الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Département de Mathématiques et d'informatique

Mémoire

Présenté pour l'obtention du Diplôme de Master

En informatique

Spécialité : Ingénierie Des Systèmes Et Technologie Web

Optimisation de l'Admission des Patients dans les Hôpitaux : Architecture basée Services

Proposé

- **RAHIM Messaoud**

Préparé et présenté par

- OTMANINE Moufida
- BENCHELIF khaoula

2023/2024

Remerciement

Nous remercions le bon Dieu, le tout puissant, de nous avoir donné la force pour suivre nos études, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nous remercions sincèrement *Mr. RAHIM MESSAOUD* notre encadreur qui nous aide et qui nous consacre leur temps, pour ses conseils et pour sa supervision éclairée tout au long de la rédaction du rapport.

Nous désirons aussi remercions les jury *Mr. TOUBAL ELBAHI* et

***Mr. RAFAA TAHAR* pour leurs efforts et leur soin apporté à notre travail, Aux tous les enseignants de l'Université YAHIA FARES et spécialement de notre département Mathématiques et Informatique.**

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches, familles et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragé de la réalisation de ce projet.

Merci, merci à tous et à tout

Dédicace

Je dédie ce projet à mes chers parents, ma mère Wafaa et mon père Ahmed, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien, leurs encouragements et leur confiance en moi, qui m'ont poussé à travailler dur et à surmonter les épreuves, ainsi qu'à mes chers frères et sœurs.

À toute ma famille pour ses encouragements et son soutien continus tout au long de mon parcours universitaire.

J'offre également une dédicace particulière à ma chère amie et Mon partenaire dans ce projet, MOUFIDA, Ensemble, nous avons traversé les complexités de ce projet. Nous avons coopéré, échangé des idées et travaillé sans relâche pour atteindre nos objectifs auxquels je voudrais consacrer ce travail, pour vous remercier de votre soutien, de votre formidable coopération, ainsi que de votre engagement et de votre persévérance tout au long de ce projet.

À mes amis Ikram, Nada, Youssra et Djihad, merci d'avoir toujours été à mes côtés, de m'encourager et de m'accorder la pause nécessaire face aux pressions de ce projet. Votre présence l'a rendu encore plus amusant et mémorable.

Je dédie ce projet à nos réalisations collectives tout au long de ce projet. Je serai éternellement reconnaissant pour vos efforts et votre présence dans ma vie, à tous ceux que j'aime, à tous ceux qui m'aiment et à tous ceux qui me sont chers. À tous les professeurs et enseignants qui ont collaboré avec moi et m'ont aidé depuis le premier cycle d'études jusqu'à la fin de mon parcours académique.

Vous avez mes sincères remerciements et mon appréciation.

khaoula

Dédicace

Je dédie ce mémoire à toutes les personnes qui ont joué un rôle essentiel dans la réalisation de ce travail.

À mes professeurs, pour leurs conseils avisés, leur patience et leur soutien indéfectible tout au long de ce parcours.

À mes parents, ma mère AKILA et mon père ABDELHAKIM, pour leur amour inconditionnel, leur confiance en moi et les nombreux sacrifices qu'ils ont faits pour me permettre de poursuivre mes rêves.

À ma famille, pour leur soutien constant, leurs encouragements chaleureux et leur présence réconfortante, en particulier à ma sœur TAKIA et mon frère MAROUANE pour leur complicité et leur motivation.

À ma chère amie et binôme KHAOULA, pour sa collaboration, son dévouement et son soutien tout au long de cette aventure académique, son travail acharné et ta camaraderie ont été d'une aide précieuse.

Et enfin, à mes amies IMENE, DJIHAD, NADA et YOUSRA pour leur écoute, leurs encouragements et les moments de joie et de détente qui ont rendu ce voyage académique bien plus agréable. Votre soutien et votre amour ont été les pierres angulaires de ma réussite, et ce mémoire est le reflet de votre influence positive sur ma vie.

Merci à tous d'avoir cru en moi et de m'avoir aidé à réaliser ce projet.

MOUFIDA

Résumé

Ce travail vise à développer une architecture basée service pour optimiser l'admission des patients au niveau des hôpitaux. La solution conçue s'appuie sur l'utilisation de jumeaux numériques pour représenter les hôpitaux et pour contrôler leurs informations actuelles, un modèle de décision multicritère, qui à son tour utilise les informations actuelles des hôpitaux pour fournir la meilleure décision. Ceci est lié à une plateforme qui permet aux utilisateurs, qu'ils soient médecins, infirmiers, patients ou ambulanciers de rechercher leur destination pour un meilleur service.

Mots clés : e-santé, jumeau numérique, évacuation, modèle de décision multicritère, patients, service, information en temps réel.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى تطوير بنية قائمة على الخدمة لتحسين قبول المرضى في المستشفيات. ويعتمد الحل المصمم على استخدام التوائم الرقمية لتمثيل المستشفيات والتحكم في معلوماتها الحالية، و نموذج قرار متعدد المعايير، والذي بدوره يستخدم المعلومات الحالية من المستشفيات لتقديم القرار الأفضل. ويرتبط ذلك بمنصة تتيح للمستخدمين سواء الأطباء أو الممرضين أو المرضى أو المسعفين البحث عن وجهتهم للحصول على خدمة أفضل.

كلمات مفتاحية : الصحة الإلكترونية , التوأم الرقمي، اخلاء , نموذج القرار متعدد المعايير, مرضى , خدمة , معلومات في الوقت الحالي.

Abstract

This work aims to develop a service-based architecture to optimize patient admission at hospitals. The designed solution relies on the use of digital twins to represent hospitals and to control their current information, a multi-criteria decision model, which in turn uses the hospitals current information to provide the best decision. This is linked to a platform that allows users, whether doctors, nurses, patients or paramedics to search for their destination for better service.

Key words: e-health, digital twin, evacuation, multi-criteria decision model, patients, service, real-time information.

Table des matières

Liste des figures 10

Liste des tableaux..... 11

Liste des acronymes 12

Introduction General 13

1 Chapitre 1 : Jumeaux numériques..... 16

1.1 Introduction.....17

1.2 Internet des objets 17

1.2.1 Fonctionnalité de l'IoT 18

1.2.1 Architecture de IoT 19

1.3 Jumeaux numériques.....20

1.3.1 Type des jumeaux numériques.....20

1.3.2 Avantages et bénéfices des jumeaux numériques 21

1.3.3 Applications de jumeaux numériques.....22

1.4 Technologies et outils utilisées pour les jumeaux.....23

1.4.1 Eclipse ditto.....23

1.4.2 Microsoft Azure Digital Twins 26

1.5 Conclusion 29

2 Chapitre 2 : Modéle de décision multicritères (MDMC) 30

2.1 Introduction.....31

2.2 Fondements théoriques de MDMC 32

2.2.1 Les critères de décision.....32

2.2.2 Les alternatives 32

2.2.3 Les méthodes de pondération des critères et des alternatives 32

2.3 Le processus de décision multicritère (MDMC).....34

2.3.1 Identification des critères.....34

2.3.2 Collecte des données 34

2.3.3 Définition des alternatives 35
2.3.4 Evaluation des performances 35
2.3.5 Agrégation des évaluations 35
2.3.6 Analyse de sensibilité 35
2.3.7 Sélection de la meilleure alternative 35
2.4 Applications du MDMC *37*
2.4.1 Gestion des ressources naturelles 37
2.4.2 Gestion de projets 37
2.4.3 Santé et médecine 37
2.5 Conclusion *38*
3 Chapitre 3 : Conception 39
3.1 Introduction *40*
3.2 Architecture globale de la solution proposée *40*
3.2.1 Système Physique (Hôpital) 40
3.2.2 Jumeaux Numériques 40
3.2.3 Interface Utilisateur 41
3.2.4 Modèle de Décision 41
3.2.5 Utilisateur 41
3.3 Modélisation des Interactions Utilisateur-Système *42*
3.4 Modélisation des hôpitaux *44*
3.5 Jumeau numérique *46*
3.5.1 Thing (Objet) 46
3.5.2 Features (Caractéristiques) 47
3.5.3 Model du jumeau numérique 47
3.6 Illustration des Flux d'Interaction *50*
3.6.1 Processus d'Authentification 50
3.6.2 Processus d'Évacuation 52
3.7 Modèle de Décision Multicritères *54*
3.7.1 Evaluation des Options d'Evacuation 54
3.7.2 Pondération des Critères 54
3.7.3 Comparaison et Sélection de la Meilleure Option 54
3.7.4 Recommandations d'Evacuation 54
3.7.5 Algorithme de model MDMC utiliser 55

3.7.6 Description de l'Algorithme 57
3.7.7 Méthode de Décision Multicritères Utilisée 58
3.8 Conclusion *59*
4 Chapitre 4 : Implémentation ***60***
4.1 Introduction *61*
4.2 Environnement d'implémentation *61*
4.2.1 Eclipse ditto 61
4.2.2 Node-Red 63
4.2.3 API Flask 64
4.3 Processus d'Implémentation *65*
4.3.1 La Création du Jumeau Numérique 65
4.3.2 La Simulation en Temps Réel 67
4.3.3 Plateforme d'évacuation 69
4.4 Conclusion *75*
Conclusion Générale ***76***

Liste des figures

Figure 1-1 : Internet des objets. *17*
Figure 1-2 : couches d'internet d'objets[2]. *18*
Figure 1-3 : Une architecture de système IoT[3]. *20*
Figure 1-4 : types des jumeaux numériques. *21*
Figure 1-5 : Cadre idem pour créer un jumeau numérique[8] *26*
Figure 1-6 : Architecture des Jumeaux Numériques avec Azure Digital Twins[9]. *29*

Figure 2-1 : quelques méthodes de MDMC. 34
Figure 2-2: Processus de décision multicritères. 36

Figure 3-1:architecture globale de la solution proposée 41
Figure 3-2 : Diagramme de cas d'utilisation 43
Figure 3-3 : BDD représente la structure organisationnelle d'un hôpital 45
Figure 3-4 : diagramme de classe de ditto. 46
Figure 3-5: Structure globale de JSON du jumeau numérique d'un hôpital. 49
Figure 3-6 : diagramme de séquence d'authentification 51
Figure 3-7 : diagramme de séquence de demande d'évacuation 53

