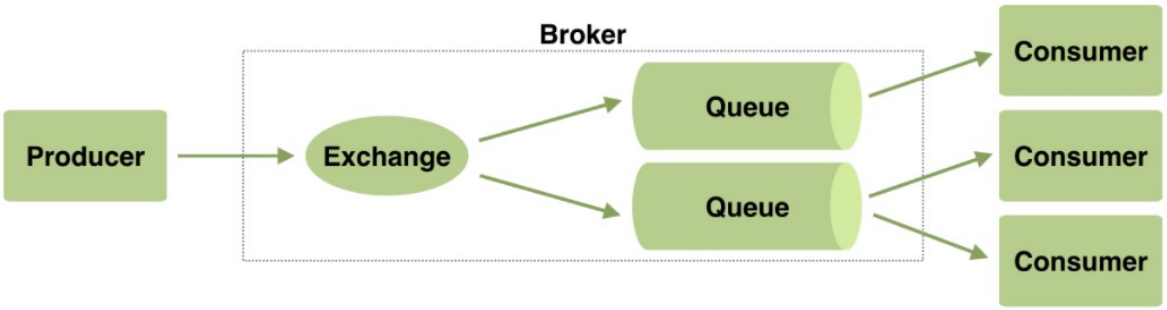


Figure I.9. Le protocole AMQP.

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons discuté les concepts de base des jumeaux numériques, et ainsi nous avons vu que les jumeaux numériques c'est une technologie qui aide à superviser et contrôler et prédire le comportement des systèmes physiques. Notre domaine d'application s'est autour de la santé. Il s'agit de développer un jumeau numérique pour les lits d'hôpital intelligents.

Nous présentons dans le chapitre suivant le domaine e-santé et les lit intelligents.

Chapitre II : Lits d'Hôpital Intelligents

I. Introduction

La « e-santé ou santé électronique » est l'utilisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour la santé. La santé numérique comprend la santé en ligne, la santé mobile et la télémédecine, dans l'utilisation généralisée des technologies numériques pour les soins de santé et à des fins liées à la santé.

L'innovation technologique, la robotique et l'Internet des objets (IoT) ont conduit à l'utilisation croissante de divers appareils numériques par les professionnels de la santé et les travailleurs des hôpitaux et des cliniques.

L'important est que les services de e-santé puissent être appliqués dans de multiples domaines, notamment : la gestion médicale, , les soins et l'accompagnement des patients, la santé préventive et bien d'autres domaines et services.

Les lits d'hôpitaux intelligents ont présenté un concept innovant grâce à leurs avantages de contacter l'équipe médicale traitante, en plus de la possibilité de collecter des données et de les envoyer au centre d'information de l'hôpital. Les lits intelligents sont l'une des technologies de pointe déployées dans les hôpitaux, ils jouent un rôle important dans l'augmentation de l'efficacité et l'amélioration du niveau de services, ainsi qu'en aidant le personnel médical et les prestataires de soins de santé à effectuer les tâches efficacement.

Grâce à la présence de puces de capteurs sensibles qui surveillent les fonctions vitales sur l'état de la santé du patient pendant qu'il est au lit, telles que la fréquence cardiaque, la température, la respiration, ...etc. les acteurs de la sante obtient les informations du patient via une application affiche la situation de la patient à distance.

Dans ce chapitre nous allons présenter une description sur lit d'hôpital intelligent et les défit composant (capteur, actionneur) qui sont utilisé pour collecter et commander les lit intelligent.

II. Lit médical

II.1. Historique des lits d'hôpital

Les lits avec barrières latérales réglables sont apparus pour la première fois en Grande-Bretagne entre 1815 et 1825. En 1874, la société de matelas Andrew Wuest and Son, Cincinnati, Ohio, a déposé un brevet pour un type de cadre de matelas à tête articulée pouvant être surélevée, un prédécesseur du lit d'hôpital moderne.

Le lit d'hôpital réglable moderne à 3 segments a été inventé par Willis Dew Gatch, directeur du département de chirurgie de l' École de médecine de l'Université de l' Indiana, au début du 20e siècle. Ce type de lit est parfois appelé lit Gatch .

Le lit moderne hôpital à bouton-poussoir a été inventé en 1945, et il comprenait à l' origine intégré dans les toilettes dans l'espoir d'éliminer les bassines [19].

II.2. Différents modèles de lits et table

Il existe plusieurs types de lits et de table médicale, nous mentionnons trois types :

II.2.1. Lit d'hôpital standard

Le lit d'hôpital standard, aussi nommé lit électrique à hauteur variable est utilisé lorsque vous avez besoin d'être alité de façon prolongée. Ce lit apporte une aide au lever et au coucher grâce à ses fonctionnalités comme le réglage de la hauteur. Il est spécifiquement conçu pour vous garantir le confort et la sécurité nécessaire pour répondre à vos besoins à domicile [20].

La figure II .1 représente la forme générale d'un lit d'hôpital.



Figure II.1. Lit médicalisé standard.

II.2.2. Table d'opération :

C'est une table confortable sur laquelle vous vous allongerez pendant l'intervention. C'est une table spéciale équipée d'articulations spécifiques afin que sa position puisse être ajustée, relevée ou pliée selon le désir du chirurgien et les nécessités de l'opération. Cette table a des bras latéraux spéciaux sur lesquels les bras sont placés pendant l'opération et attachés de sorte que le bras ne pende pas de la table et ne se blesse pas. Dans certaines opérations, le chirurgien doit incliner la table, des ceintures spéciales sont donc attachées autour du patient afin qu'il ne tombe pas de la table [21].

La Figure II.2 représente la forme d'une table d'opération.



Figure II.2. Table d'opération.

II.2.3. Couveuse bébé :

Une couveuse pour bébé est un appareil médial dont l'utilité est de maintenir un milieu optimal pour permettre la prise en charge du nouveau-né. On y place généralement les prématurés c'est-à-dire les bébés nés avant le terme, habituellement avant 37 semaines mais aussi ceux ayant certaines maladies congénitales. Stériles et chauffées à température idéale, les couveuses leur permettent de continuer leur développement normal. Les couveuses sont

équipées de petites ouvertures permettant au personnel soignant et aux parents de toucher le bébé. Des règles d'hygiène strictes doivent être respectées lors des contacts. [22]

Figure II-3 représente une modèle d'une Couveuse bébé.



Figure II.3. Couveuse bébé.

II.3. Lit d'hôpital ordinaire

Un lit d'hôpital, également appelé « lit médicalisé » c'est une pièce de literie au même titre qu'un lit classique, il présente des attributs qui le rendent indispensable lorsqu'il faut soigner un malade alité ou grabataire. C'est donc la forme de couchage la plus adaptée à l'hôpital et quand une personne incapable de marcher ou de s'asseoir [23].

Ses avantages se retrouvent dans la possibilité de régler la hauteur ou l'inclinaison des parties correspondant au buste ou aux jambes, la présence de roues facilitant le déplacement du lit sans avoir à bouger son occupant. Ce sont en somme les composants du modèle le plus simple, mais les fabricants ont quasiment pensé à toutes les configurations possibles en y ajoutant des options, parfois spécifiques à des maladies en particulier.

La Figure II.4 est représenté un lit d'hôpital ordinaire.



Figure II.4. Un Lit médical ordinaire.

Ce lit offre les avantages suivants :

- Le contrôle est direct entre le médecin ou l'infirmier avec le patient.
- La communication être directe entre le patient et le médecin ou l'Infirmier.
- Contact direct entre le médecin ou une infirmière avec le patient permet de décocter des signes qui ne sont pas détectés par les capteurs.

Malgré les avantages d'un lit d'hôpital ordinaire, il y a des points négatifs à mentionner :

- Certaines informations concernant l'état de santé du patient ne nécessitent pas nécessairement la présence d'un médecin ou d'un infirmier.
- Les mesures réelles de la santé des patients sont prises manuellement.
- Les contrôles des patients demandent beaucoup de temps.
- Un changement soudain de l'état de santé du patient qui ne nécessite pas d'intervention directe du médecin ou de l'infirmière.

III. Lit d'hôpital intelligent

Un lit d'hôpital intelligent est un lit qui permet une communication constante avec l'acteur médical afin que cette dernière puisse répondre aux besoins du patient dans un délai très court.

De multiples capteurs et son affichage multimédia permettent de collecter les données et de les transmettre au service de soins, afin d'améliorer le confort et la qualité des soins pour chaque patient.

Le lit d'hôpital intelligent permet également d'enregistrer les informations de santé du patient et de les sauvegarder grâce à ces dispositifs et des capteurs. Cela a peut être fait d'une façon informatique ou manuel selon le besoin**.**

La figure I.5 représente un lit d'hôpital intelligent avec quelques capteurs.

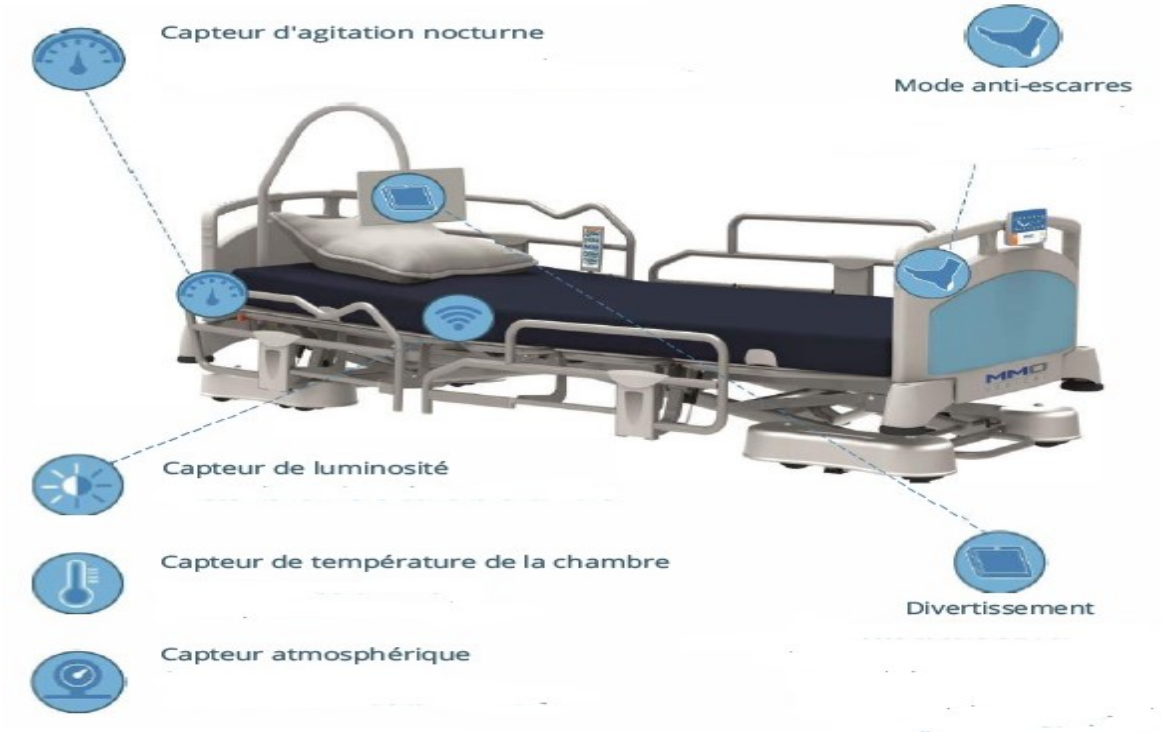


Figure II.5. Lit médical intelligent.

III.1. Principe et fonctionnement des lits intelligent

Un lit connecté est généralement relié, via des capteurs intégrés avec le lit d'hôpital, ce dernier est relié avec une application installé sur un ordinateur. Elle permet d'enregistre tout au long de la nuit des données qui sont ensuite lisibles, le matin venu, par l'utilisateur.

Cette technologie s'exprime la plupart du temps sous forme de capteurs, qui enregistrent : la fréquence cardiaque, le rythme respiratoire, la chaleur corporelle et les mouvements effectués ...etc.

En revanche, il s'agit d'un "plus" dans la gestion d'un dossier médical. D'abord parce que le patient dispose d'un suivi en temps réel, comme le rappel d'une prise de traitement, le contrôle du taux de glucose en toute autonomie, la mesure du niveau de tension.

Ensuite, parce que, grâce aux notifications et alertes reçues en cas de données "anormales" (pouls trop rapide, tension élevée ou taux de glycémie important), le patient peut en avertir rapidement son médecin et ainsi éviter toute aggravation.

La figure I.6 représente un lit d'hôpital intelligent avec quelques capteurs.



Figure II.6. Ecran tactile pour un lit d'hôpital intelligent.

III.2. Avantages et des inconvénients du lit intelligent

On peut déduire que les avantages du lit intelligent comme suite :

- L'état du patient peut être surveillé à distance grâce aux données transmises.
- Certaines interventions simples que les appareils peuvent effectuer ne nécessitent pas.
- Le suivi de la santé du patient se fait automatiquement et à chaque instant grâce à ce lits.

Cependant ce lit intelligent a des inconvénients :

- En tout les cas, les lits d'hôpital intelligents ne peuvent pas remplacer le contrôle direct de médecin ou l'infirmier aux patients.
- Lorsque les capteurs fonctionnent mal, les informations sur l'état de patient envoyées sont erronées.
- Les réseaux ne sont pas toujours fiables.

IV. Capteurs

Un capteur est un dispositif qui sous l'effet d'une grandeur physique que l'on souhaite connaître et caractériser délivre une grandeur physique exploitable (signal électrique par exemple).

Le capteur permet de prélever une grandeur abstraite, appelée information, qui sélectionne un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique, appelé alors de signal. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète) ou analogique. D'une façon générale [24].Les capteurs peuvent être classés selon deux critères :

En fonction de la grandeur mesurée : on parle de capteurs de position, de température, de vitesse, de force, de pression etc.

En fonction du caractère de l'information délivrée : on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

La figure II.7 est représenté la Positionnement de certains nœuds capteurs sur le corps humain

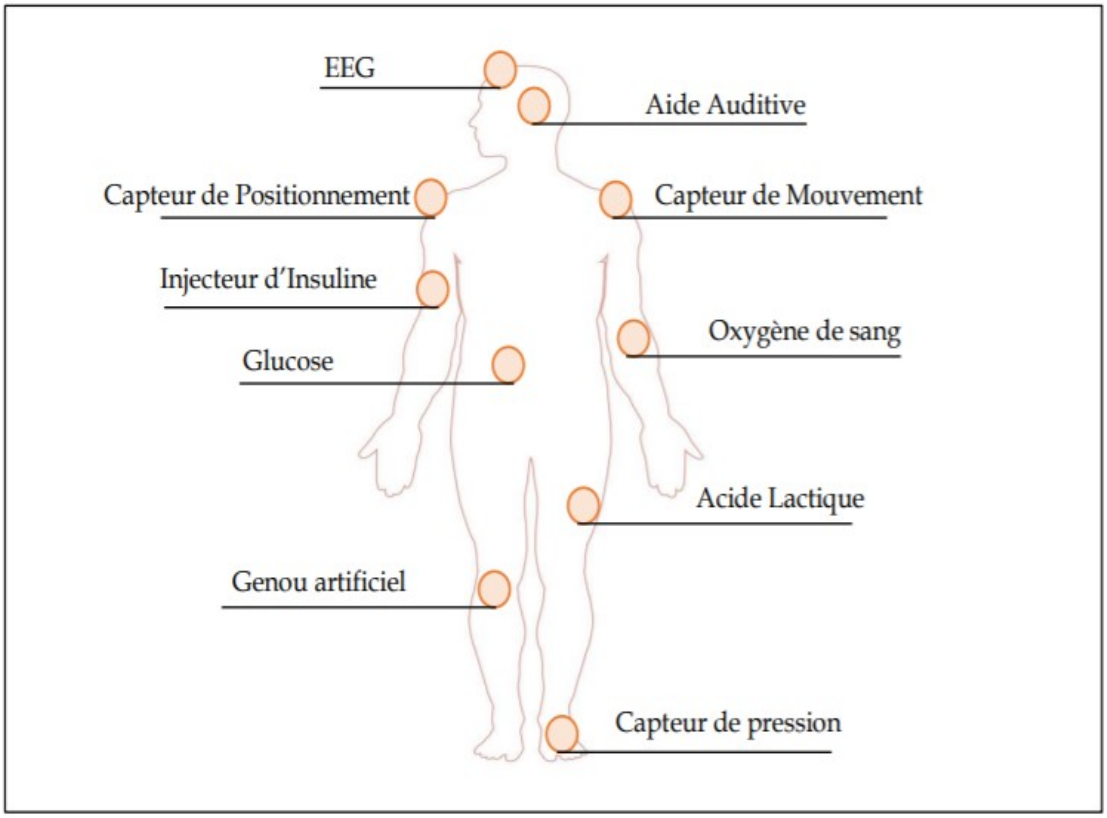


Figure II.7. Nœuds des capteurs sur le corps humain.

Il existe plusieurs types de capteurs, ci-après des exemples de capteurs utilisés dans le domaine de la santé **:**

Capteur de température et d'humidité « DHT11 »

C'est un capteur très apprécié pour sa simplicité de mise en œuvre et son coût peu élevé. Il ne requiert qu'une résistance de tirage et une alimentation 3V ou 5V pour fonctionner. Sa programmation est facile à l'aide des librairies Arduino, Raspberry Pi ou esp8266 disponibles.

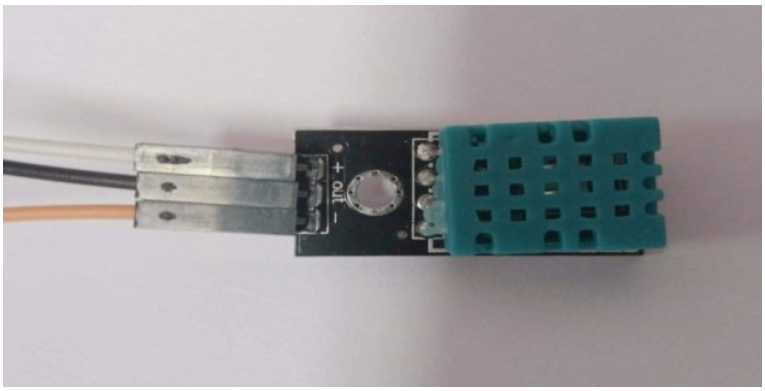


Figure II.8. Capteur de température et d'humidité « DHT11 ».

Capteur de fréquence cardiaque et d'oxygène « oxymétrie MAX30102 » : MAX30102 est un module intégré de biocapteur pour moniteur de fréquence cardiaque. Il intègre une LED rouge avec une LED infrarouge, un détecteur photoélectrique, un dispositif optique et un circuit électronique à faible bruit avec suppression de la lumière ambiante.

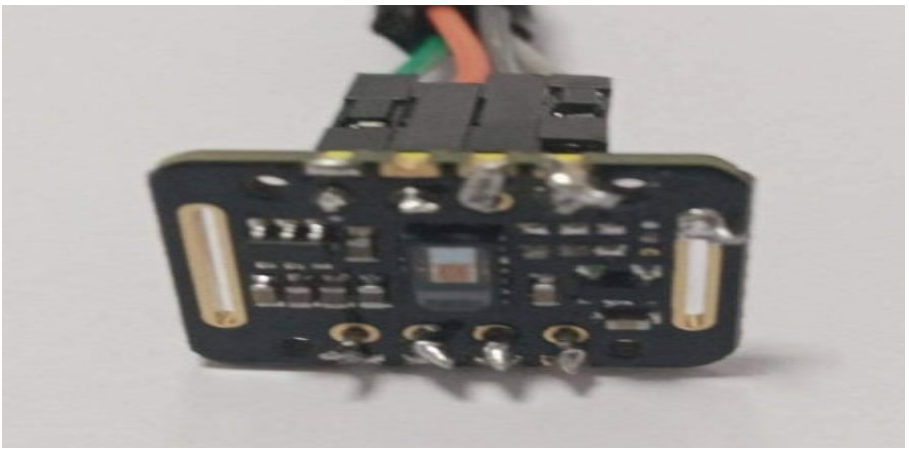


Figure II.9. Capteur de fréquence cardiaque et d'oxygène « oxymétrie MAX30102 ».

Capteur ultras violet

Le ML8511 est un capteur solaire qui mesure l'intensité de la lumière dans la bande Ultraviolet (UV).

Ce capteur mesure les rayonnements UV (ultraviolets 280 – 390 Nm) et émet la valeur comme un signal analogue au niveau de la broche « Out ».Les valeurs de sortie sont linéaires. Ceci est classé dans le spectre UVB (rayons brûlants) et la plupart du spectre UVA (rayons de bronzage). Il délivre une tension analogique linéairement liée à l'intensité UV mesurée (mW / cm2 .

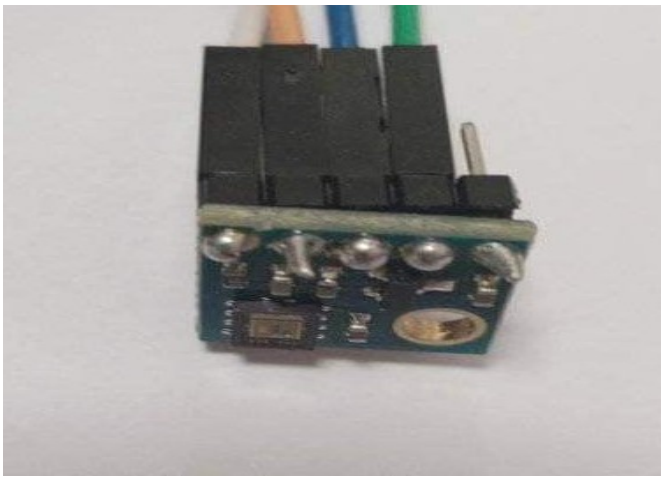


Figure II.10. Capteur ultras violet.

Capteur de niveau d'eau ML5211 Il s'agit d'un dispositif électronique qui permet de mesurer la hauteur du liquide, dans un réservoir ou un autre récipient

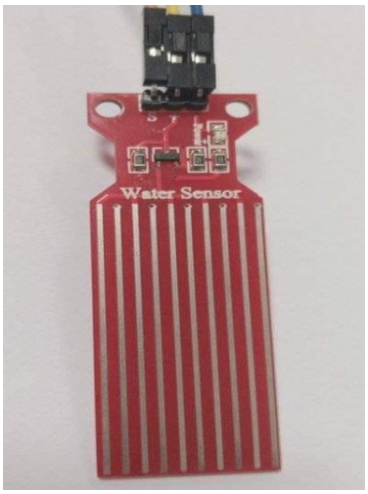


Figure II.11. Capteur de niveau d'eau ML5211.

Capteur de poids Les capteurs de pesage sont bien évidemment utilisés pour mesurer le poids. Ils font partie de notre vie quotidienne. «Dans votre voiture ou dans les balances poids/prix des supermarchés.



Figure II.12. Capteur de poids.

V. Actionneurs

- **Ventilateur**

Les ventilateurs sont des turbomachines transférant à l'air qui les traverse l'énergie nécessaire afin de véhiculer l'air au travers d'une paroi (ventilateur de paroi), dans un ou plusieurs conduites ou bien permettant de balayer un espace (local) assurant ainsi une homogénéisation de l'air (ventilateur plafonnier, destarificateur).



Figure II.13. Chauffage.

- **Humidificateur**

Un humidificateur à vapeur chaude fonctionne par évaporation. Il est doté d'électrodes qui chauffent l'eau contenue dans le réservoir, et par la même occasion, détruisent les bactéries. La

vapeur d'eau chaude est légèrement refroidie avant sa diffusion dans l'air. Toutefois, il faut signaler que cet appareil est déconseillé pour les chambres à coucher et doit rester hors de portée des enfants, mais la diffusion de vapeur chaude peut s'avérer agréable pendant les saisons hivernales.



Figure II.14. Humidificateur.

- **Lampe Ultraviolet**

La lampe à rayons ultraviolets est une ampoule fluorescente qui envoie des rayons ultraviolets à travers un milieu que l'on souhaite stériliser sans altérer ses propriétés.

Des ultraviolets peuvent être produits par des sources artificielles comme des lasers ou des lampes à bronzage. Cependant ils nous arrivent essentiellement du Soleil. C'est 5 % du rayonnement que nous recevons au niveau de la mer -- car la quantité de rayonnement UV reçue augmente avec l'altitude -- qui est ainsi composé d'UV, majoritairement d'UVA (98 %), mais aussi de quelques UVB (2 %).



Figure II.15. Lampe Ultraviolet.

- **Chauffage**

Le chauffage répond à un besoin physiologique de confort des individus. En matière industrielle, il permet la transformation des matières et le chauffage de procès industriel.



Figure II.16. Chauffage.

VI. Conclusion

Les hôpitaux modernes sont plus intéressés à fournir un environnement confortable pour le patient grâce à sa présence dans une chambre confortable qui contribue à améliorer ses mouvements et aide les personnes chargées de fournir des soins de santé grâce à la disponibilité de systèmes de lits intelligents hautes performances qui aident le médecin et personnel infirmier pour obtenir les détails les plus précis de l'état de la maladie et lire les fonctions vitales du patient à propos de la distance.

Chapitre III : Conception

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la conception d'une solution basée sur les lits d'hôpital intelligents pour le suivi médical des patients dans le cadre d'une solution E-Santé. Tout d'abord, nous allons modéliser le lit d'hôpital et son jumeau numérique. Ensuite, nous proposons une architecture à base de jumeaux numériques sur laquelle nous développerons une application de gestion et de supervision des patients à travers les lits d'hôpital intelligents.

Le développement de jumeaux numériques pour les lits d'hôpital intelligents permet une meilleure gestion de ces derniers que ce soit pour l'amélioration des performances des lits d'hôpital ou pour la supervision de l'opération de surveillance des patients.

II. Architecture globale de la solution proposée

Nous proposons de développer une solution se basant sur le jumeau numérique des lits d'hôpital intelligents permettant de gérer et superviser les patients au niveau d'un hôpital. Un jumeau numérique est une image numérique qui réplique le système physique (lits d'hôpital dans ce cas). Un lit d'hôpital intelligent est un lit connecté, composé de capteurs permettant de collecter des données concernant le lit et le patient et d'actionneurs permettant de commander des fonctionnalités sur le lit ou concernant le patient.

La solution se basant sur le jumeau numérique des lits d'hôpital est présentée sous forme d'un ensemble d'objets (things) avec leurs caractéristiques et leurs propriétés. Le système physique est alors connecté au jumeau numérique à travers les technologies des objets connectés (Internet of things ou IOT).

Le jumeau numérique permet de représenter toutes les caractéristiques et les propriétés du lit, capter toutes les modifications sur le système physique à travers les capteurs et commander le système physique via les actionneurs.

Enfin, l'utilisateur du jumeau numérique est guidé par une application web pour créer et contrôlé les objets (things) du jumeau numérique. La création se fait au niveau d'une plateforme open source (eclipseditto) [26] implémentant les jumeaux numériques. La communication, l'envoi et la réception des données du système physique se fait avec d'outil Node-RED [25].

La Figure III.1 ci-dessous décrit l'architecture de la solution proposée.

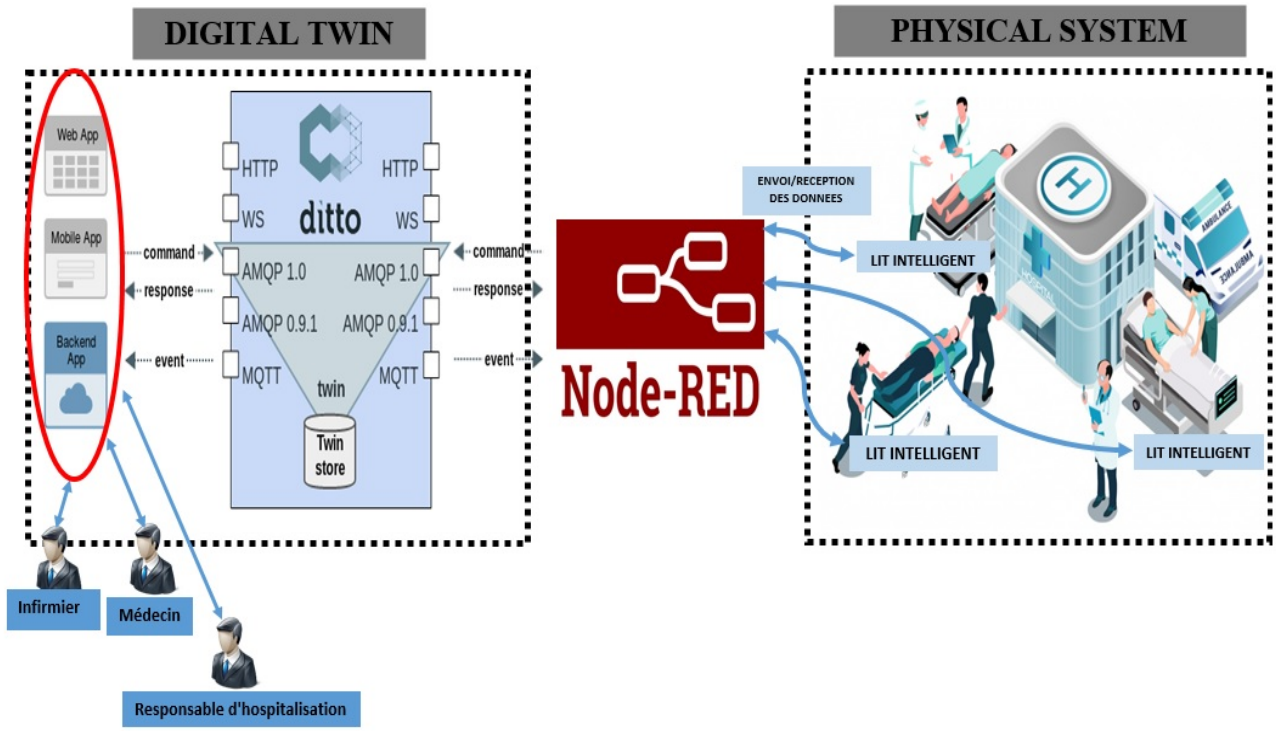


Figure III.1. Architecture de la solution proposée.