Figure 4-1 : API Eclipse Ditto[16]. *62*
Figure 4-2 : Composants de l'éditeur Node-Red. *63*
Figure 4-3 : l'utilisation d'API-Flask. *64*
Figure 4-4 : exemple d'un extrait du jumeau numérique représentant l'hôpital *65*
Figure 4-5 : la gestion des jumeaux numériques des hôpitaux. *66*
Figure 4-6 : le formulaire de création d'un jumeau numérique. *67*
Figure 4-7 : exemple de simulation d'un hôpital. *68*
Figure 4-8 : page d'accueil. *69*
Figure 4-9 : page login. *70*
Figure 4-10 : Le tableau de bord. *71*
Figure 4-11 : Hôpitaux disponible. *72*
Figure 4-12 : les médecins d'un hôpital. *72*
Figure 4-13 : les services d'un hôpital. *72*
Figure 4-14 : Une demande d'évacuation. *73*
Figure 4-15 : les résultats d'évacuation. *74*
Figure 4-16 : les détails des résultats. *74*

Liste des tableaux

Tableau 3-1 : Représentation d'objet. 47
Tableau 3-2 : Représentation l'objet avec les fonctionnalités. 48
Tableau 3-3 : Representation des functionalities..... 48

Liste des acronymes

AHP : Analyse hiérarchique des processus
BDD : Le diagramme de définition de bloc
CoAP : Constrained Application Protocol
CRM : Customer Relationship Management
DT : Digital Twins
DTDL : Digital Twins Definition Language
ERP : La planification des ressources de l'entreprise
HTTP : Hyper Text Transfer Protocol
IA : Artificial Intelligence
IoT : Internet of Things
JSON : JavaScript Object Notation
LoRa : Long Range
MDMC : Model de décision multicritère
MQTT : Message Queuing Telemetry Transport
SCM : Supply Chain Management
SysML : Systems Modeling Language

Introduction General

Introduction General

Le domaine de la santé est un secteur fondamental et multidimensionnel qui touche tous les aspects de la vie humaine, de la naissance à la fin de vie. Il englobe une vaste gamme des spécialités dédiées à la promotion, la protection et la restauration de la santé des individus et des populations. Au cœur du système de santé, les hôpitaux représentent des piliers indispensables, offrant des soins médicaux essentiels et jouant un rôle vital dans le bien-être des individus. Cependant, avec leur complexité de gestion, les hôpitaux sont confrontés à une série de défis qui mettent à l'épreuve leur efficacité et leur capacité à répondre aux besoins croissants.

Parmi ces principaux défis on trouve l'évacuation et l'acceptation des patients, un processus complexe qui peut provoquer des conflits et du stress dans de nombreux contextes de soins de santé. Les complexités croissantes de la santé publique, associées à la demande croissante de soins de qualité, ont mis en évidence la nécessité d'améliorer le processus relatif à l'hospitalisation des patients. La bonne orientation des patients et leur admission, au niveau des hôpitaux avec les moyens et les services adéquats, sont essentiels pour garantir une expérience fluide dès le début de leur parcours de soins. Ceci est aussi est important à leur bien-être et à leur confiance dans le système de santé.

Atteindre ces objectifs nécessite une approche stratégique et innovante pour améliorer l'efficacité opérationnelle des établissements de santé. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre projet, qui vise à repenser et à optimiser le processus d'admission des patients en utilisant les dernières avancées technologiques et les meilleures pratiques de gestion.

Notre projet se concentre sur l'utilisation de jumeaux numériques, une technologie émergente qui fournit une représentation virtuelle précise des établissements de santé, y compris leurs ressources, capacités et flux de travail. En combinant cette approche avec le modèle de décision multicritère, nous cherchons à créer un système d'admission des patients plus efficace et plus transparent. En tenant compte de facteurs tels que la proximité de l'hôpital, la disponibilité des services médicaux nécessaires, les ressources disponibles et les contraintes opérationnelles, notre objectif est d'orienter les patients vers les établissements de santé les plus adaptés à leurs besoins, tout en optimisant l'utilisation des ressources hospitalières.

Introduction General

On a proposé ce projet pour essayer de répondre aux questions suivantes :

- Comment les jumeaux numériques peuvent-ils être utilisés pour modéliser de manière précise et dynamique les ressources et les capacités des établissements de santé ?
- Comment les jumeaux numériques peuvent-ils être mis à jour en temps réel pour refléter les changements dans les ressources et les capacités des établissements de santé ?
- Comment un modèle de décision multicritère aide les utilisateurs à prendre de bonnes décisions ?
- Quels sont les critères et les données pertinents à considérer pour guider efficacement les patients vers les hôpitaux les mieux adaptés à leurs besoins ?

Ce document est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre décrit les jumeaux numériques, leurs types, leur structure et leurs fonctions, en plus des outils utilisés pour eux.
- Le deuxième chapitre traite le modèle de décision multicritère, ses fondements, ses méthodes et ses usages.
- Dans le troisième chapitre on a montré toutes les étapes et les méthodologies pour construire notre travail.
- Le dernier chapitre qui est le quatrième contient l'environnement de développement de notre solution ainsi que les résultats finals et les interfaces de la plate-forme.

Chapitre 1 : Jumeaux numériques

1.1 Introduction

Le jumeau numérique est actuellement l'une des tendances technologiques les plus populaires. Ils sont intégrés à l'IoT, offrent des données précieuses et améliorent l'efficacité des activités et appuyer la prise de décision dans différents secteurs.

Ce chapitre a pour but de présenter la technologie des « jumeaux numériques ». En abordant la notion employée par cette technologie et en examinant ses capacités, ses éléments, ses types, ses applications et son impact transformateur sur les soins de santé.

Ce travail examine la force de la technologie des jumeaux numériques tout en expliquant le concept de l'Internet des objets (IoT) ainsi que d'autres protocoles de communication, et propose des plateformes spécifiquement conçues pour leur utilisation.

1.2 Internet des objets

Le concept technologique de l'internet des objets (IoT) désigne un réseau interconnecté d'appareils physiques, tels que des capteurs, des appareils domestiques intelligents, des véhicules et d'autres objets, qui sont munis de capteurs, de logiciels et de connectivité Internet. Ces dispositifs ont la capacité de recueillir, de communiquer et d'échanger des informations entre eux et avec d'autres systèmes informatiques en ligne, sans nécessiter d'intervention humaine directe[1].

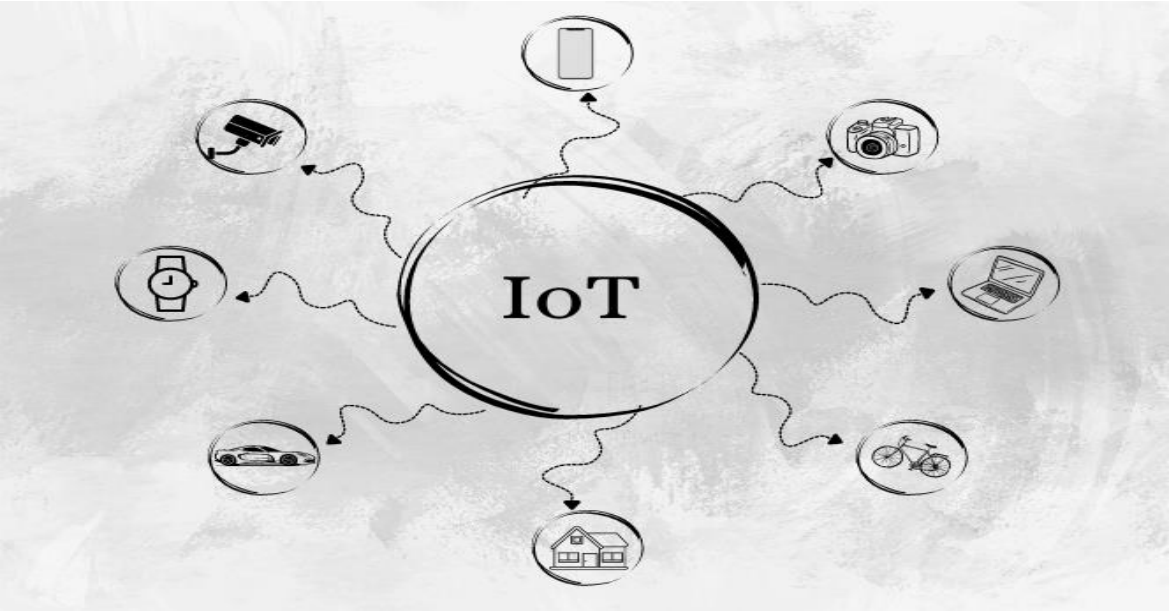


Figure 1-1 : Internet des objets.

1.2.1 Fonctionnalité de l'IoT

L'internet des objets fonctionne principalement avec des capteurs et objets connectés placés dans/sur des infrastructures physiques. Ces capteurs vont alors émettre des données qui vont remonter à l'aide d'un réseau sans fil sur des plateformes IoT. Elles pourront ainsi être analysées et enrichies pour en tirer le meilleur profit. Ces plateformes de data management et de data visualisation sont les nouvelles solutions IoT permettant aux territoires, entreprises ou même usagers d'analyser les données et d'en tirer des conclusions pour pouvoir adapter pratiques et comportements[2].

Cette notion d'internet des objets peut être expliquée grâce au concept de « Service oriented Architecture » décomposé en quatre couches différentes appelées layer. Nous vous l'expliquons à l'aide du la figure 1-2 ci-dessous :