III. Modélisation des lits intelligents

Pour modéliser le lit d'hôpital intelligent nous avons choisi le diagramme BDD (diagramme de définition de bloc) un diagramme de modélisation SysML.

Le diagramme de définition de bloc est un diagramme qui décrit la structure d'un système, d'un sous-système ou d'un composant. Un bloc est comme une classe, il peut être composé d'autres blocs et peut avoir des relations avec d'autres éléments du modèle (blocs, diagramme, activités, …).Un bloc est représenté graphiquement par un rectangle comportant plusieurs compartiments qui contient les détails sur le composant (élément) présenté par le bloc.

Comme décrit par la Figure III.2 Chaque bloc dans le diagramme représente un élément du lit intelligent. Le bloque principal est « lit », il se compose de capteurs, d'actionneurs, d'un écran taille, d'une boite alimentation et d'une carte de communication. Les capteurs et les actionneurs peuvent être de différents types. Un lit peut être affecté à un patient. Les capteurs sont utilisés pour capturer des valeurs concernant l'état du lit ou du patient. Les actionneurs sont utilisés pour commander le lit et ses composants.

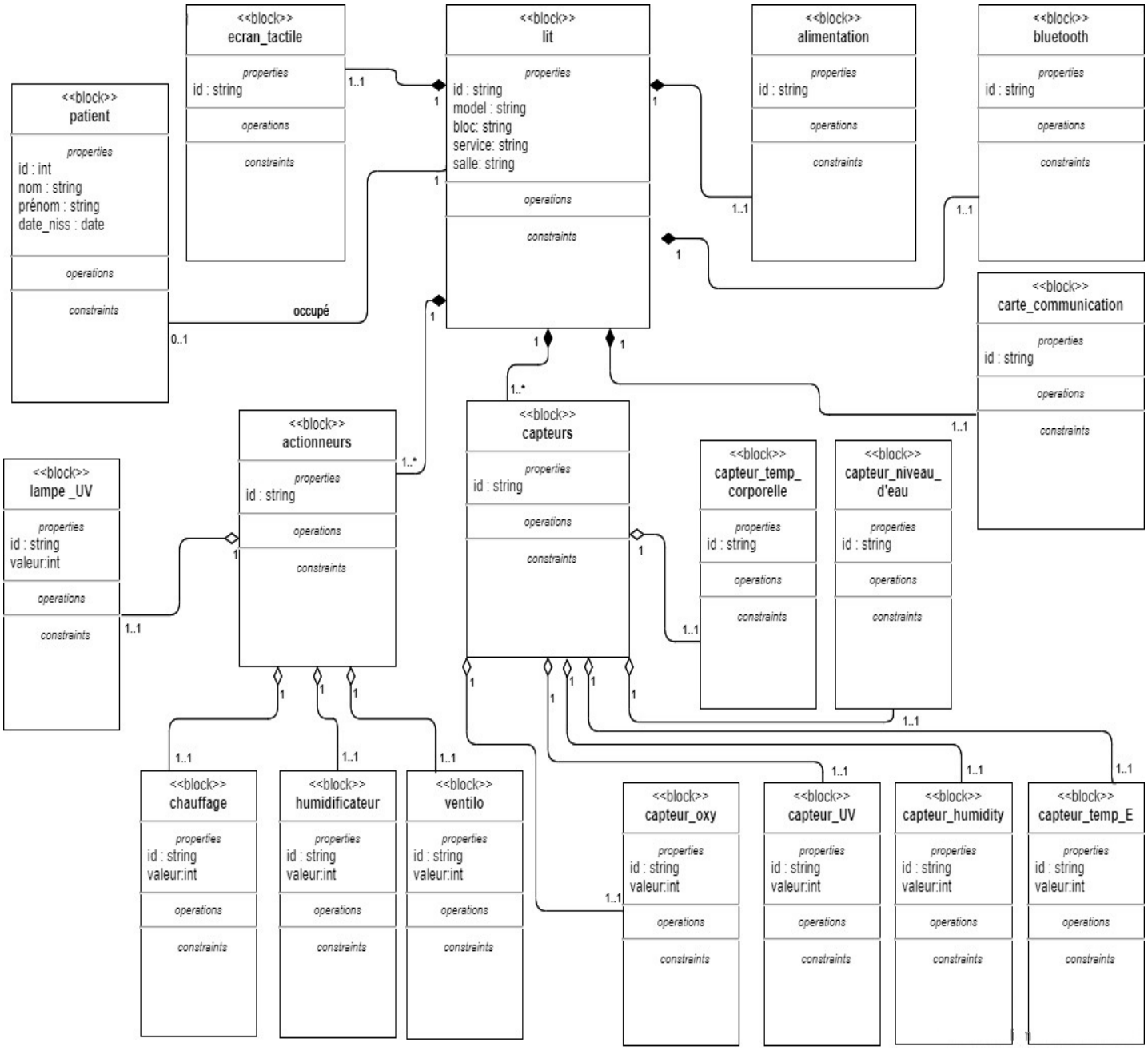


Figure III.2. Modèle de blocs du lit intelligent.

IV. Jumeau numérique

Dans notre conception du jumeau numérique nous sommes basés sur la modélisation du lit d'hôpital intelligent présenté dans la section précédente. En effet, cette modélisation a été la base pour la création du modèle jumeau numérique qui doit être conforme au méta-modèle décrit en Figure III.3 Cette conformité lui permet d'être supporté par la plateforme Eclipse ditto en version 2 de son API [26].

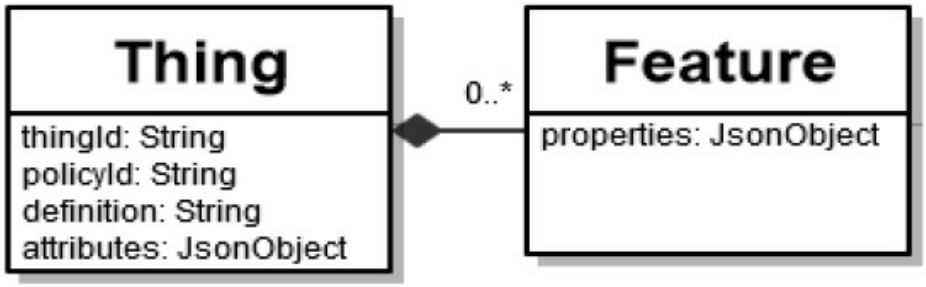


Figure III.3. Modèle de blocs du lit intelligent.

Un modèle de jumeau numérique ditto est comparable à une classe dans un langage de programmation orienté objet, définissant une forme de données pour un concept particulier.

Un modèle de jumeau numérique est décrit selon le méta-modèle suivant, qui est définit par deux méta-classes :

Thing (objet): permet de modéliser un composant du système. Il contient un policy Id qui est lié à une stratégie contenant les informations d'autorisation sur l'objet.

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

Exemple :

- Dispositif physique : une tondeuse à gazon, un capteur, un véhicule, une lampe.
- Périphérique virtuel : une pièce dans une maison, une centrale électrique virtuelle couvrant plusieurs centrales électriques, les informations météorologiques pour un emplacement spécifique collectées par divers capteurs.
- Entité transactionnelle : visite d'un véhicule (du début à l'arrêt), série de mesures d'une machine.
- Entité de données de base : un fournisseur d'appareils ou un fournisseur de services pour les appareils, une entité représentant une ville / région.

- **Thing ID :** Identifiant unique d'objet.
- **Policy ID :** Liens vers l'ID d'une policy existante qui contient les informations d'autorisation appliquées pour cet objet.

- **Définition :** Un objet peut contenir une définition. La définition peut également être utilisée pour rechercher des objets. La définition est utilisée pour lier un objet à un modèle correspondant définissant ses capacités / caractéristiques.

- **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.

Features: permettent de décrire les propriétés des objets et les regrouper en caractéristiques.

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.

- **Properties :** Les données relatives aux fonctionnalités sont gérées sous la forme d'une liste de propriétés. Ces propriétés peuvent être classées, par exemple pour gérer l'état, la configuration ou toute information de défaut. Les propriétés d'entité sont représentées comme un seul objet JSON.

V. Model du jumeau numérique

Nous nous somme basée sur le diagramme de bloc pour créer le modèle du jumeau numérique. Ainsi, le bloc « lit » devient un « **thing** » dans le modèle jumeau numérique. Les prophéties du bloc sont représentées par des attributs. Ceci est présenté par le tableau III.1. Suivant :

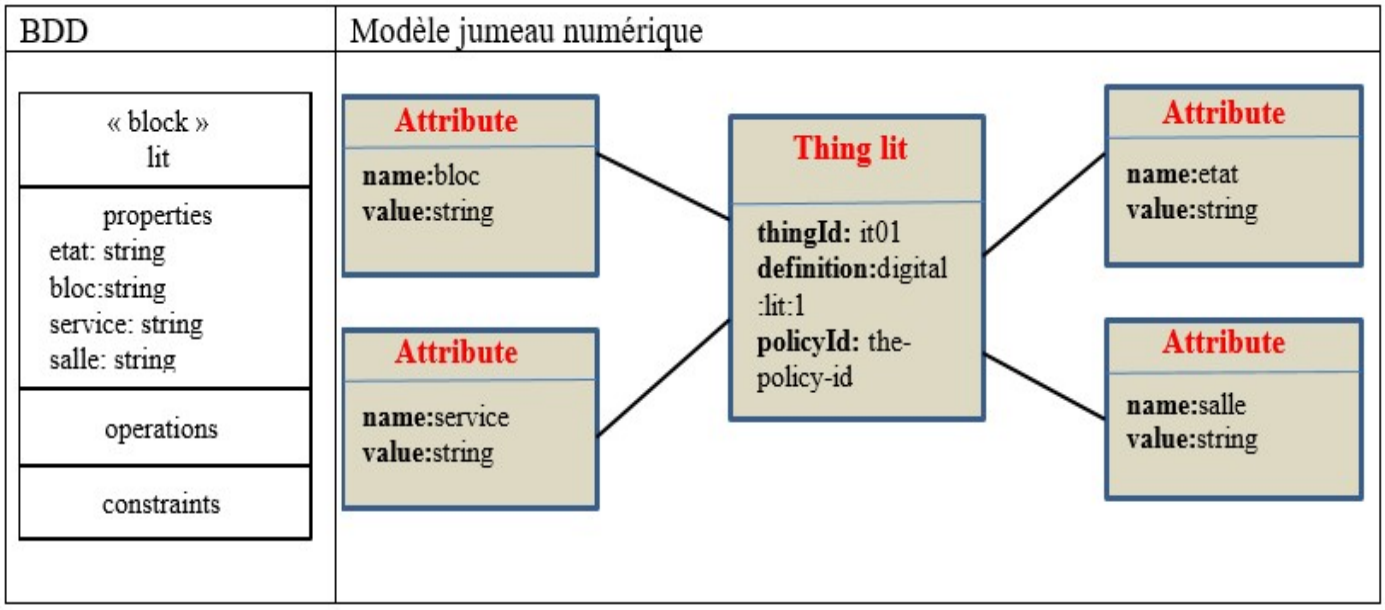


Tableau III.1. Représentation d'objet.

« **Features** » dans le modèle du jumeau numérique. Ceci est présenté par le tableau III.2 suivant :

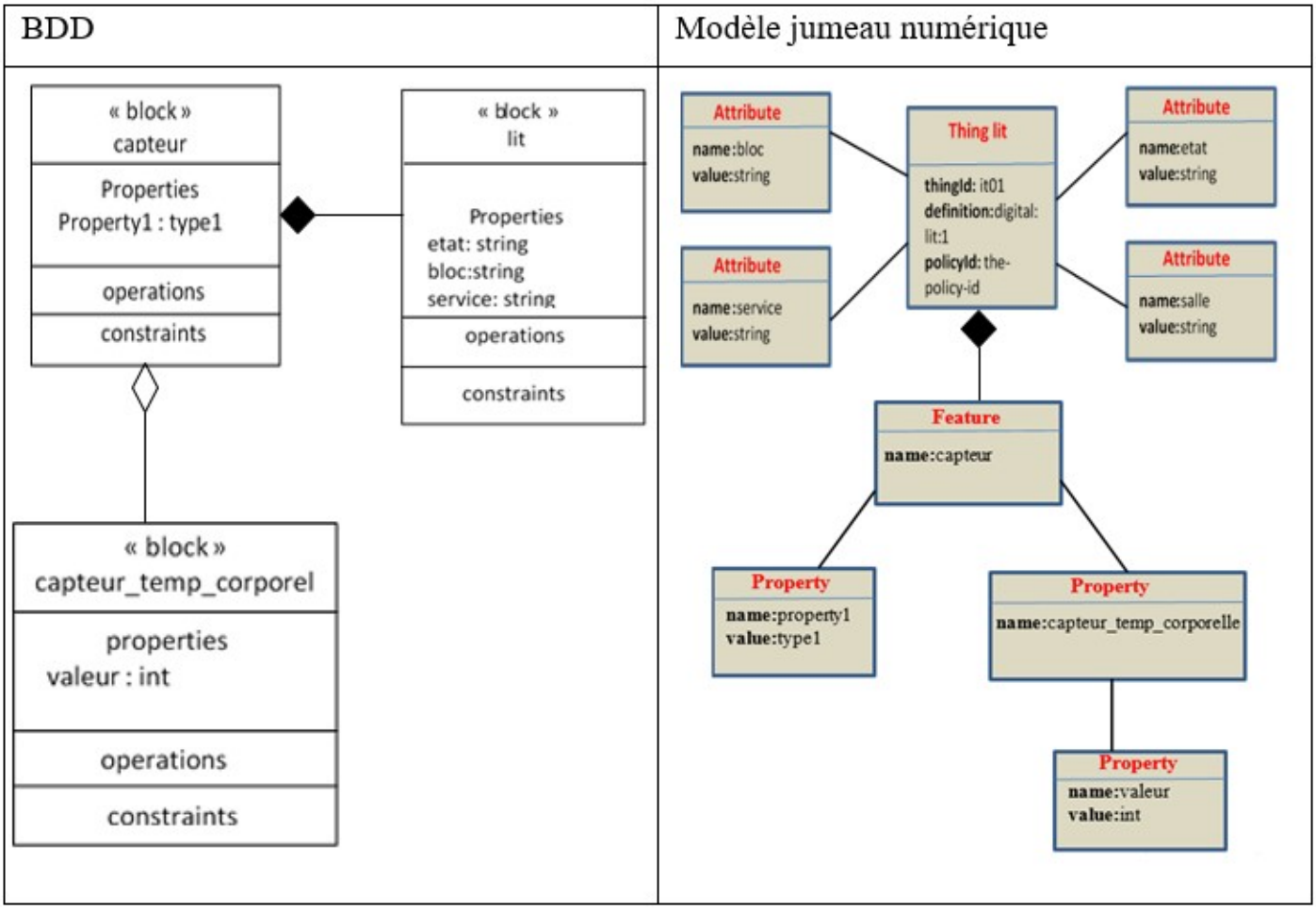


Tableau III.2. Représentation l'objet avec les fonctionnalités.

Les prospérités des blocs composant le lit sont présentées ainsi que les blocs liés aux composants sont représentés par des « **properties** » de« **features** » complexes ou simples. Le Tableau III.3 suivant montre un exemple.