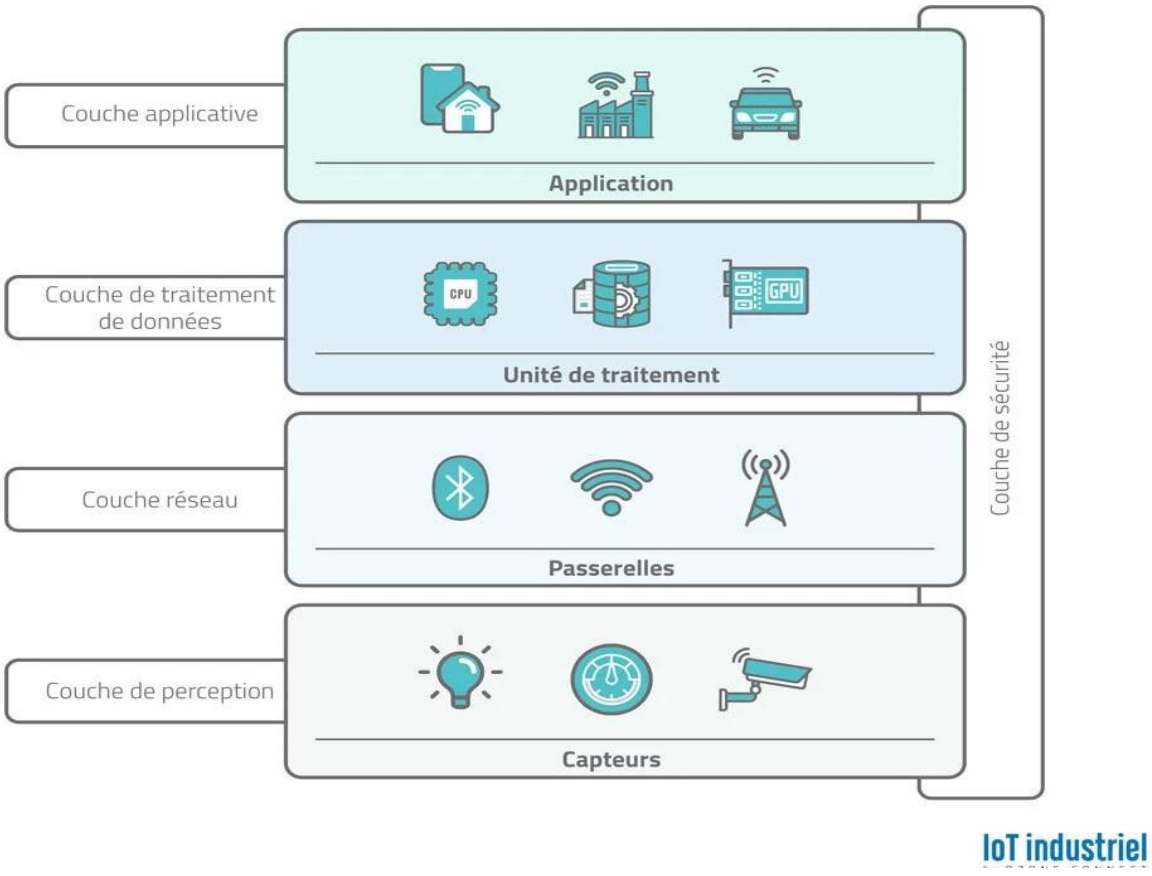


Figure 1-2 : couches d'internet d'objets[3].

1.2.1 Architecture de IoT

L'architecture de l'Internet des Objets (IoT) est un cadre conceptuel qui décrit la structure et l'organisation des systèmes IoT, y compris les composants et les couches logicielles qui les composent. Voici une vue générale des principales composantes d'une architecture typique de l'IoT :

- **Dispositifs IoT (Capteurs et Actionneurs) :** Ce sont les appareils physiques qui collectent des données de l'environnement (capteurs) ou effectuent des actions dans l'environnement (actionneurs). Ils sont équipés de capteurs, d'actuateurs, de microcontrôleurs et de connectivité réseau (Wi-Fi, Bluetooth,etc..).
- **Réseau de Communication :** Il s'agit de la couche qui permet la transmission des données entre les dispositifs IoT et les autres composants du système. Les protocoles de communication courants incluent MQTT, CoAP, HTTP, LoRa, etc..
- **Passerelles IoT :** Ces dispositifs sont utilisés pour agréger, filtrer et transférer les données entre les dispositifs IoT locaux et les serveurs cloud. Ils peuvent également fournir des fonctionnalités de sécurité, de gestion des dispositifs et de mise en cache des données.
- **Plateforme Cloud IoT :** Cette couche comprend les services cloud qui permettent le stockage, le traitement et l'analyse des données IoT. Elle peut également inclure des services de gestion des dispositifs, d'authentification, d'autorisation et de visualisation des données.
- **Applications IoT :** Ce sont les interfaces utilisateur ou les applications logicielles qui permettent aux utilisateurs de surveiller et de contrôler les dispositifs IoT, ainsi que d'analyser et de tirer des insights à partir des données collectées.
- **Sécurité :** La sécurité est une composante essentielle de l'architecture IoT, impliquant des mécanismes tels que l'authentification des dispositifs, le chiffrement des données, la gestion des clés, la détection des intrusions, etc.
- **Intégration avec les Systèmes d'Entreprise :** Dans de nombreux cas, les données IoT doivent être intégrées avec les systèmes d'entreprise existants, tels que les systèmes ERP, CRM, SCM.

La Figure 1-2 représente une architecture de système Iot :

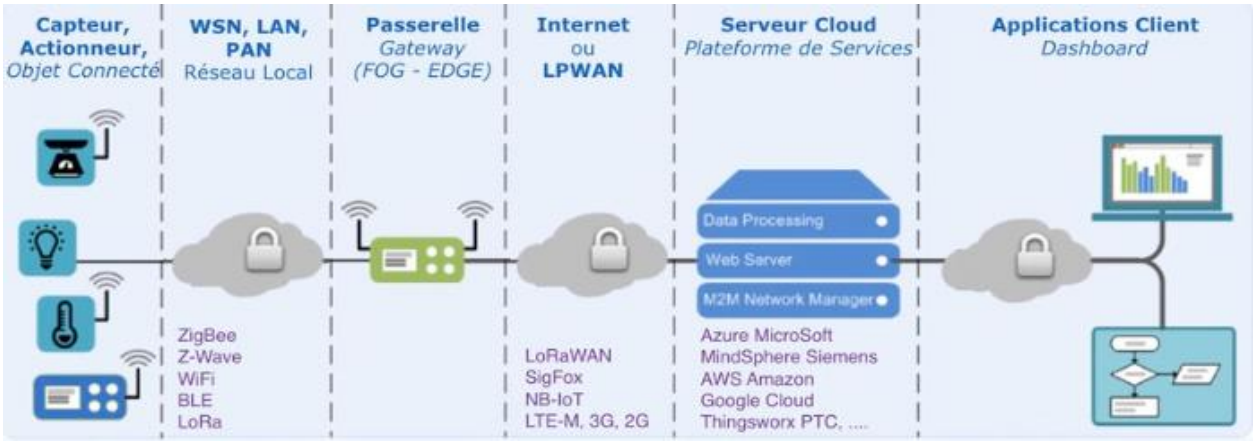


Figure 1-3 : Une architecture de système IoT[4]

1.3 Jumeaux numériques

Un jumeau numérique est une représentation virtuelle d'un objet ou d'un système qui couvre son cycle de vie. Il est mis à jour à partir de données en temps réel et utilise la simulation, l'apprentissage automatique et le raisonnement pour faciliter la prise de décision [5].

1.3.1 Type des jumeaux numériques

Il existe différents types de jumeaux numériques en fonction du niveau d'agrandissement du produit. La plus grande différence entre ces jumeaux est le domaine d'application. Passons en revue ces types :

- **Jumeaux de composants/jumeaux de pièces**

Les jumeaux de composants sont l'unité de base des jumeaux numériques, le plus petit exemple de composant fonctionnel. Les jumeaux de pièces sont à peu près la même chose, mais relèvent de composants d'une importance légèrement moindre.

- **Jumeaux d'actifs**

Lorsque deux composants ou plus fonctionnent ensemble, ils forment ce que l'on appelle un actif. Les jumeaux d'actifs vous permettent d'étudier l'interaction de ces composants, créant ainsi une mine de données sur les performances qui peuvent être traitées puis transformées en informations exploitables.

- **Jumeaux de systèmes ou d'unités**

Le niveau d'agrandissement suivant concerne les jumeaux de systèmes ou d'unités, qui vous permettent de voir comment différents actifs s'assemblent pour former un système fonctionnel complet. Les jumeaux de systèmes fournissent une visibilité sur l'interaction des actifs, et peuvent suggérer des améliorations de performance.

- **Jumeaux de processus**

Les jumeaux de processus, le niveau macro de l'agrandissement, révèlent comment les systèmes fonctionnent ensemble pour créer une structure de production entière. Ces systèmes sont-ils tous synchronisés pour fonctionner au maximum de leur efficacité, ou les retards d'un système affecteront-ils les autres ? Les jumeaux de processus peuvent aider à déterminer les schémas de synchronisation précis qui influencent finalement l'efficacité globale.

La figure 1-3 présent les types des jumeaux numériques :

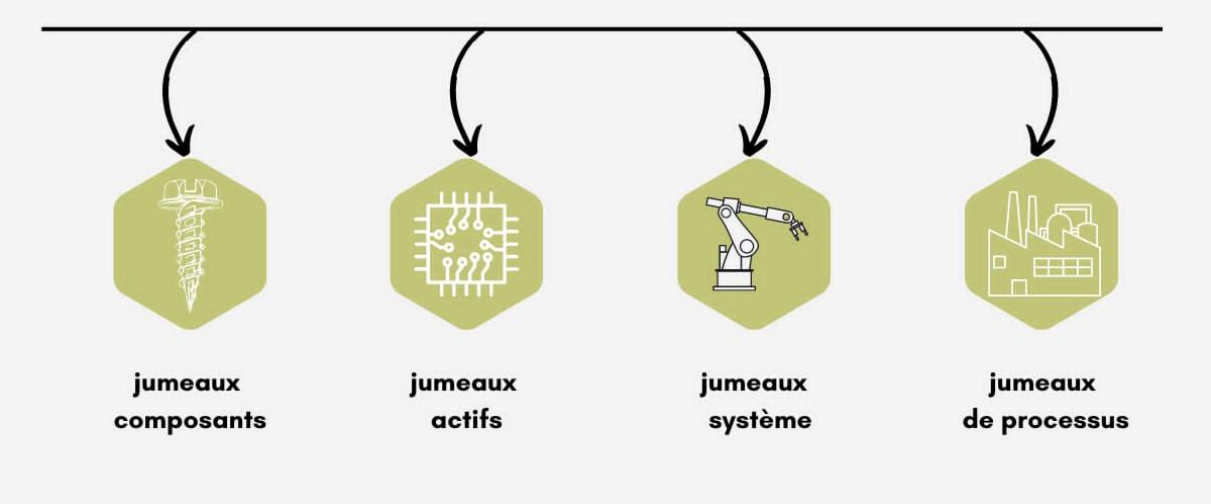


Figure 1-4 : types des jumeaux numériques.

1.3.2 Avantages et bénéfices des jumeaux numériques

- **Meilleures recherche et développement**

L'utilisation de jumeaux numériques permet une recherche et une conception plus efficaces des produits, avec une abondance de données créées sur les résultats probables des performances. Ces informations peuvent permettre aux entreprises d'affiner leurs produits avant de lancer la production.

- **Plus grande efficacité**

Même après la mise en production d'un nouveau produit, les jumeaux numériques peuvent aider à refléter et à surveiller les systèmes de production, dans le but d'atteindre et de maintenir une efficacité maximale tout au long du processus de fabrication.

- **Fin de vie des produits**

Les jumeaux numériques peuvent même aider les fabricants à décider ce qu'il convient de faire des produits qui arrivent en fin de vie et doivent subir un traitement. Par le biais du recyclage ou d'autres mesures. En utilisant des jumeaux numériques, ils peuvent déterminer quels matériaux des produits peuvent être récoltés.

1.3.3 Applications de jumeaux numériques

Les jumeaux numériques offrent des solutions innovantes pour optimiser les processus dans divers secteurs [4].

Voici quelques exemples d'applications des jumeaux numériques :

- **Équipement de production d'énergie**

Les gros moteurs, comme les turboréacteurs, les moteurs de locomotives et les turbines de production d'électricité, utilisent des jumeaux numériques pour optimiser les calendriers de maintenance.

- **Les structures et leurs systèmes**

Les grandes structures physiques, telles que les grands bâtiments ou les plateformes de forage en mer, peuvent être améliorées grâce aux jumeaux numériques, notamment lors de leur conception. Elle est également utile pour concevoir les systèmes fonctionnant à l'intérieur de ces structures, tels que les systèmes CVC.

- **Opérations de fabrication**

Comme les jumeaux numériques sont censés refléter l'ensemble du cycle de vie d'un produit, il n'est pas surprenant que les jumeaux numériques soient devenus omniprésents à toutes les étapes de la fabrication, de la conception jusqu'au produit fini.

- **Industrie automobile**

Les voitures incluent de nombreux types de systèmes complexes. Les jumeaux numériques sont largement utilisés dans la conception automobile, tant pour améliorer les performances des véhicules que pour accroître l'efficacité entourant leur production.

- **Urbanisme**

Les ingénieurs civils et les autres personnes impliquées dans les activités d'urbanisme s'appuient beaucoup sur l'utilisation de jumeaux numériques, qui peuvent afficher des données spatiales en 3D et en 4D en temps réel, et également intégrer des systèmes de réalité augmentée dans les environnements construits.

- **Services de santé**

Les organes du corps humain sont modélisés informatiquement, ce qui facilite les essais cliniques, l'aide des chirurgiens ou le test de nouvelles molécules. Ces simulations virtuelles sont élaborées en combinant les propriétés biologiques d'un patient : taille et structure des organes, microstructure des tissus, types cellulaires et même au niveau moléculaire.

Le but est de reproduire n'importe quel acte médical (traitement, intervention chirurgicale...) sur cette copie afin de prévoir les éventuelles conséquences et accélérer le développement du traitement approprié.

1.4 Technologies et outils utilisées pour les jumeaux

1.4.1 Eclipse ditto

Eclipse Ditto est un Framework open source pour les jumeaux numériques et les applications IoT (Internet des objets). Il fait partie du groupe de travail Eclipse IoT et fournit une façon standardisée de représenter, gérer et interagir avec les données et les fonctionnalités des appareils IoT[7].

- **Architecture d'Eclipse Ditto**

L'architecture d'Eclipse Ditto est conçue pour être flexible, extensible et hautement évolutif, permettant la mise en œuvre de solutions IoT robustes et interopérables. Voici une vue générale de l'architecture d'Eclipse Ditto :

➢ **Les services de base**

- Thing Registry : Gère les entités "Thing" (objets connectés) et leurs métadonnées.
- Message Broker : Facilite la communication entre les objets connectés et les applications à l'aide de protocoles tels que MQTT.
- Policy Engine : Gère les autorisations et les politiques d'accès pour les utilisateurs et les objets connectés.
- Gateway : Fournit une interface pour intégrer des dispositifs IoT hétérogènes.

➢ **Digital Twins (DT)**

- Thing Shadows : Représentations virtuelles des objets connectés dans le système, permettant un accès et un contrôle centralisés.
- Thing Descriptors : Contiennent les schémas de données décrivant les propriétés et les fonctionnalités des objets connectés.

➢ **API Layer**

- RESTful API : Interface HTTP pour interagir avec les fonctionnalités de Ditto.
- WebSocket API : Permet une communication bidirectionnelle en temps réel avec les objets connectés.

➢ **Extensions et intégrations**

- Extensions de protocole : Permettent de prendre en charge différents protocoles de communication IoT.
- Intégrations tierces : Interfaces pour intégrer Ditto avec d'autres plateformes IoT, services cloud, etc.

➢ **Data Storage**

- Time Series Database : Stocke les données chronologiques provenant des capteurs et des objets connectés.
- Meta data Store : Stocke les métadonnées des objets connectés et des utilisateurs.

➢ **Security Layer**

- Authentication & Authorization : Gère l'authentification des utilisateurs et des dispositifs, ainsi que les autorisations d'accès.
- Data Encryption : Assure la confidentialité des données échangées entre les objets connectés et la plateforme Ditto.
- Rule Engine : Permet de définir des règles métier pour le traitement des événements et des données.
- Event Bus : Facilite la diffusion des événements aux applications clientes et aux autres services.

- **Protocoles d'Eclipse Ditto**

Les protocoles de communication Idem (DITTO) sont des modes de communication qui protègent et garantissent. Une sécurité optimale des données échangées entre les appareils connectés[8]. Voici quelques-uns des principaux protocoles pris en charge par Eclipse Ditto :

- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)** : MQTT est un protocole de communication léger et efficace largement utilisé dans l'IoT. Eclipse Ditto prend en charge MQTT pour la transmission de données entre les dispositifs IoT et la plateforme Ditto permettant la collecte en temps réel des données des capteurs.
- **HTTP (Hypertext Transfer Protocol)** : HTTP est le protocole de communication standard pour le World Wide Web. Eclipse Ditto utilise HTTP pour l'interaction avec les API RESTful, permettant aux applications et aux services tiers d'accéder aux fonctionnalités de la plateforme Ditto via des requêtes HTTP.
- **WebSocket** : WebSocket est un protocole de communication bidirectionnel qui permet une communication full-duplex sur une seule connexion TCP. Eclipse Ditto peut utiliser WebSocket pour fournir des mises à jour en temps réel des données entre les dispositifs et leurs jumeaux numériques, offrant une communication réactive et efficace.

La figure 1-4 présente principaux protocoles utiliser par Eclipse Ditto :

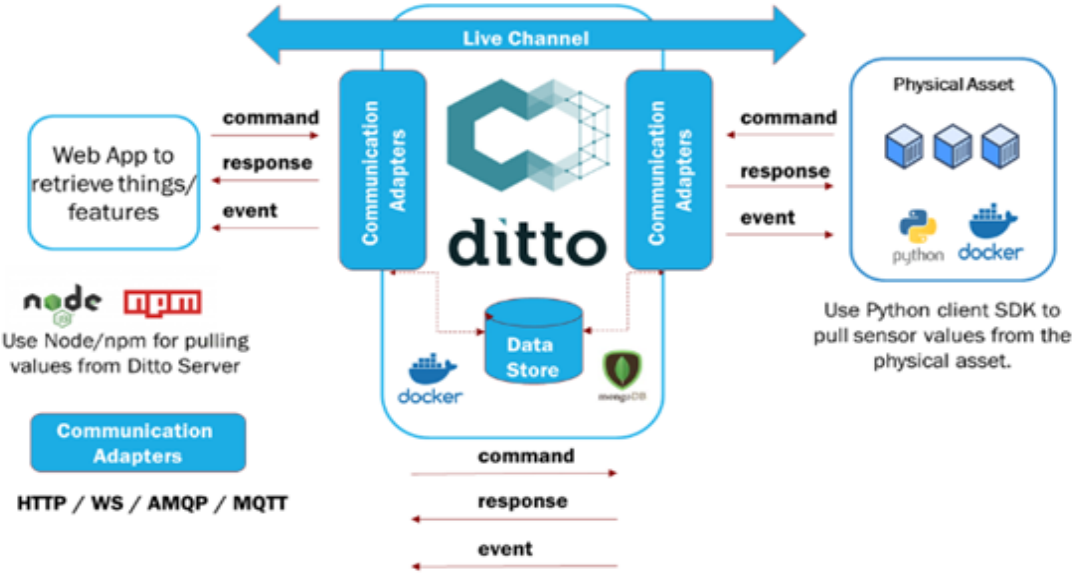


Figure 1-5 : Cadre idem pour créer un jumeau numérique[9]

1.4.2 Microsoft Azure Digital Twins

Azure propose une gamme complète de services conçus spécialement pour les Digital Twins (jumeaux numériques), offrant ainsi une plateforme robuste pour la création, le déploiement et la gestion de représentations virtuelles précises du monde physique. Avec des services tels que Azure Digital Twins, Azure IoT Hub, Azure IoT Central, Azure Digital Twins Plug and Play et Azure Time Series Insights.

Azure Digital Twins est une offre de plateforme en tant que service (PaaS) qui permet de créer des graphes de jumeaux basés sur des modèles numériques d'environnements entiers, qui peuvent être des bâtiments, des usines, des batteries de serveurs, des réseaux d'énergie, des chemins de fer, des stades, etc., voire des villes entières. Ces modèles numériques peuvent être utilisés pour obtenir des insights qui permettent d'améliorer les produits, d'optimiser les opérations, de réduire les coûts et de fournir des expériences client exceptionnelles[10].

- **Caractéristiques Principales**

Voici les caractéristiques principales de Azure Digital Twins :

➢ **Modélisation Flexible**

- Définition d'Environnements : Azure Digital Twins permet aux utilisateurs de définir des environnements en utilisant un langage de modélisation ouvert et flexible appelé Digital Twins Definition Language (DTDL). Cela permet de créer des modèles précis des espaces, des dispositifs et des interactions entre eux.
- Graphes de Jumeaux : La plateforme utilise des graphes pour représenter les relations entre les entités, permettant une visualisation et une navigation intuitives des modèles complexes.

➢ **Connectivité IoT et Ingestion de Données**

- Intégration IoT : Se connecte facilement à une multitude de dispositifs IoT pour collecter des données en temps réel. Azure IoT Hub et IoT Central peuvent être intégrés pour gérer les appareils et les flux de données.
- Ingestion de Données : Azure Digital Twins ingère et normalise les données provenant de diverses sources, incluant les capteurs IoT, les systèmes ERP, et d'autres bases de données d'entreprise.

➢ **Analytique et IA**

- Analytique Temps Réel : Utilise des outils d'analytique avancée pour traiter les données en temps réel, permettant de surveiller les performances des actifs et de détecter les anomalies rapidement.
- IA et Machine Learning : Intègre des capacités d'intelligence artificielle et de machine learning pour analyser les données et fournir des prédictions sur les performances futures des actifs et des systèmes.

➢ **Visualisation et Interface Utilisateur**

- Dashboards Personnalisables : Offre des outils de visualisation qui permettent de créer des dashboards personnalisés pour surveiller les métriques clés et les états des jumeaux numériques.
- Exploration en 3D : Permet de visualiser les jumeaux numériques en 3D pour une meilleure compréhension des environnements complexes et des interactions entre les différents éléments.