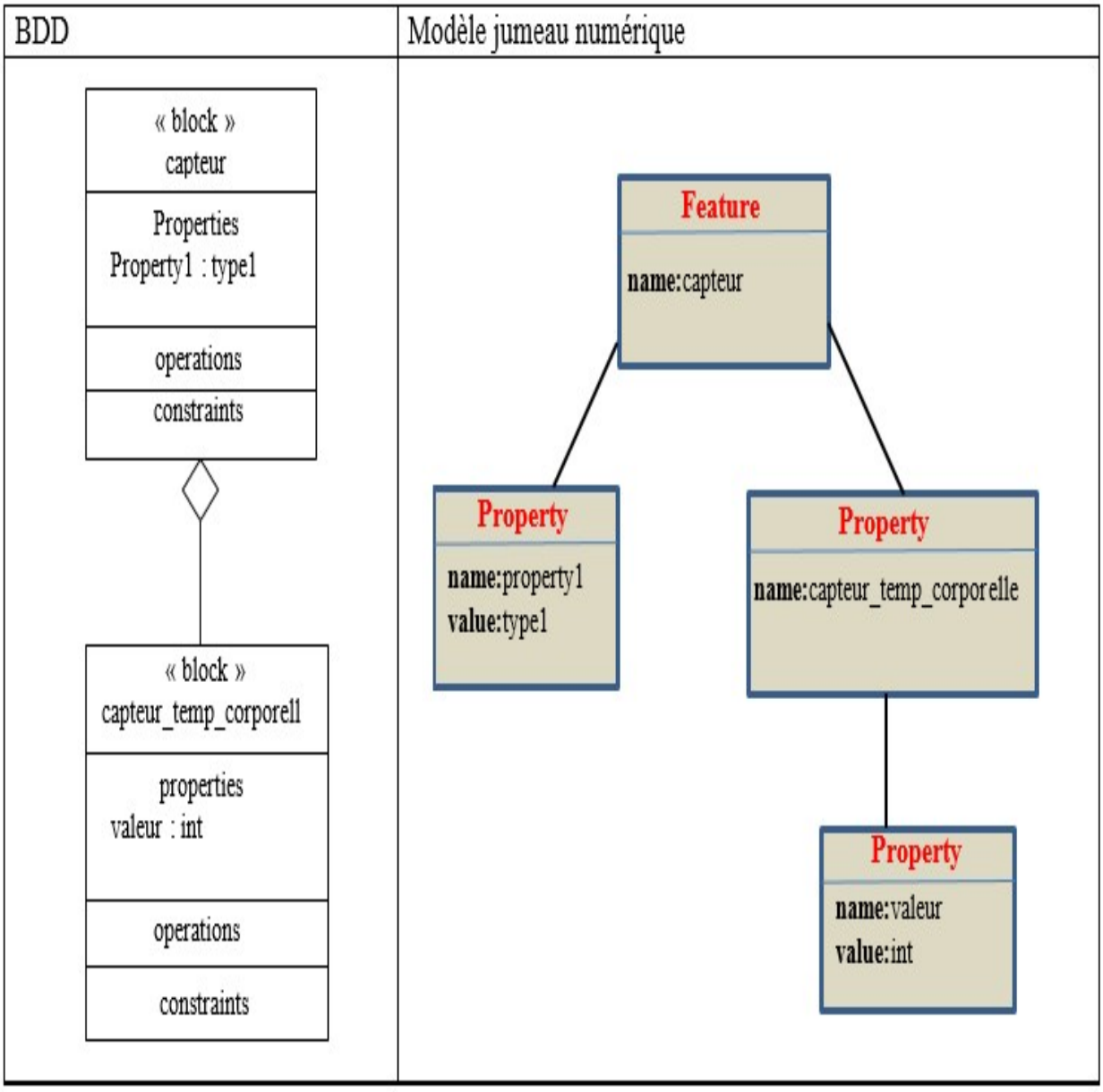


Tableau III.3. Représentation des fonctionnalités.

Le modèle global du jumeau numérique est présenté dans la Figure III.4

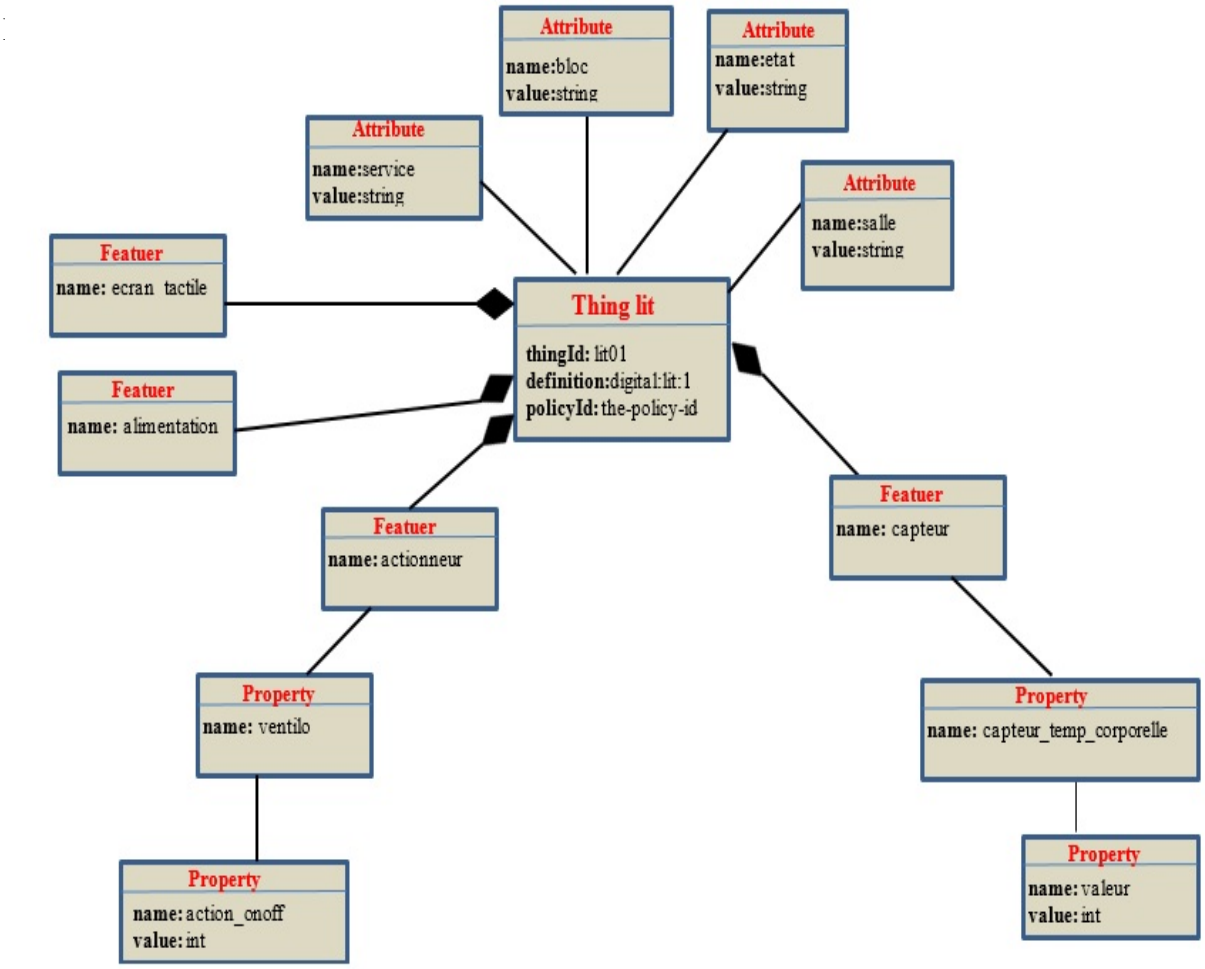


Figure III.4. Modèle jumeau numérique d'un lit intelligent

La représentation du modèle jumeau numérique du lit d'hôpital par un fichier JSON doit respecter la hiérarchie et la décomposition des concepts de l'objet, la figure III.5 définit la forme JSON des objets du lit d'hôpital intelligent.

```
{
    "thingId": ":bed1",
    "defenition": "bed1:1:hopital",
    "attributes": {
        "etat": "libre",
        "bloc": "Bloc A",
        "servive": "Urgence",
        "salle": "Salle 1"
    },
    "features": {
        "capteur": {
            "properties":{
                "capteur_oxygene":{"valeur":80},
                "capteur_t_corporell":{"valeur":37},
                "capteur_niveau_deau":{"valeur":20},
                "capteur_uv":{"valeur":30},
                "capteur_humidity":{"valeur":15},
                "capteur_t_e":{"valeur":28},
                "capteur_poit":{"valeur":3}
            }
        },
        "actionneur_lampe_uv": {
            "properties": {
                "action_onoff": 0
            }
        },
        "actionneur_ventilo": {
            "properties": {
                 "action_onoff": 0
            }
        },
        "actionneur_chauffage": {
            "properties": {
                "action_onoff": 0
            }
        },
```

Figure III.4. Exemple de format de JSON du jumeau numérique de lit d'hôpital.

VI. Application de supervision à travers les jumeaux numériques

Cette partie vise la création d'une application basée sur le jumeau numérique conçu dans les sections précédentes pour permettre la supervision et la gestion des lits d'hôpital intelligents, des patients et de services d'hospitalisation. L'application doit offrir une fonctionnalité permettant la création et la gestion des jumeaux numériques, une fonctionnalité de supervision

des patients à travers les données capturées à partir des lits intelligents ainsi que des mécanismes pour le contrôle des lits à distance. Ces fonctions sont destinées aux différents acteurs de la santé comme le médecin, l'infirmier et le responsable d'hospitalisation. L'application vise à améliorer les prestations de soins destinées aux patients et le cadre de travail pour les différents intervenant de la santé à travers :

- Une facilité de contrôle et de supervision automatique concernant les lits, les patients et les soins.
- Réduction du temps d'intervention des médecins et des infirmiers.
- Affichage des informations sur l'état du lit et du patient sur une interface conviviale et sur plusieurs équipements.
- Gestion des lits et leur affectation aux services d'hospitalisation.

VI.1. Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation est un diagramme UML utilisés pour une représentation du comportement fonctionnel d'un système du point de vue des acteurs. Les cas d'utilisation permettent d'exprimer le besoin des utilisateurs d'un système, ils sont donc une vision orientée utilisateur de ce besoin au contraire d'une vision informatique.

Dans notre cas, nous avons quatre acteurs qui sont :

- L'administrateur qui est le responsable de la création et la suppression des jumeaux numériques.
- Le médecin qui fait le diagnostique médicale.
- L'infirmière est responsable du suivi de l'évolution de la santé du patient.
- Le responsable d'hospitalisation est responsable de toutes les mises à jour du lit, ainsi que de la saisie des données du patient et de son orientation vers le lit approprié.

Ci-dessous, nous présentons le diagramme de cas d'utilisation de système de lit d'hôpital intelligent, en montrant les cas d'utilisation d'un utilisateur qui peut l'utilise (voir Figure III.5).

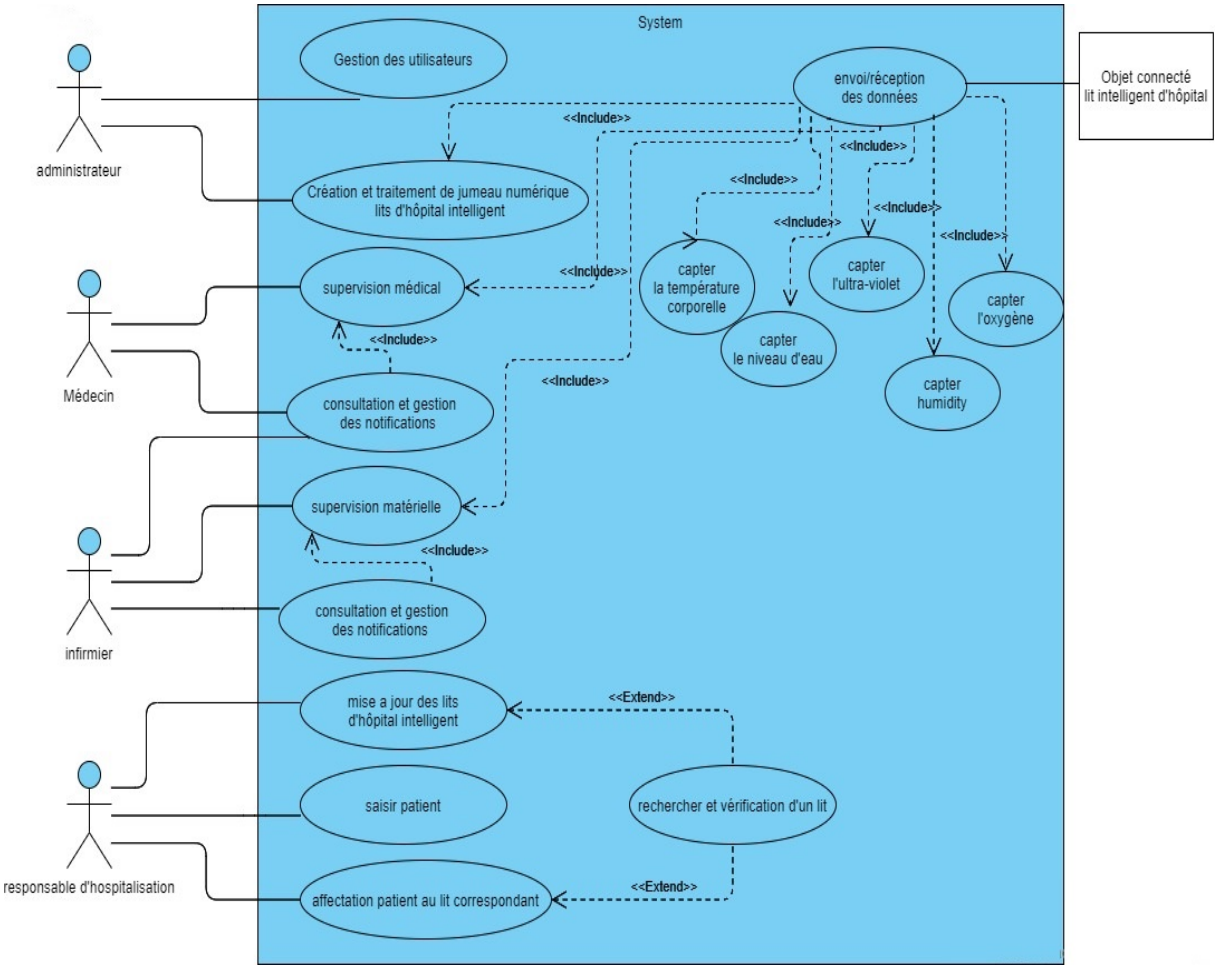


Figure III.5. Diagramme de cas d'utilisation.