➢ **Intégration et Écosystème**

- Interopérabilité : Azure Digital Twins est conçu pour s'intégrer avec d'autres services Azure comme Azure Data Lake, Azure Synapse Analytics, et Azure Machine Learning pour une gestion des données et une analyse avancée.
- API et SDK : Fournit des API et des SDK pour les développeurs, facilitant l'intégration avec des systèmes existants et le développement d'applications personnalisées.

• **Processus et Fonctionnalités d'Azure Digital Twins**

- Collecte des données en temps réel : Les capteurs et les appareils IoT recueillent des données en temps réel à partir de l'environnement physique.
- Azure IoT Hub : Les données sont envoyées à Azure IoT Hub pour la connectivité, la sécurité et la gestion des appareils IoT.
- Azure Digital Twins : Les données sont acheminées vers Azure Digital Twins, où elles sont utilisées pour modéliser et gérer des jumeaux numériques représentant les actifs physiques.
- Analyse des données : Les données peuvent être analysées en temps réel ou stockées pour une analyse ultérieure, permettant de détecter des modèles et des anomalies.
- Visualisation et interaction : Les utilisateurs peuvent interagir avec les jumeaux numériques à travers des interfaces utilisateur, visualisant les données en temps réel et déclenchant des actions en réponse à des événements.
- Sécurité et conformité : Tout le processus est sécurisé et conforme aux normes de l'industrie, avec des fonctionnalités avancées de sécurité et de conformité fournies par Azure.

La figure 1-5 présente une vue d'ensemble de l'architecture et des flux de données pour Azure Digital Twins :

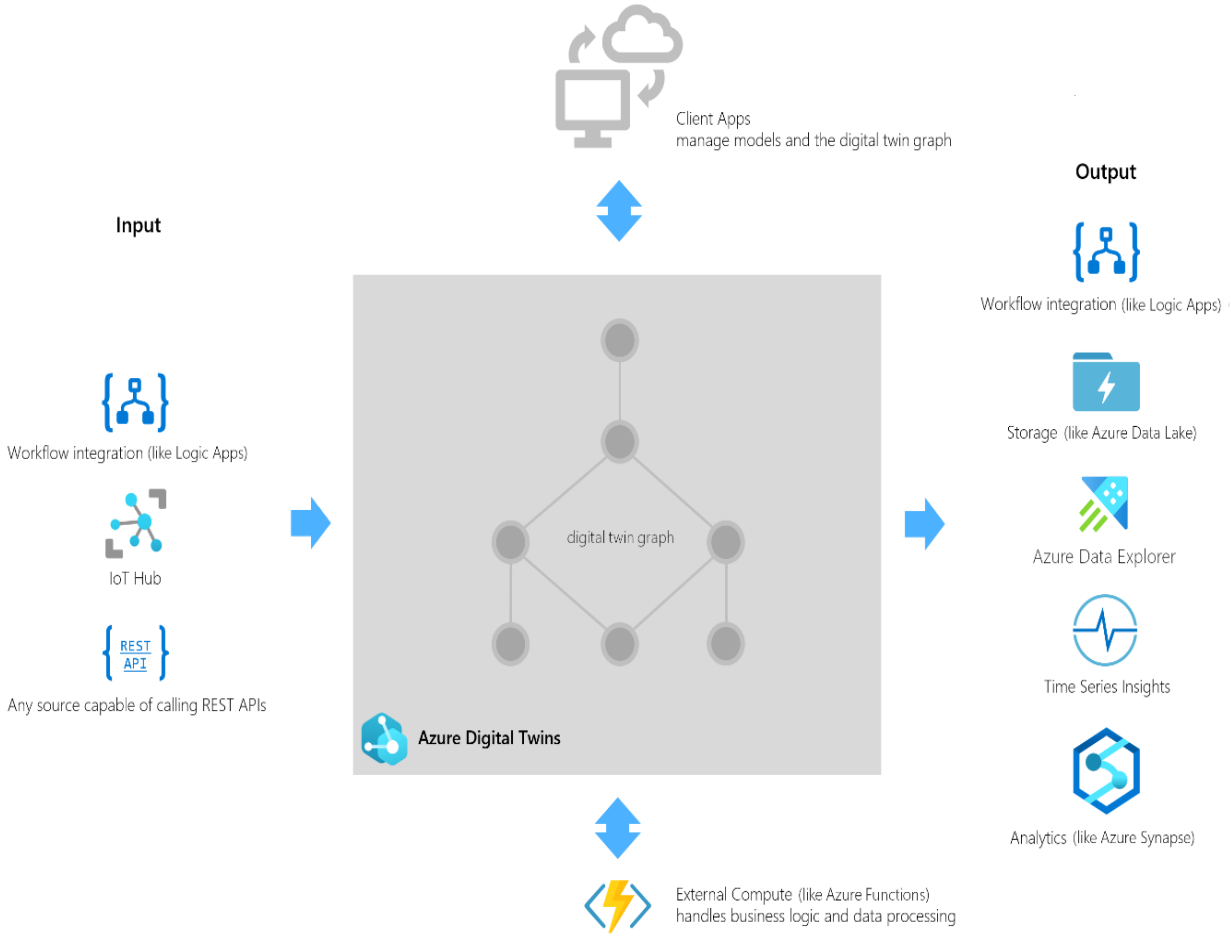


Figure 1-6 : Architecture des Jumeaux Numériques avec Azure Digital Twins[10].

1.5 Conclusion

Ce chapitre a examiné les jumeaux numériques et leur impact dans divers domaines, leur capacité à représenter précisément des objets physiques ou des systèmes en utilisant une synchronisation en temps réel avec le monde réel. En utilisant des technologies telles que l'IoT et l'IA, les jumeaux numériques permettent une surveillance en temps réel, une simulation avancée et une analyse de données pour optimiser les performances des systèmes réels. En guise de conclusion, les jumeaux numériques ouvrent des opportunités majeures pour la transformation numérique et l'innovation dans les technologies IoT.

Chapitre 2 : Modèle de décision multicritères (MDMC)

2.1 Introduction

Aucune décision ne peut être abordée sans se référer au processus décisionnel. La prise de décision, en tant que processus mental complexe, est un programme de résolution de problèmes qui vise à déterminer un résultat souhaitable en considérant différents aspects.

La prise de décision multicritère (MDMC) est un outil de prise de décision qui aide les décideurs à choisir la meilleure solution parmi plusieurs options et alternatives et à développer différentes approches pour résoudre des prises de décision complexes dans (MDMC) en utilisant plusieurs approches avec MDMC[11].

De nos jours la prise de décision multicritère (MDMC) considérée comme l'une des méthodes de prise de décision les plus précises pour des problèmes décisionnels complexes, qui doit être basé sur une structuration appropriée et une évaluation explicite de tous les critères en utilisant des logiciels et outils. En pratique, le MDMC est utilisé pour gérer la structuration, la prise de décision, et les étapes de planification lorsque le domaine possède de multiples critères pour atteindre un optimum solution basée sur les préférences des décideurs. En utilisant des équations mathématiques, des statistiques multiples, des mathématiques, des théories économiques, et des appareils informatiques qui aident à calculer et à estimer les solutions à la prise de décision problèmes automatiquement. Elle prend en compte les différents critères qualitatifs et quantitatifs qui doivent être Trouver continuellement la meilleure solution. Par exemple, le coût ou le prix et la qualité des processus, sont les critères les plus courants dans de nombreux problèmes de prise de décision.

2.2 Fondements théoriques de MDMC

2.2.1 Les critères de décision

Les critères de prise de décision sont des mesures ou des indicateurs employés afin d'évaluer les diverses options ou alternatives lors d'une décision. Ils sont importants car ils offrent un cadre organisé pour comparer de manière objective les différentes options et aider les décideurs à sélectionner la meilleure option en fonction de leurs objectifs et de leurs contraintes[12]

Les critères de décision se caractérisent par leur capacité à guider efficacement le processus décisionnel en fournissant une base objective et mesurable pour évaluer les alternatives. En identifiant et en hiérarchisant les critères pertinents, les décideurs peuvent prendre des décisions éclairées qui répondent aux objectifs souhaités, en tenant compte des contraintes et préférences spécifiques.

2.2.2 Les alternatives

Les alternatives dans le processus de décision se réfèrent aux différentes options ou actions possibles que les décideurs peuvent choisir pour atteindre un objectif donné. Leur évaluation est cruciale car elle permet de comparer et de sélectionner la meilleure alternative en fonction des critères définis.

2.2.3 Les méthodes de pondération des critères et des alternatives

Le processus d'analyse décisionnelle multicritère (MDMC) nécessite des méthodes de pondération des critères et des alternatives[13][11].

Voici quelques-unes des approches les plus fréquemment employées pour évaluer la pondération des critères et des options :

- **Méthode des poids égaux**

Dans cette méthode, chaque critère ou alternative reçoit le même poids. Elle est simple à utiliser mais peut ne pas refléter précisément l'importance relative des critères ou des alternatives.

- **Méthode des poids subjectifs**

Les décideurs attribuent des poids subjectifs aux critères ou aux alternatives en fonction de leur jugement et de leur expérience. Cette méthode est rapide et flexible, mais elle peut être biaisée par les préférences individuelles des décideurs.

- **Méthode des poids attribués**

La méthode des poids attribués est une technique d'analyse multicritère de décision largement utilisée pour aider à la prise de décision dans des situations où plusieurs critères doivent être pris en compte.

- **Méthode des entretiens et des groupes de discussion**

Les poids sont déterminés à travers des entretiens ou des discussions entre les parties prenantes. Elle permet de prendre en compte une diversité de perspectives, mais peut être sujette à des biais de groupe ou à des conflits d'intérêts.

- **Analyse hiérarchique des processus (AHP)**

La méthode AHP permet de structurer le processus de pondération en utilisant une série de comparaisons pairées entre les critères ou les alternatives. Elle fournit des poids relatifs en utilisant des calculs matriciels et des valeurs propres. La méthode AHP est rigoureuse et fournit des poids cohérents, mais elle peut être complexe à mettre en œuvre.

- **Méthode ELECTRE**

Dans cette méthode, les critères sont hiérarchisés en fonction de leur importance relative à l'aide de relations de préférence. Les poids sont déterminés en fonction de la capacité des alternatives à satisfaire les critères les plus importants. La méthode ELECTRE est adaptée aux situations où il existe des compromis entre les critères, mais elle peut être sensible aux variations dans les relations de préférence.

- **Méthode PROMETHEE**

Cette méthode utilise des fonctions de préférence pour comparer les alternatives par rapport à chaque critère. Les poids sont déterminés en agrégeant les préférences individuelles à l'aide de fonctions d'agrégation. La méthode PROMETHEE est flexible et peut être adaptée à différents contextes décisionnels.