Scénario :

- Les cas d'utilisation « création/suppression des lits d'hôpital intelligents » ça concerne l'administrateur. Cela nécessite de connecter à la plateforme de jumeaux numériques.
- Le cas d'utilisation « gestion des patients » et leur affectation concerne le responsable d'hospitalisation.
- Le cas d'utilisation « diagnostic médical et prélèvement des données » est assuré par le médecin, le lit d'hôpital doit être fonctionnel et ses capteurs proprement positionnés sur le patient. Les données du patient sont prélevées par chacun des capteurs et envoyées au jumeau numérique.
- Le cas d'utilisation « contrôle du lit d'hôpital intelligent » décrit le cas de résolution, par l'infirmier, d'un problème matériel (défaillance d'un composant physique, batterie épuisée, etc.) ou logiciel (valeurs erronées), ainsi l'état du patient occupant le lit.

VI.2. Diagramme de séquence

Le diagramme de séquence permet de décrire comment les éléments du système interagissent entre eux et avec les acteurs pour accomplir une tâche du système. Le diagramme de séquence permet de décrire comment les éléments du système interagissent entre eux et avec les acteurs.

Un diagramme de séquence représente l'interaction entre les objets en insistant sur la chronologie des envois des messages [27].

Dans ce qui suit, nous allons décrire quelques scenarios concernant le fonctionnement de notre système par des diagrammes de séquence.

VI.2.1. Diagramme de séquence pour «Authentification»

Un utilisateur doit être authentifié pour pouvoir accéder au menu principal de l'application. La Figure III.5 décrit les interactions entre l'utilisateur et l'application, l'utilisateur demande l'accès à l'application, la 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 incorrectes, un message d'erreur sera affiché. Si les informations entrées sont correcte l'utilisateur peut accéder au menu principal de l'application.

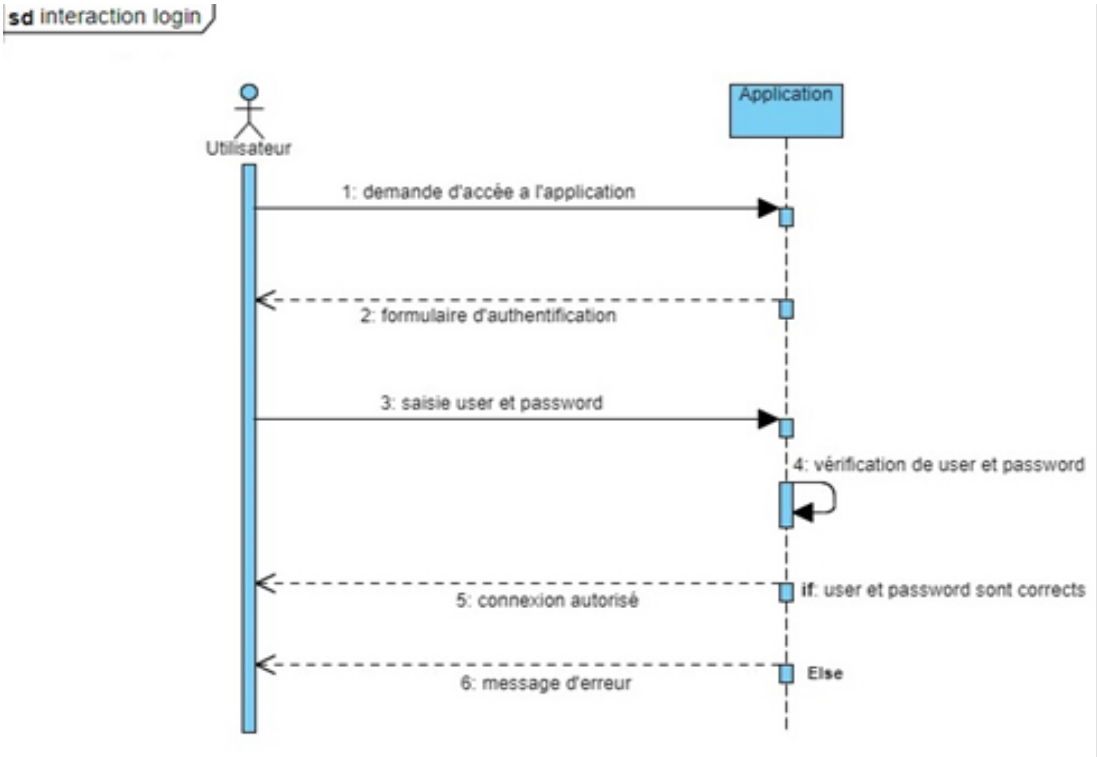


Figure III.5. Diagramme de séquence pour «Authentification».

VI.2.2. Diagramme de séquence pour «La création des things»

La Figure III.6**:** décrire la phase de la création des things dans la plate forme de jumeau numérique (Eclipse Ditto).

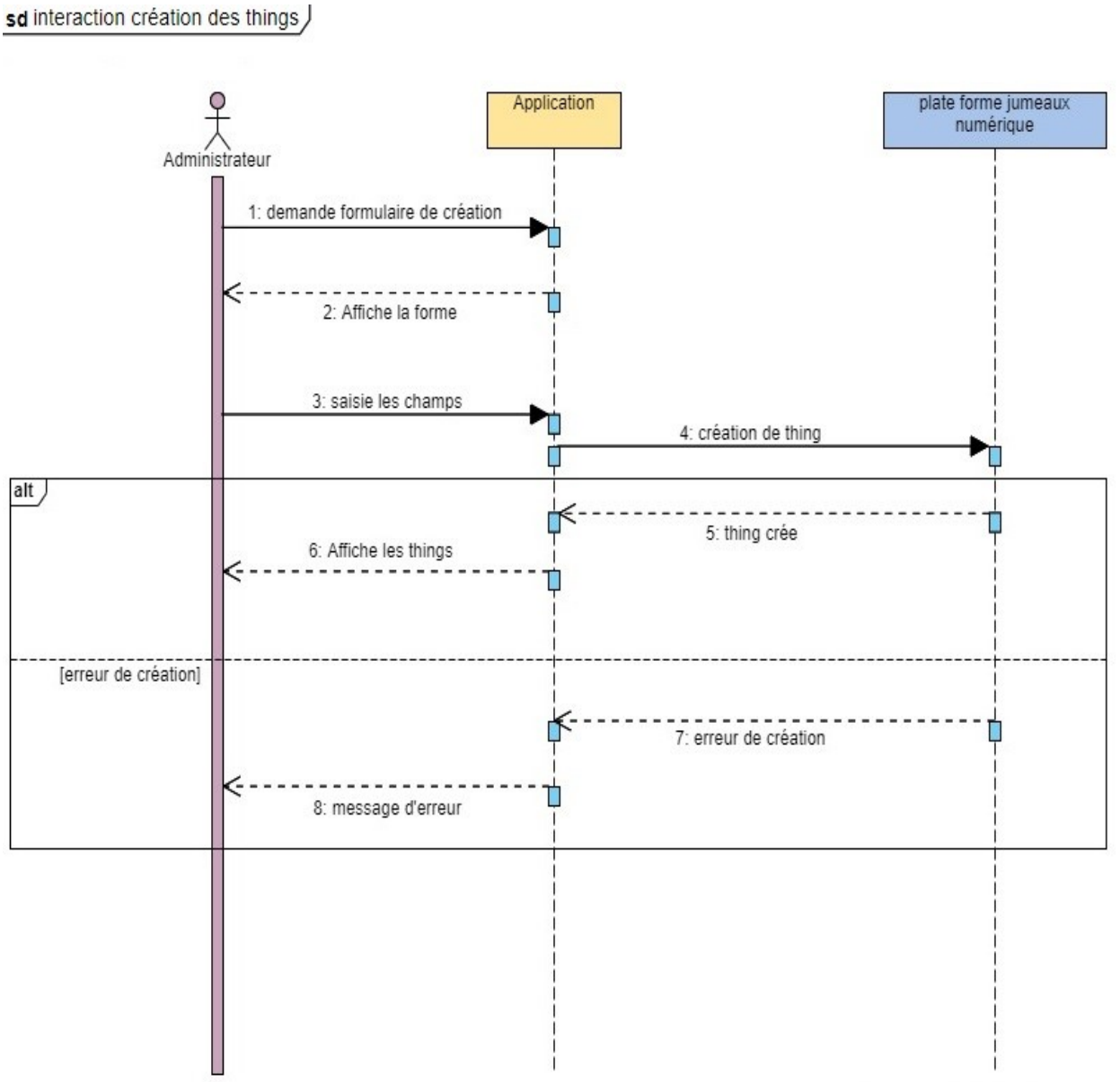


Figure III.6. Diagramme de séquence pour «La création des things».

VI.2.3. Diagramme de séquence pour supervision «jumeau numérique»

La Figure III.7 **:** description des séquences à effectuer pour entamer la phase de supervision de jumeau numérique**.**

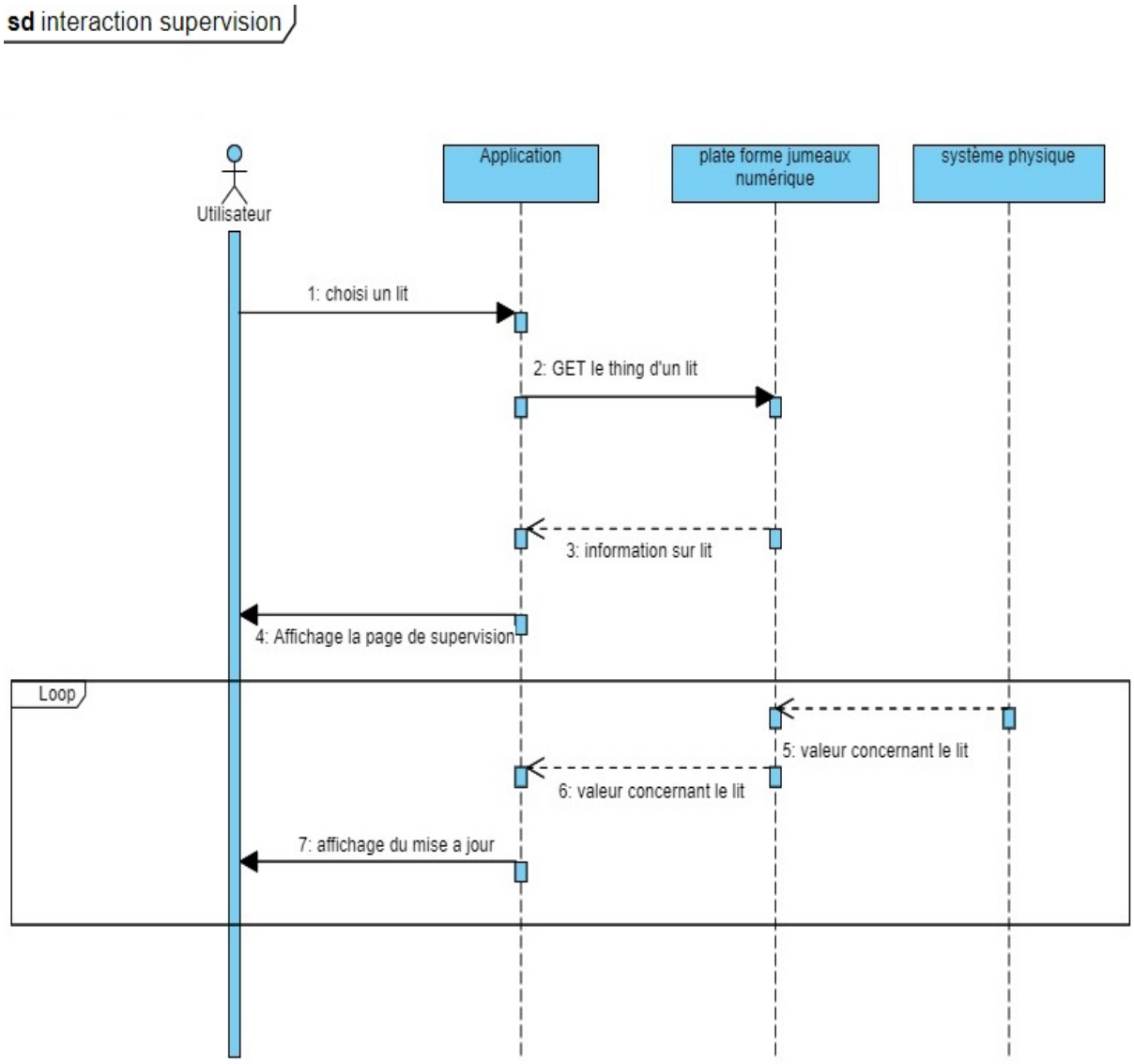


Figure III.7. Diagramme de séquence pour supervision «jumeau numérique».

VI.2.4. Diagramme de séquence pour contrôle «jumeau numérique»

La Figure III.8: description des séquences à effectuer pour entamer la phase de contrôle de jumeau numérique**.**

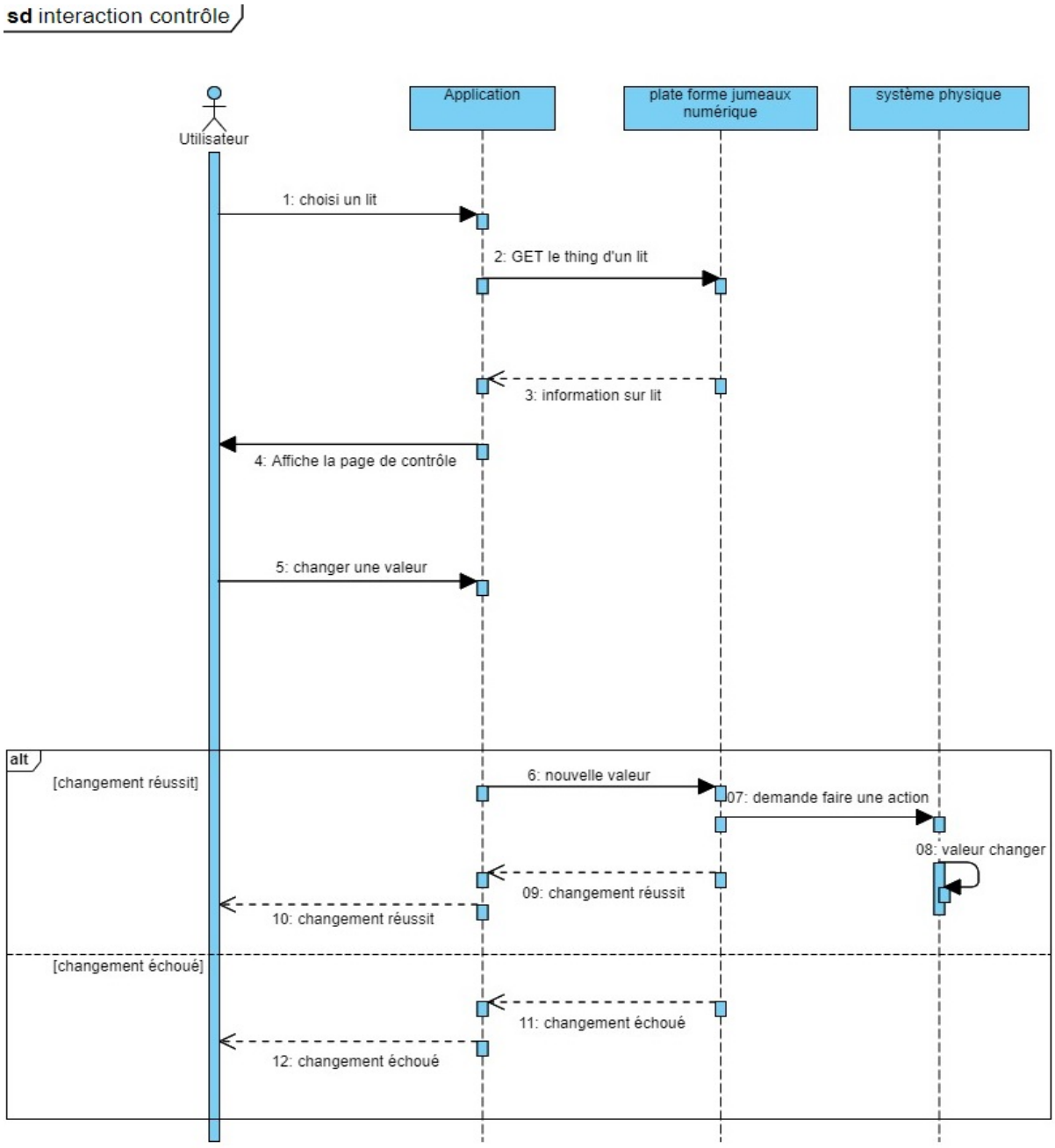


Figure III.8. Diagramme de séquence pour contrôler «jumeau numérique».