La figure 2-1 présente quelques méthodes de décision multicritères :

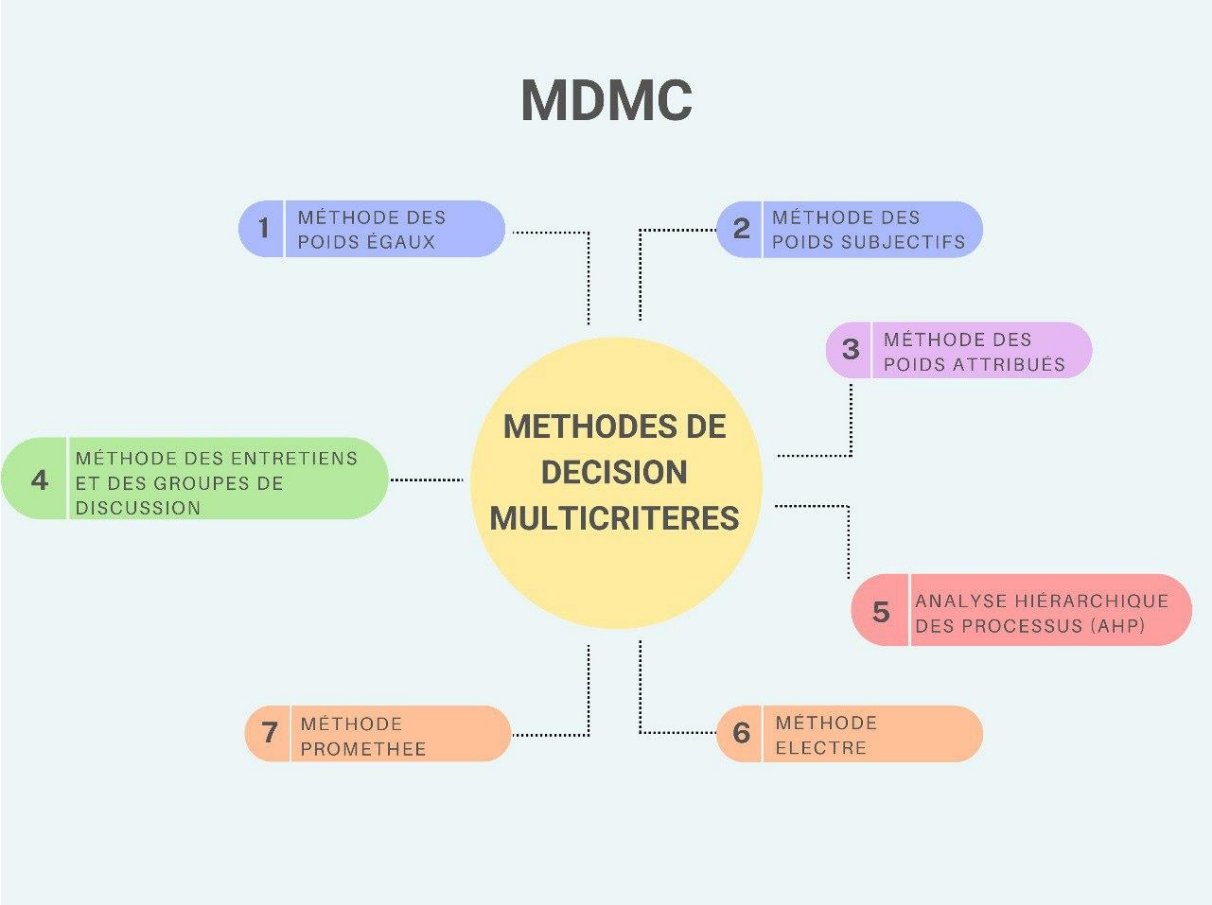


Figure 2-1 : quelques méthodes de MDMC.

2.3 Le processus de décision multicritère (MDMC)

2.3.1 Identification des critères

La première étape consiste à identifier tous les critères pertinents qui doivent être pris en compte dans la décision. Ces critères peuvent être de nature qualitative ou quantitative et peuvent être liés aux objectifs, aux contraintes ou aux préférences des décideurs.

2.3.2 Collecte des données

Une fois les critères identifiés, il est nécessaire de collecter les données pertinentes associées à chaque critère. Ces données peuvent provenir de diverses sources telles que des mesures, des évaluations d'experts ou des données historiques.

2.3.3 Définition des alternatives

Cette étape implique la création d'une liste complète des alternatives ou des options possibles qui seront évaluées dans le processus de décision. Il est important de s'assurer que toutes les alternatives potentielles sont prises en compte.

2.3.4 Evaluation des performances

Chaque alternative est évaluée par rapport à chaque critère en fonction des données collectées. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour évaluer les performances des alternatives, telles que des scores, des pondérations ou des classements.

2.3.5 Agrégation des évaluations

Les évaluations des performances pour chaque alternative et chaque critère sont agrégés pour fournir une évaluation globale de chaque alternative. Il existe différentes méthodes d'agrégation, telles que la pondération linéaire, la méthode des rangs ou les méthodes basées sur les préférences des décideurs.

2.3.6 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité peut être effectuée pour évaluer la robustesse des résultats par rapport aux variations des données ou des pondérations utilisées dans le processus de décision.

2.3.7 Sélection de la meilleure alternative

Enfin, la meilleure alternative est sélectionnée en fonction des résultats de l'évaluation multi-critère. Cette sélection peut être basée sur différents critères tels que l'efficacité, la faisabilité ou les préférences des décideurs.

La figure 2-1 présente le processus de décision multicritères :

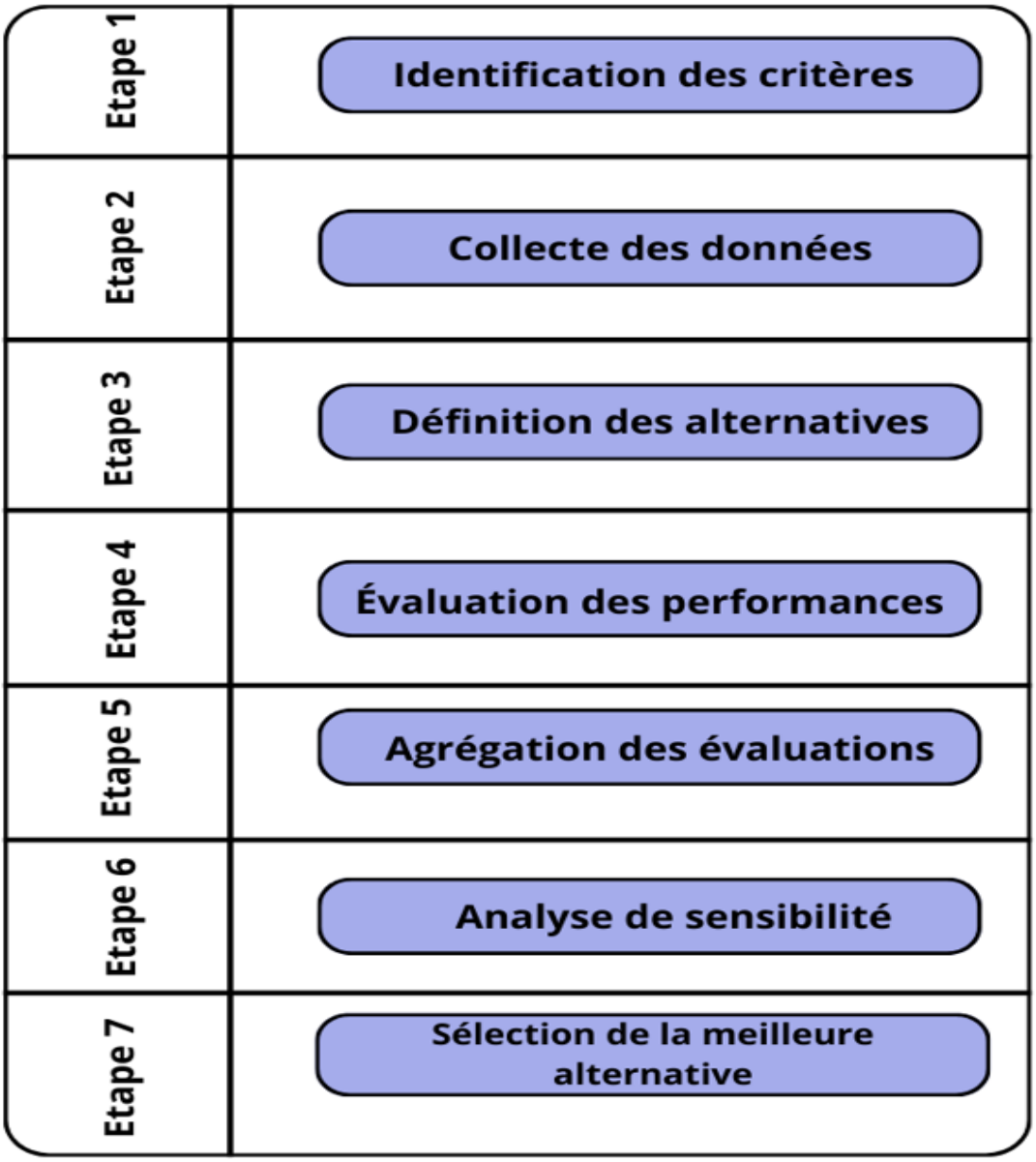


Figure 2-2: Processus de décision multicritères.

2.4 Applications du MDMC

L'analyse décisionnelle multicritère (MDMC) trouve des applications dans de nombreux domaines, aidant à prendre des décisions plus efficaces dans des situations complexes.

2.4.1 Gestion des ressources naturelles

Les décideurs dans ce domaine utilisent les modèles de décision multicritères pour évaluer les politiques de gestion des ressources naturelles telles que l'eau, les forêts et les terres agricoles. Ils peuvent évaluer différentes stratégies en fonction de critères tels que la durabilité environnementale, l'impact économique, la justice sociale et la faisabilité politique.

2.4.2 Gestion de projets

La MDMC peut être utilisée pour estimer les ressources nécessaires à un projet, y compris les coûts, le temps et le personnel requis. En assignant des moyens appropriés à chaque étape du projet, les gestionnaires peuvent planifier efficacement et minimiser les risques.

2.4.3 Santé et médecine

Dans le domaine de la santé publique, les modèles de décision multicritères sont utilisés pour évaluer les politiques de santé, les programmes de prévention des maladies et les options de traitement. Les critères peuvent inclure l'efficacité clinique, la qualité de vie des patients, l'accessibilité aux soins de santé, le coût et l'équité dans l'accès aux services de santé.