VI.3. Intégration avec le système des lits d'hôpital intelligent :

Le but de l'application web est de créer l'interface des jumeaux numériques pour le système des lits d'hôpital intelligents. Le système est lié avec une plateforme des jumeaux numérique « EclipseDitto ».

L'interface des jumeaux numérique crée une connexion avec la plateforme Eclipse Ditto et lui permet de capter tous changement sur les composants du système des lits d'hôpital intelligents au moment s'il y a des changements, aussi pour contrôler l'état du patient, suivre et corriger les modifications facilement. L'échange des informations se fait à l'aide de l'outil Node-RED.

VII. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons conçu et développé une solution basée sur les jumeaux numériques des lits d'hôpital intelligents pour la supervision et le contrôle des patients et des services d'hospitalisation. Connectés au jumeau numérique, les lits d'hôpital ainsi que les patients sur ces lits peuvent être supervisés et contrôlés à travers l'application conçue.

Le chapitre suivant fera l'objet du développement de l'application pour créer l'image numérique des lits d'hôpital intelligents et fournir les fonctionnalités aux différents acteurs de santé.

Chapitre IV : Implémentation

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous arrivons à présenter la partie pratique de notre travail. Le but est de d'implémenter la solution conceptuelle proposée dans le chapitre précédent.

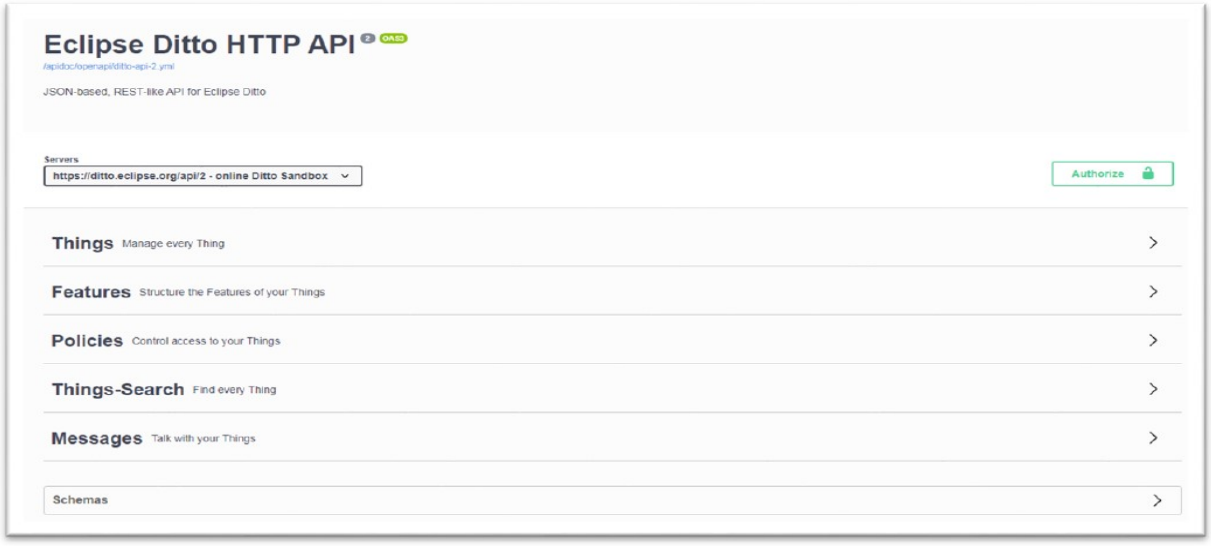
Pour cela, nous avons préparés un environnement de l'implémentation composé de deux plateformes, l'une pour la création des jumeaux numériques et l'autre pour la communication avec les lits d'hôpital intelligents. Par la suite, nous avons développé une application web pour superviser les services d'hospitalisation à travers les jumeaux numériques. Cette application permit le contrôle et la supervision des lits d'hôpital intelligents et les patients occupants ces lits. Nous décrivons aussi, dans ce chapitre l'ensemble des moyens technologiques utilisés dans le développement de notre solution.

II. Environnement d'implémentation

Dans cette partie, nous allons décrire les différents composants de notre environnement d'implémentation. Cette étape est indispensable pour offrir l'architecture de base pour le déploiement de la solution proposée.

II.1. Plateforme des jumeaux numériques

Nous avons utilisé dans notre travail la plateforme Eclipse Ditto qui est une technologie de l'IOT mettant en œuvre un modèle logiciel jumeau numérique. Elle est utilisée pour produire et fournir des outils pour la réalisation des logiciels, englobant les activités de programmation à partir d'une API web. Elle sert comme un intermédiaire entre le système physique et la représentation numérique. La figure IV.1 représente l'interface principale de l'API Eclipse Ditto.



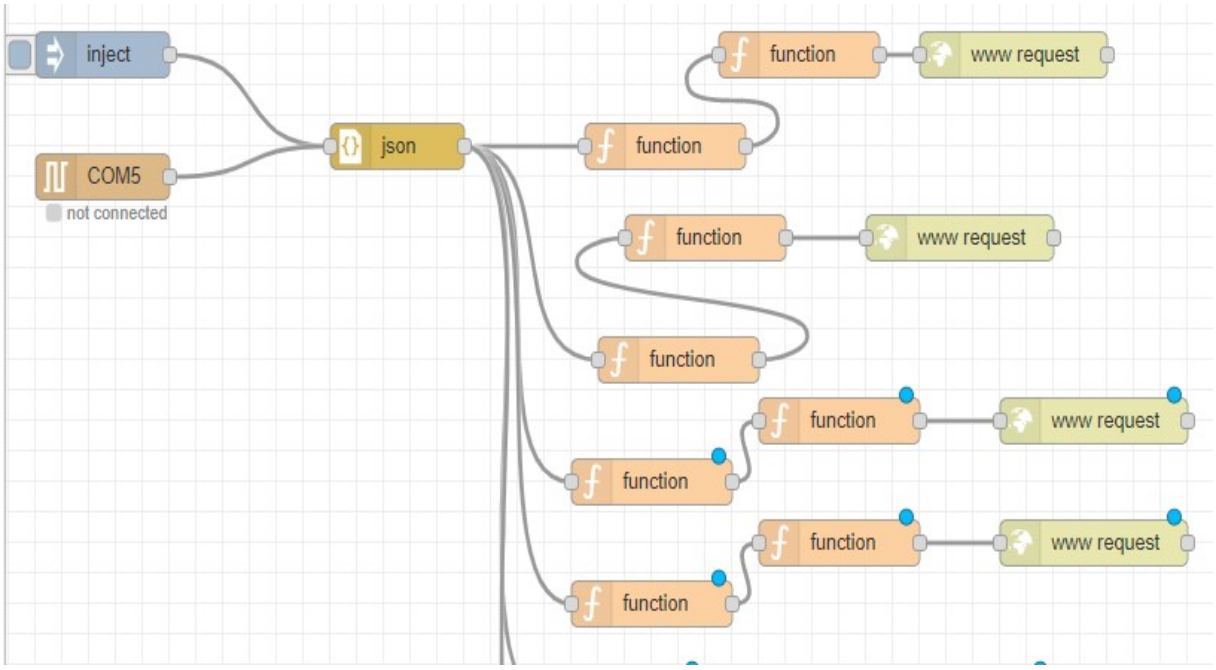
La Figure IV.1. Interface principale de l'API Eclipse Ditto.

II.2. Liaison des lits d'hôpital au jumeau numérique

Dans le cadre de ce travail, nous avons utilisé la plateforme « jumeau numérique d'Eclipse Ditto » pour être créé le modèle jumeau numérique des lits d'hôpital. La liaison du système physique et le jumeau numérique est assuré à travers une couche basée sur l'outil Node-RED. Node-RED est un outil de développement basé sur les flux pour la programmation visuelle développé à l'origine par IBM pour connecter des périphériques matériels, des API et des services en ligne dans le cadre de l'Internet des objets [https://nodered.org/].

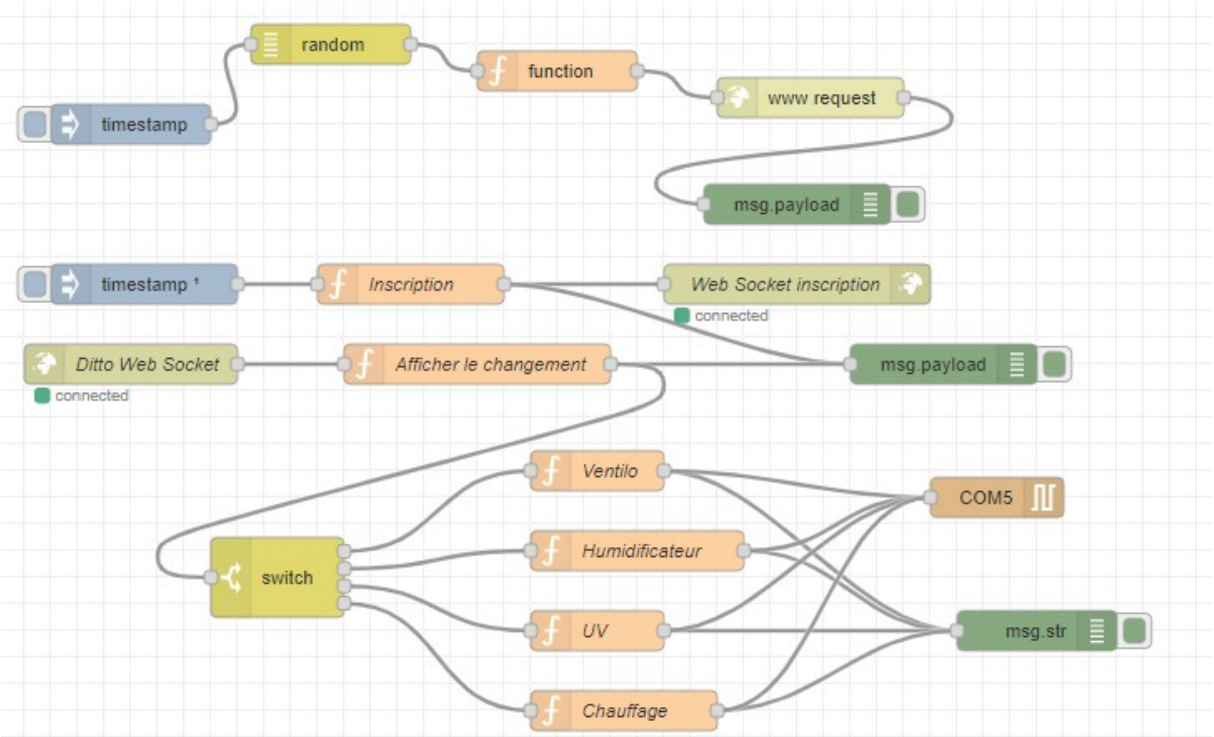
L'outil Node-RED a été utilisé pour connecter les différents capteurs et actionneurs du système physique et récupérer les données capturées pour les communiquer au jumeau numérique.

La figure IV.2représente les déférentes informations capturées du lit d'hôpital intelligent dans NODE-RED en se connectant à travers un port série au lit d'hôpital. Nous avons aussi la possibilité de simuler la récupération des données à travers le nœud « injecte ».



La Figure IV.2. Connexion avec les lits d'hôpital intelligents.

La figure IV.3 représente la connexion avec des actionneurs du lit d'hôpital intelligent à travers le nœud « websocket » dans Node-RED.



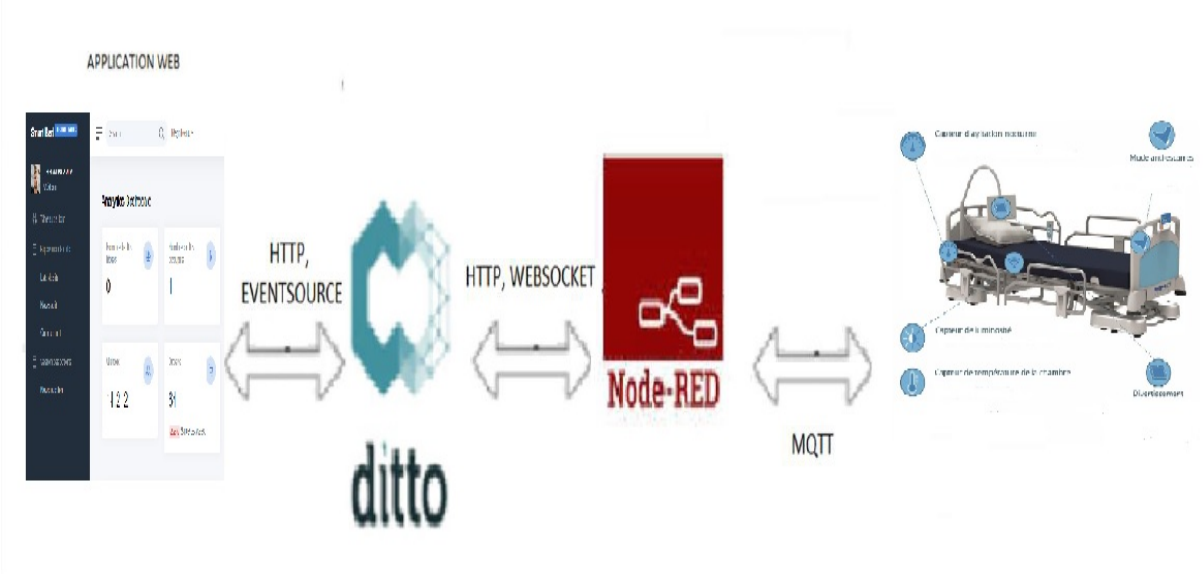
La Figure IV.3. Connexion avec les actionneurs du lit d'hôpital intelligent.

II.3. Application Web

Afin de gérer et superviser les lits d'hôpital intelligents, nous développons une application web permettant la communication avec les différents composants de l'environnement de l'implémentation de notre solution.

Pour ce faire, nous nous somme basée sur la conception décrite dans le chapitre précédent. Nous avons utilisé des langages et outils de développement comme : HTML [28], CSS [28] et JavaScript pour la création de la partie statique des pages web, PHP [28] pour produire des pages dynamiques et envoi/réception des requêtes HTTP sous format de JSON.