Exemples d’application de MDMC dans le domaine de la santé :

- Dans une étude menée par Aldaghi et Muzik, ils ont examiné comment les méthodes de décision multicritère (MDMC) sont utilisées afin d'améliorer la prise en charge du diabète. Les MDMC proposent une approche holistique qui tient compte une variété de facteurs, tels que l'efficacité des traitements, les préférences individuelles des patients, les contraintes financières et les risques potentiels liés à chaque choix thérapeutique. Par exemple, un professionnel de santé pourrait employer une méthode de MDMC afin d'assister un patient atteint de diabète dans le choix de différentes thérapies en prenant en compte non seulement leur taux de glycémie, mais aussi d'autres éléments essentiels de sa vie, tels que son style de vie, ses habitudes alimentaires et son niveau d'activité physique.

En intégrant ces multiples critères dans le processus décisionnel, les MDMC permettent une approche plus individualisée et personnalisée de la gestion du diabète, visant à améliorer la qualité de vie et les résultats cliniques des patients [14].

- "Application of multiple criteria decision analysis for the selection of pharmacological treatments ", les chercheurs étudient dans cette étude comment les méthodes de MCDA peuvent être utiles aux professionnels de la santé pour évaluer et comparer différents traitements pharmaceutiques en fonction de différents critères. L'efficacité clinique, les effets secondaires, la sécurité, le coût, la disponibilité et les préférences des patients peuvent être des critères.

  Grâce à l'utilisation de modèles d'analyse multicritère, les chercheurs ont la possibilité de faire une évaluation objective des avantages et des inconvénients de chaque option de traitement en fonction de son importance relative. Cela donne aux professionnels de santé la possibilité de prendre des décisions plus informées et personnalisées, en optant pour le traitement qui présente le meilleur rapport bénéfices/risques pour chaque individu[15].

2.5 Conclusion

Ce chapitre sur les modèles de décision multicritères nous a plongés dans un domaine où la complexité des choix est abordée avec rigueur et méthode. Nous avons découvert comment ces modèles permettent de prendre en compte une multitude de critères pour éclairer le processus décisionnel dans divers contextes. Malgré les défis rencontrés, tels que la subjectivité et la sensibilité aux poids des critères, ces modèles offrent un cadre analytique précieux pour guider les décideurs vers des choix plus éclairés et plus robustes, particulièrement dans des situations où les compromis doivent être soigneusement pesés.

Chapitre 3 : Conception

3.1 Introduction

Les jumeaux numériques représentent une technologie de pointe qui offre une réplique virtuelle détaillée des établissements de santé, intégrant des informations cruciales telles que les ressources disponibles, les capacités des infrastructures et les flux de travail internes. En recréant fidèlement ces aspects dans un environnement numérique, les jumeaux numériques permettent une visualisation et une gestion optimisées des opérations hospitalières.

Dans ce chapitre, on explique en détail la conception de notre solution visant à optimiser le processus d'admission des patients en intégrant des jumeaux numériques et un modèle de décision multicritères dans les établissements de santé. On fit une exploration comment cette approche innovante peut améliorer l'efficacité opérationnelle des hôpitaux tout en offrant une expérience plus fluide aux patients dès leur arrivée dans le système de santé.

3.2 Architecture globale de la solution proposée

L'architecture du système se compose de plusieurs composants majeurs tels que le système physique et les jumeaux numériques et interface utilisateur. Dans cette section, nous décrirons brièvement notre cas l'architecture proposée, ses couches et ses principaux composants.

3.2.1 Système Physique (Hôpital)

Cette couche représente les infrastructures physiques de l'hôpital, y compris les bâtiments, les équipements médicaux, les unités de soins, etc..

Les données opérationnelles de l'hôpital sont collectées à partir de capteurs et de systèmes de surveillance pour refléter l'état réel de l'établissement.

3.2.2 Jumeaux Numériques

Des modèles virtuels précis de chaque hôpital sont créés et entretenus.

Les jumeaux numériques intègrent des informations détaillées sur les ressources, les capacités, les équipements médicaux, etc., pour refléter fidèlement l'état et les opérations de l'hôpital réel.

3.2.3 Interface Utilisateur

Une interface conviviale permet aux utilisateurs, tels que le personnel médical et les gestionnaires d'urgence, d'interagir avec le système.

Les utilisateurs peuvent soumettre des demandes d'évacuation, consulter les recommandations du système et fournir des informations supplémentaires sur les patients et les conditions d'urgence.

3.2.4 Modèle de Décision

Le modèle de décision est un composant clé de l'architecture, conçu pour analyser les données collectées et fournir des recommandations optimisées.

3.2.5 Utilisateur

Ce composant représente les utilisateurs du système, tels que le personnel médical et les responsables des urgences, qui soumettent des demandes d'évacuation ou d'autres demandes via l'interface utilisateur.

La figure 3-1 présente l'architecture de notre solution :

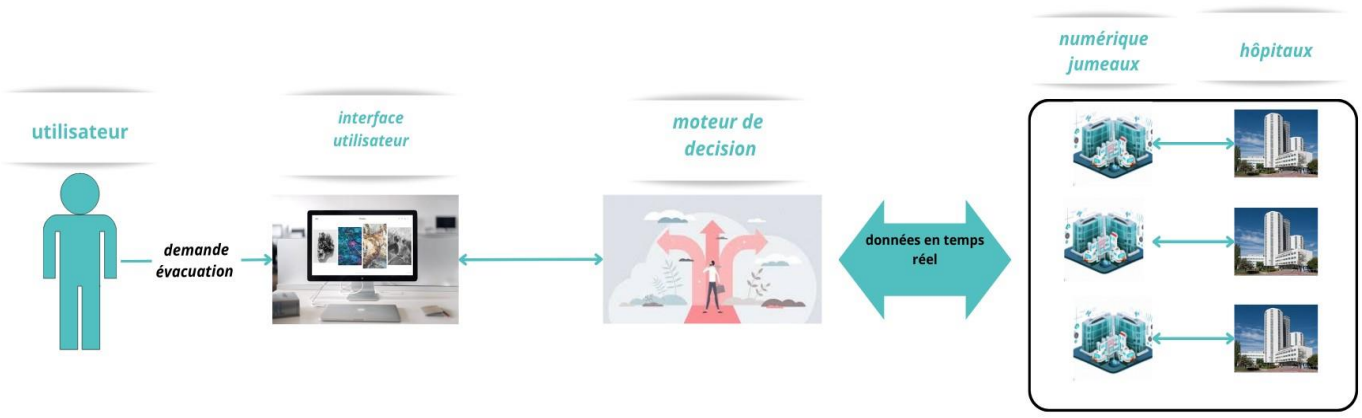


Figure 3-1:architecture globale de la solution proposée

3.3 Modélisation des Interactions Utilisateur-Système

Un diagramme de cas d'utilisation (**DCU**) est un diagramme UML utilisé pour représenter le comportement fonctionnel d'un système logiciel. Il est utile pour les présentations à la direction ou aux parties prenantes du projet, mais pour le développement, les cas d'utilisation sont plus appropriés. En fait, un cas d'utilisation représente une unité distincte d'interaction entre l'utilisateur (humain ou machine) et le système. Ainsi, dans un diagramme de cas d'utilisation, les utilisateurs sont appelés acteurs et apparaissent dans les cas d'utilisation.

Dans notre cas, nous avons deux acteurs :

- L'administrateur qui est responsable de la gestion utilisateurs, des jumeaux numériques.
- L'utilisateur qui peut être un personnel médical, personnel administratif ou fournisseurs de soins externes…, et il peut se connecter et s'inscrire, consulter hôpitaux virtuels disponibles, les services disponibles, les médecins disponibles, soumettre une demande d'évacuation, recevoir des recommandations d'évacuation.
- Le moteur de décision qui Analyse des données des jumeaux numériques, la Fourniture de recommandations basées sur les critères multiples et l'Aide à la prise de décision pour les demandes d'évacuation et la gestion des ressources.

La figure 3-2 représente le diagramme de cas d'utilisation de notre solution :

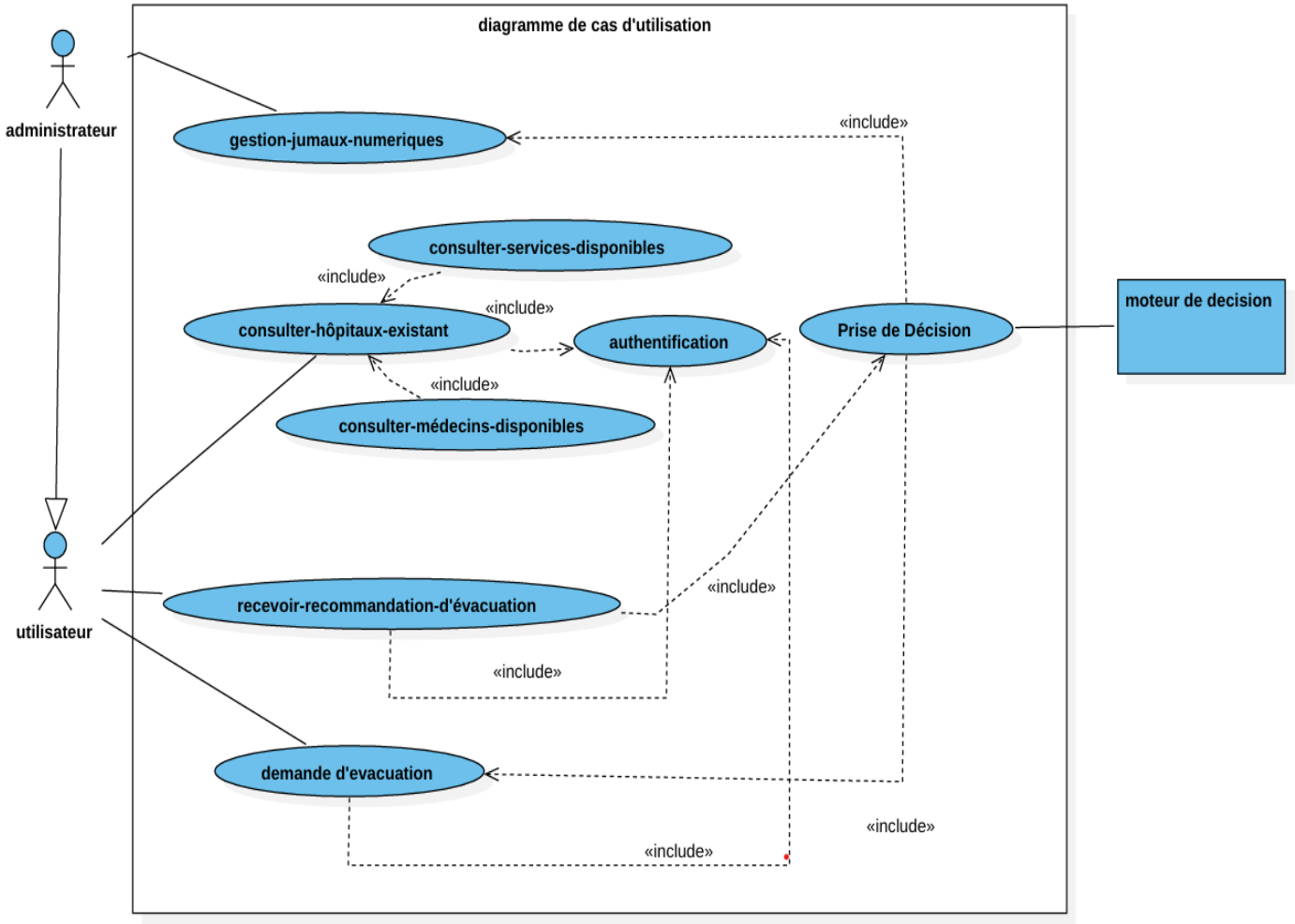


Figure 3-2 : Diagramme de cas d'utilisation

3.4 Modélisation des hôpitaux

Afin de modéliser un d'hôpital, nous avons choisi un diagramme BDD (Diagramme Définition du bloc) Schéma de modélisation SysML.