La figure IV.4 : représente l'application web dans l'architecture global de notre système.

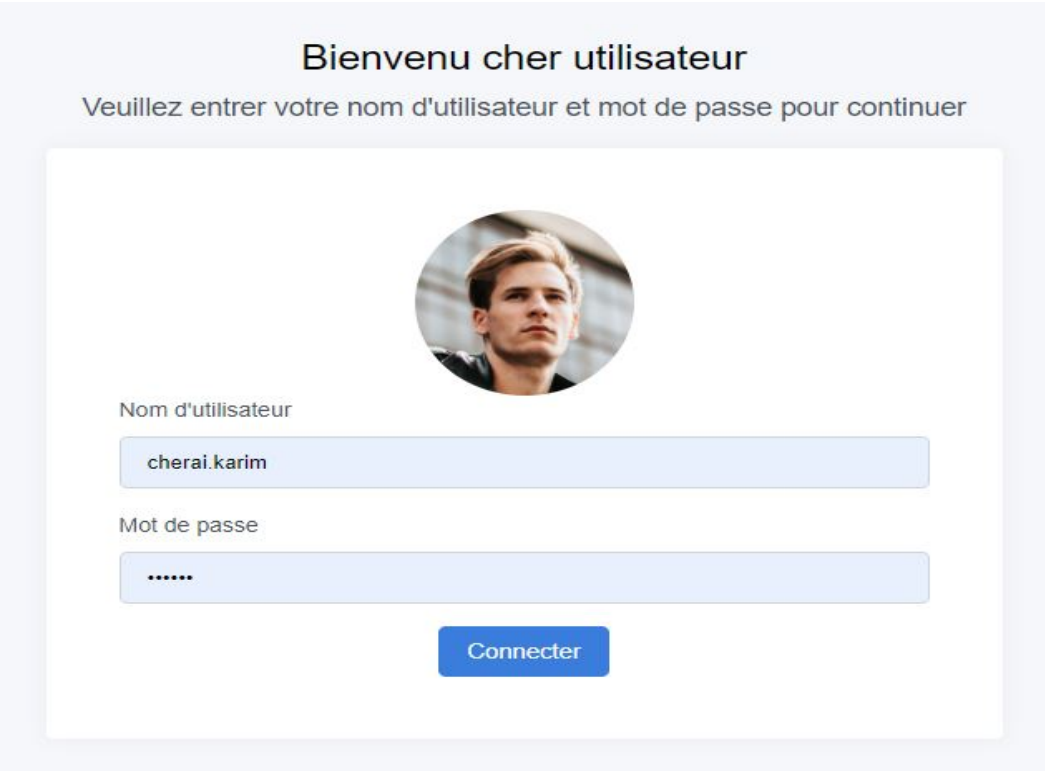


La Figure IV.4. Positionnement de l'application dans l'architecture global de notre solution.

Dans ce qui suit, nous présentons les principales fonctionnalités de l'application développée à travers des copies d'écran.

II.3.1. Interface d'authentification

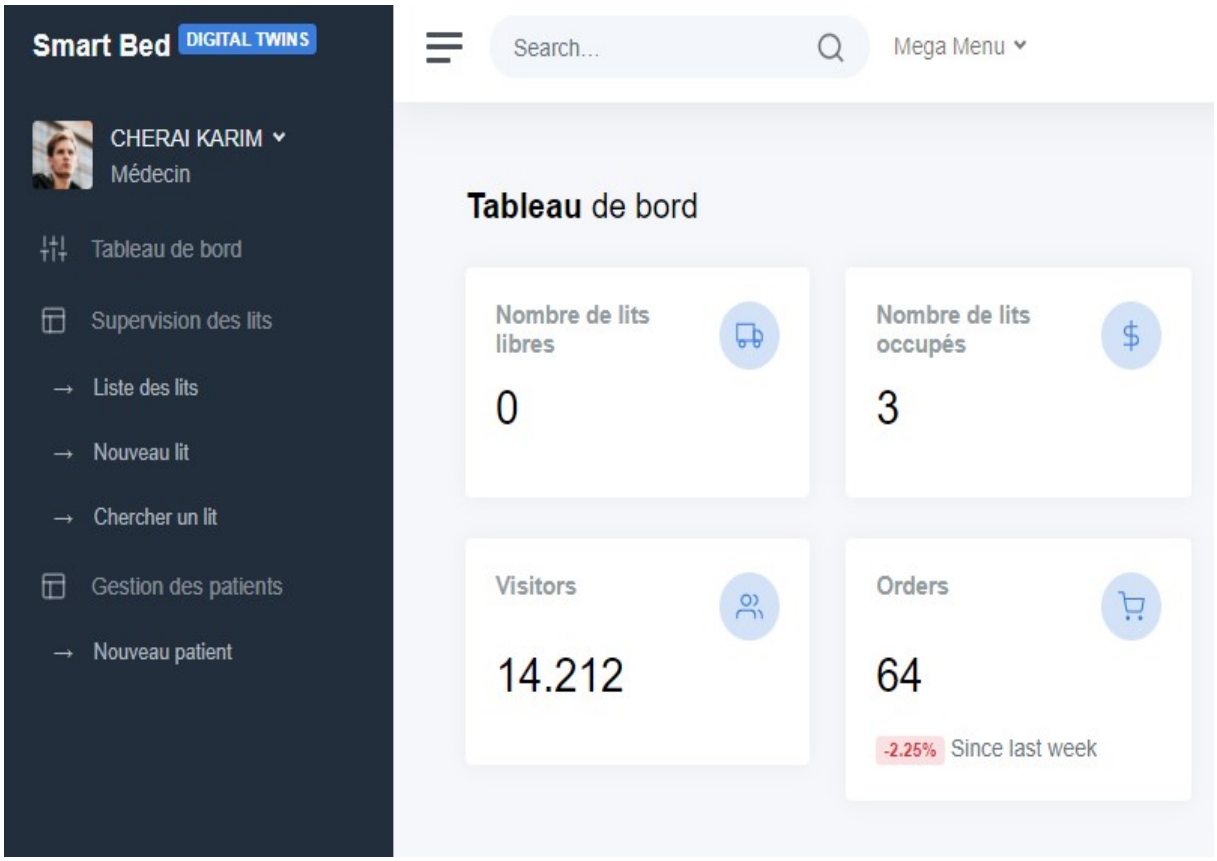
Cette interface permit l'authentification d'un utilisateur selon son rôle (Administrateur, Médecin, infirmier ou Responsable d'hospitalisation) et ces droits d'accès en entrant un nom d'utilisateur et un mot de passe valide.



La Figure IV.5. Interface d'authentification.

II.3.2. Interface d'accueil

L'interface d'accueil de l'application web développée est composée d'un menu permettant l'accès aux différents fonctionnalités de la gestion et de supervision des lits d'hôpital intelligents ainsi que des patients sur ces lits. Elle offre aussi un tableau de bord de gestion qui affiche la liste des lits avec leurs états (libres ou occupés) et des statistiques en temps réel. Toutes ces fonctions sont offertes selon le profil et les droits d'accès des utilisateurs.



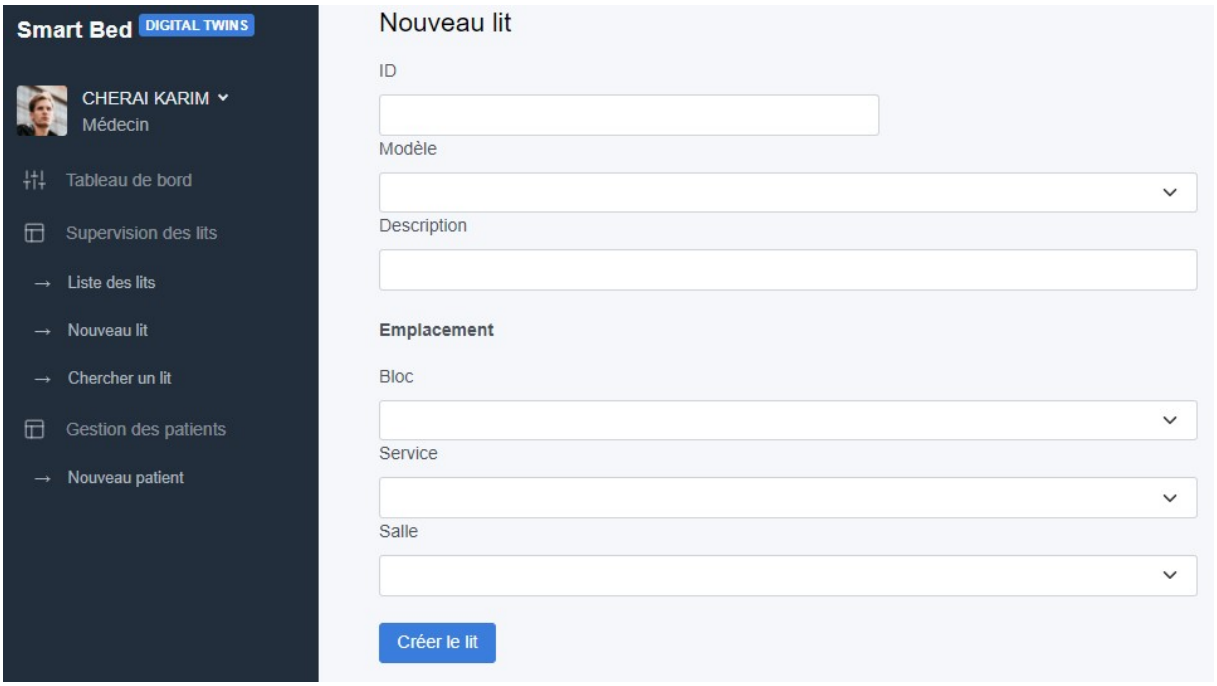
La Figure IV.6. Interface d'accueil de l'application web.

II.3.3. Interface de création des lits d'hôpital intelligents

L'administrateur doit saisir les informations principal du lit d'hôpital et cliquer sur le Button «crée le lit» pour crée le lit d'hôpital intelligent dans la plateforme du jumeau numérique ditto.

Nous signalons que l'application supporte la création de plusieurs types de lits. Il suffit, de choisir le modèle correspondant au lit physique.

La figure IV.6 : représente un exemple de création de lit d'hôpital intelligent.

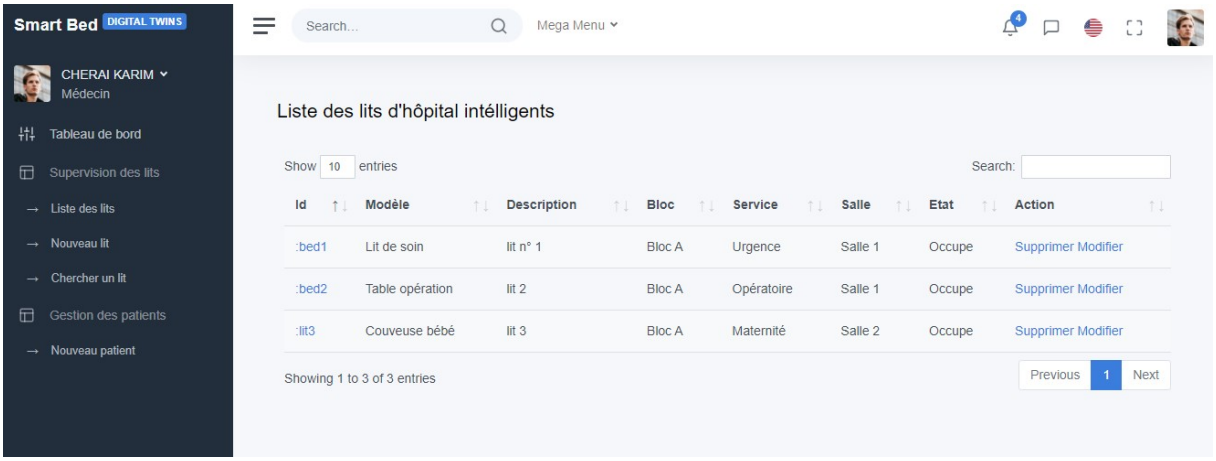


La Figure IV.6. Interface de création de lits d'hôpital intelligents.

II.3.4. Interface de supervision des lits d'hôpital intelligent

Cette interface s'affiche lorsque l'utilisateur choisit de visualiser et superviser un lit d'hôpital intelligent.

La figure IV.6 : représente la liste globale des lits d'hôpital intelligents sur notre système.

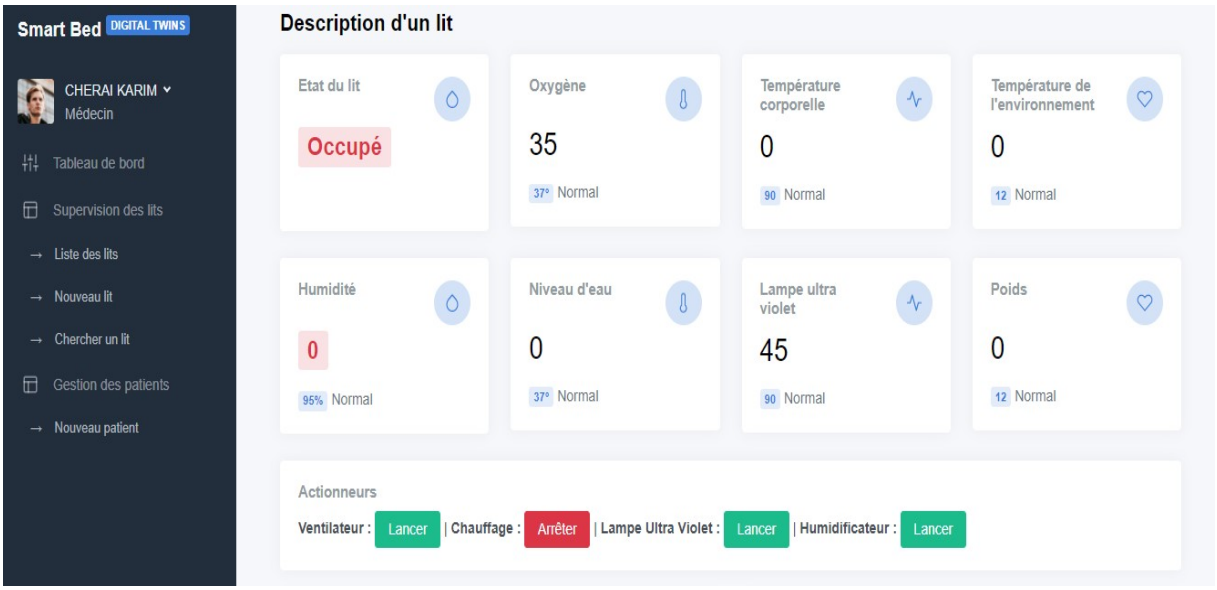


La Figure IV.6. Représente la liste globale des lits d'hôpital intelligents.

II.3.5. Interface de supervision et contrôle de lit

Dans cette interface, l'utilisateur peut avoir n'importe quel lit d'hôpital intelligent pour superviser et contrôler les lits.

La figure IV.7 : représente un exemple de description sur un lit d'hôpital intelligent choisi par l'utilisateur de l'application web.

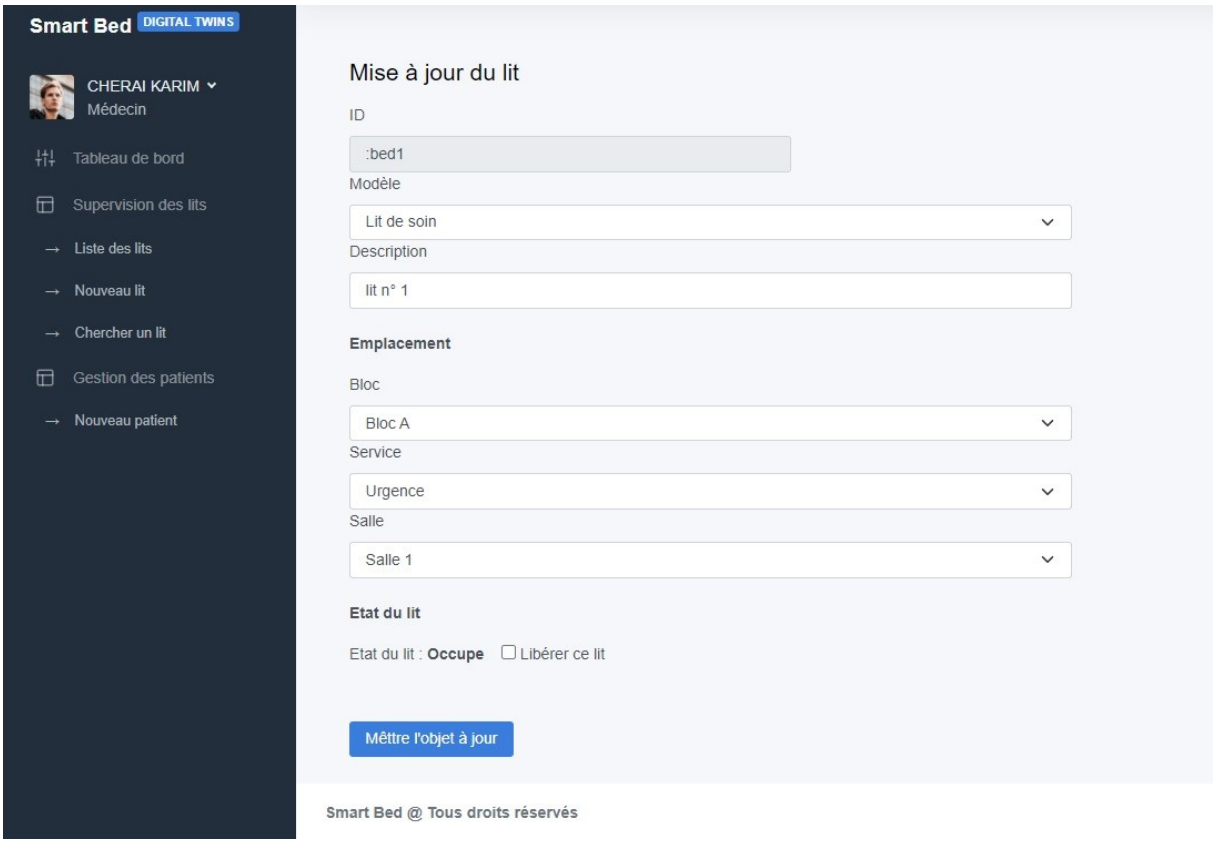


La figure IV.7. Un exemple de supervision d'un lit d'hôpital intelligent.

II.3.6. Interface de mise à jour du lit d'hôpital intelligent

Dans cette interface, l'utilisateur peut faire des mises à jour sur lit d'hôpital intelligent choisi.

La figure IV.8 : représente un exemple de mise à jour sur un lit d'hôpital intelligent choisi par l'utilisateur de l'application web.

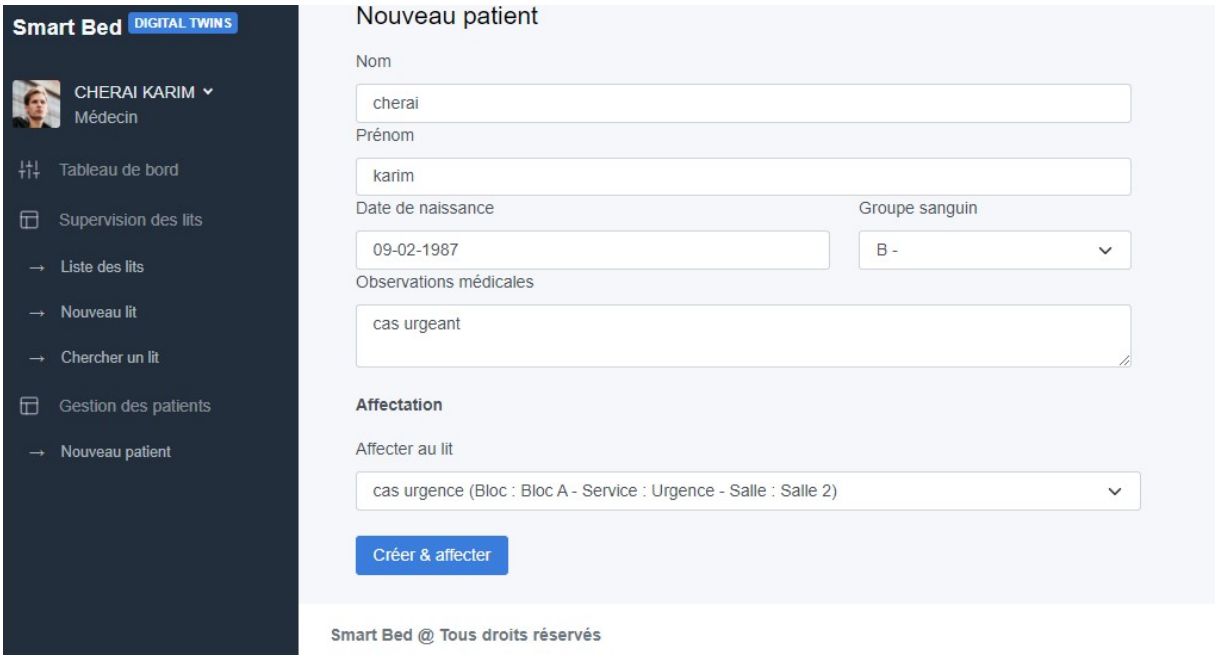


La Figure IV.8. Un exemple de mise à jour sur un lit d'hôpital intelligent.

II.3.7. Interface d'affectation de patient dans le lit d'hôpital intelligent

Dans cette interface, le responsable d'hospitalisation peut affecter le patient sur le lit d'hôpital intelligent libre selon le cas de patient.

La figure IV.8 : représente un exemple d'affectation de patient sur un lit d'hôpital intelligent choisi par l'utilisateur de l'application web.

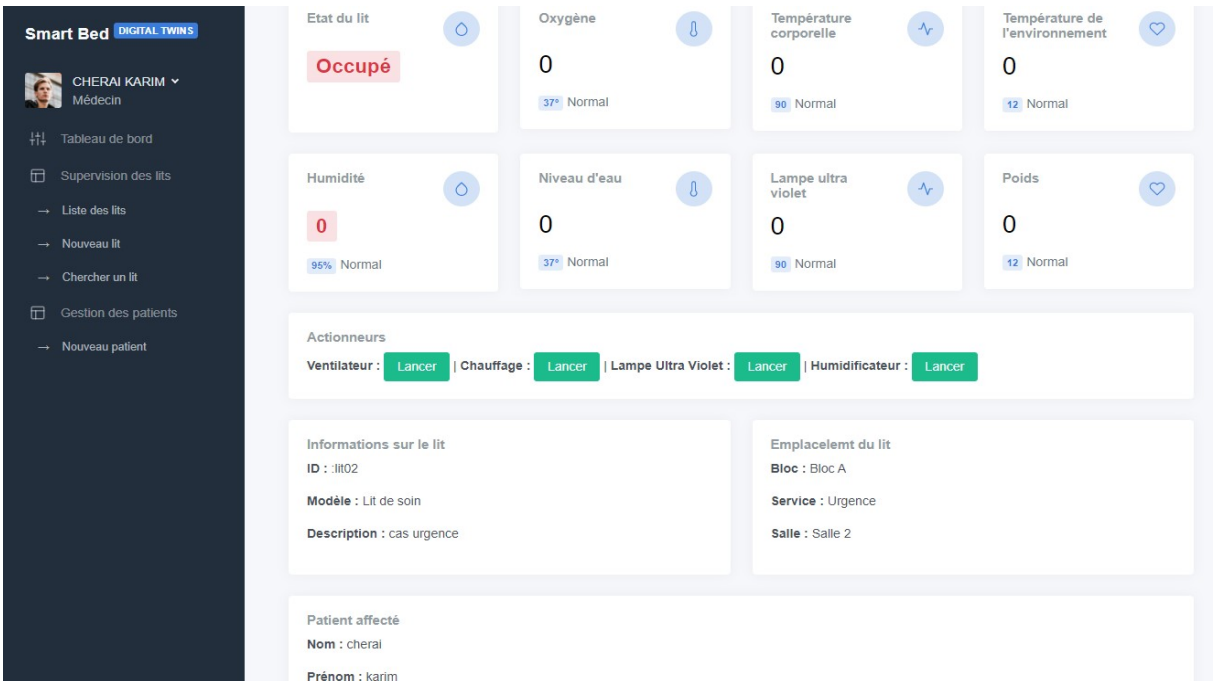


La Figure IV.9. Représente l'affectation de patient sur un lit d'hôpital intelligent.

II.3.8. Interface de supervision et contrôle de patient dans le lit d'hôpital intelligent

Dans cette interface, le médecin peut avoir n'importe quel patient sur le lit d'hôpital intelligent pour superviser et contrôler le lit et l'état de santé du patient.

La figure IV.7 : représente un exemple de description sur un patient dans le lit d'hôpital intelligent choisi par le médecin de l'application web.



La Figure IV.10. Supervision d'un patient à travers un lit d'hôpital intelligent.

III. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la partie implémentation et développement de la solution jumeau numérique pour les lits d'hôpital intelligents. La solution a englobée, en plus de la représentation numérique des lits d'hôpital, une application de gestion et supervision des lits et des patients.

Nous avons présenté en détails la réalisation de la solution en décrivant comment créer et connecter un lit d'hôpital intelligent avec son jumeau numérique, en implémentant la solution et en testant cette dernière sur un système réel représentant une couveuse pour un bébé natal.

Conclusion Général

Conclusion général

Le jumeau numérique est la représentation virtuelle d'un objet ou d'un système qui couvre l'ensemble de son cycle de vie. Une mise à jour à partir de données en temps réel, de simulations, d'apprentissage et de raisonnement logique pour prendre des décisions. Un jumeau numérique consiste à créer un modèle virtuel complexe correspondant à une modèle physique

Dans ce mémoire nous avons conçu un jumeau numérique pour les lits d'hôpital intelligents et développer une application web permet de gérer et superviser les lits en permettant aux acteurs de la santé la d'utiliser les jumeaux numériques.

Durant la préparation de notre projet de fin d'étude, nous avons essayé de mettre en pratique les connaissances acquises durant nos années d'études universitaires et cela dans le but de réaliser un application web pour gérer superviser le lit d'hôpital intelligent , 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 santés Cette idée est un système qui peut aider à améliorer la gestion d'un lit d'hôpital en facilitant la gestion des informations effectué par l'application développée.

Notre projet était en relation avec plusieurs autres domaines comme l'électronique appliquée, la santé 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 sur lits d'hôpitaux, en simulant en temps réel ce qui se passe à chaque instant et à tout moment, d'avoir un bon fonctionnement du lits d'hôpitaux intelligents, de capter les informations. D'améliorer leur contrôle et leur visualisation via son jumeau numérique, et en permettant aux médecins et aux infirmières de surveiller l'état des patients à distance et aux administrateurs d'hôpitaux de contrôler l'état et les fonctionnalités des lits d'hôpitaux

Notre travail est encore d'actualité et ne s'arrête pas à ce niveau. En effet il y a plusieurs perspectives qui sont ouvertes par exemple, mais sans s'y limites est de créer une application qui permet de collecter, et de traiter les données des lits d'hôpitaux intelligents à l'aide de l'apprentissage automatique à travers des alarmes et des capteurs.

Bibliographie

Bibliographie

[1] https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/linternet-des-objets-au-coeur-des-smart-grids/definitions-autour-des-objets-connectes consulter le 10/03/2021

[2] Définition d'objet connecté Gabriel Dabi-**Schwebel**

[3] https://www.oracle.com/fr/internet-of-things/what-is-iot/ consulter le 15/04/2021

[4] Organisation des Nations Unies pour les télécommunications, Présentation générale de l'Internet des objets consulter le 15/06/2021

[5] Yassine HADDAB Introduction à l'internet des objets (IdO – IoT) Professeur à l'Université de Montpellier

[6] Sylvain, C, Définition Jumeau Numérique, Alliance Industrie du Futur – Janvier 2019

[7] https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html consulter le 15/03/2021

[8] https://netmoregroup.com/digital-twin-explained/ consulter le 15/03/2021

[9] https://www.mecalux.fr/blog/digital-twin consulter le 14/06/2021

[10] https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-de-l-iot/1489511-jumeau-numerique-definition-exemple-en-sante-difference-avec-le-bim/ consulter le 17/04/2021

[11] http://silanus.fr/bts/formationIOT/node-red/nodered.pdf

[12] https://fr.altapps.net/soft/node-red?license=open-source&platform=chrome-os consulter le 18/05/2021

[13] https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/node-red-francais.html consulter le 15/05/2021

[14] https://www.eclipse.org/ditto/ consulter 14/03/2021

[15] https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203581-http-hypertext-transfert-protocol-definition-traduction/ consulter le 12/04/2021

[16] https://actualiteinformatique.fr/internet-of-things-iot/definition-mq-telemetry-transport consulter le 15/05/2021

[17] https://koor.fr/Java/TutorialJEE/jee_websocket_chat.wp#introduction consulter le 08/03/2021

[18] https://blog.engineering.publicissapient.fr/2018/04/16/internet-des-objets-quels-protocoles-applicatifs-utiliser-1-2/ consulter le 28/04/2021

[19] https://fr.xcv.wiki/wiki/Hospital_bed consulter le 15/04/2021

[20] https://www.altivie.fr/produits/location-lit-standard consulter le 15/04/2021

[21] https://www.hospihub.com/focus-secteur-interventionnel/presentation-et-utilisation-de-la-table-operatoire consulter le 15/04/2021

[22] https://www.mpedia.fr/art-prematures-et-surveillance/ consulter le 14/06/2021

[23] https://blog.evesleep.fr/quest-ce-quun-lit-medical/ consulter le 14/06/2021

[24] https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/maths/astuce/tous-niveaux-7/tpe-2010-physique.html consulter le 14/06/2021

[25] https://nodered.org/ consulter le 14/03/2021

[26] https://www.eclipse.org/ditto/ consulter le 14/03/2021

[27] Yohann Richarde, Modélisation avec UML, Février 2000

[28] https://www.w3schools.com/ consulter le 10/05/2021