Un schéma de définition de bloc représente la structure d'un système, d'un sous-système ou d'un élément. Les blocs peuvent symboliser des éléments matériels ou logiques (à déterminer dans le métamodèle). Ils peuvent se décomposer et avoir des caractéristiques et un comportement.

Le diagramme de définition de bloc suivant représente la structure organisationnelle d'un hôpital, avec ses différents services, chambres, équipements médicaux et personnel.

Au sommet de la hiérarchie se trouve le bloc principal, "Hospital", qui représente l'ensemble de l'établissement hospitalier. "Hospital" est composé de plusieurs services, chacun spécialisé dans un domaine médical spécifique.

Chaque service est composé de plusieurs types de "Room", telles que des salles d'opération, des chambres de patient, des salles de consultation, etc. Ces "Room" fournissent l'espace nécessaire pour les activités médicales et les soins aux patients.

Les services ont des relations d'agrégation avec les "Medical Device" et les "Waiting Room". Cela signifie que chaque service peut inclure plusieurs équipements médicaux et salles d'attente

De plus, il existe une association entre les services et le "Medical Staff", représentant le lien entre le personnel médical et les services qu'ils fournissent.

Les "Room" sont associées aux "Bed", qui fournissent des installations pour les patients hospitalisés. Chaque "Bed" est associé à un "Patient", représentant le lien entre le lit et le patient occupant ce lit. De plus, il existe une association entre les "Patient" et les "Ambulance", indiquant le moyen de transport par lequel les patients sont arrivés à l'hôpital.

Enfin, la classe "Medical Staff" est généralisée en deux sous-types : "Doctor" et "Nurse". Cela reflète la diversité des professionnels de la santé travaillant dans l'hôpital, avec des médecins spécialisés dans le diagnostic et le traitement des maladies, et des infirmières fournissant des soins et un soutien aux patients.

La figure 3-3 représente le diagramme de définition de block de structure d'hôpital :

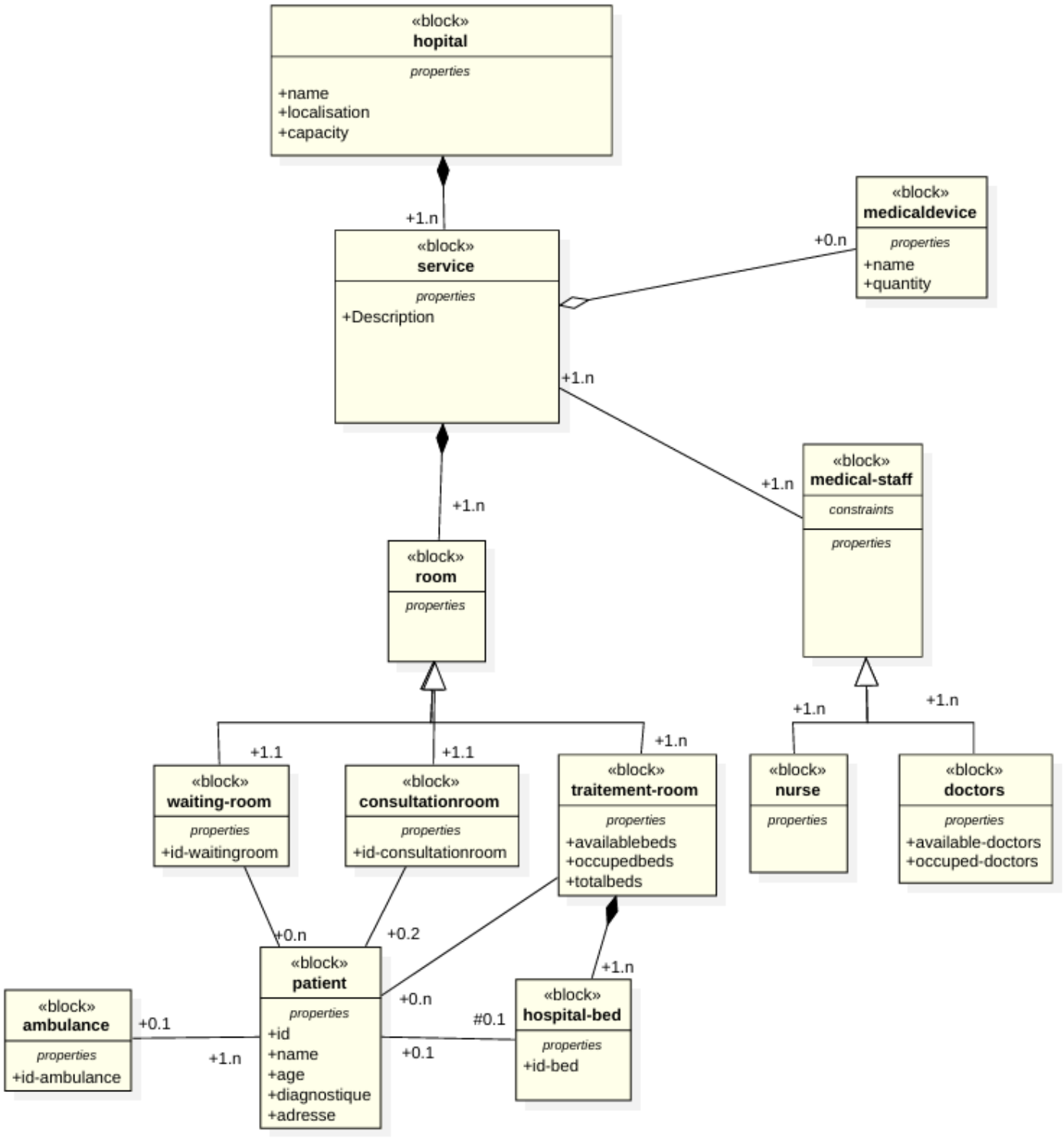


Figure 3-3 : BDD représente la structure organisationnelle d'un hôpital

3.5 Jumeau numérique

Le jumeau numérique dans notre conception représente une version virtuelle et en temps réel de l'établissement médical. Il offre une vue détaillée de la capacité, des services spécialisés, des équipements médicaux et du personnel. 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 3-5, Cette conformité lui permet d'être supporté par la plateforme Eclipse ditto en version 2 de son API.

La figure 3-4 représente un diagramme de classes qui montre la structure d'un Thing :

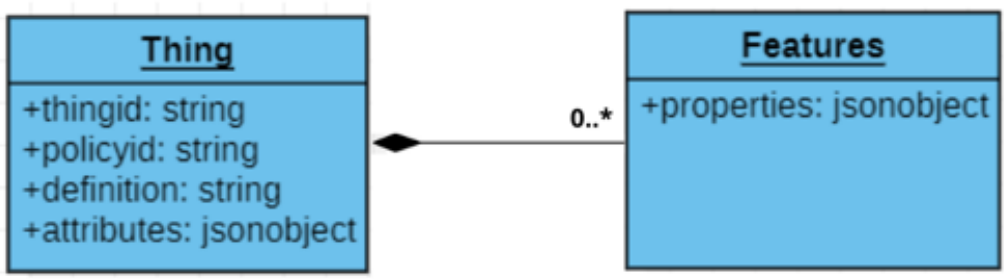


Figure 3-4 : diagramme de classe de ditto.

Le méta-modèle d'un jumeau numérique définit les concepts fondamentaux et les relations qui peuvent être utilisés pour représenter n'importe quel système dans un environnement numérique.

Voici une structure générale d'un méta-modèle pour un jumeau numérique :

3.5.1 Thing (Objet)

Cette méta-classe permet de modéliser un composant du système. Un "Thing" peut représenter une entité générique dans le système, comme un capteur, un actionneur, un dispositif, etc.

- **Thing ID** : Identifiant unique de l'objet.
- **Policy ID** : Lien vers l'ID d'une politique existante contenant les informations d'autorisation appliquées à cet objet.
- **Définition** : Un objet peut contenir une définition qui le relie à un modèle correspondant définissant ses capacités ou caractéristiques.
- **Attributs** : Les attributs décrivent l'objet en détail et peuvent être de n'importe quel type. Ils sont généralement utilisés pour modéliser des propriétés statiques de l'objet.

3.5.2 Features (Caractéristiques)

Cette méta-classe permet de décrire les propriétés des objets et de les regrouper en caractéristiques. Les fonctionnalités sont utilisées pour gérer toutes les données et fonctionnalités d'un objet pouvant être regroupées dans un contexte technique défini.

- **Propriétés** : Les données relatives aux fonctionnalités sont gérées sous forme d'une liste de propriétés. Ces propriétés peuvent être classées pour gérer l'état, la configuration ou toute information spécifique à l'objet.

3.5.3 Modèle du jumeau numérique

Nous avons utilisé le diagramme de bloc de l'hôpital présenter dans la figure 3-3 pour créer le modèle de jumeau numérique. Ainsi le bloc « Hospital » devient une « Thing » dans le modèle du jumeau numérique. Les propriétés du bloc sont représentées par des attributs. Ceci est présenté par le tableau 3-1 suivant :

BDD	Modèle du jumeau numérique
«block» **hospital** *properties* +name +localisation +capacity	thing-hospital +thingid +policyid +definition attribute +localisation attribute +name attribute +capacity

Tableau 3-1 : Représentation d'objet.

« Features » dans le modèle du jumeau numérique. Ceci est présenté dans le tableau 3-2 suivant:

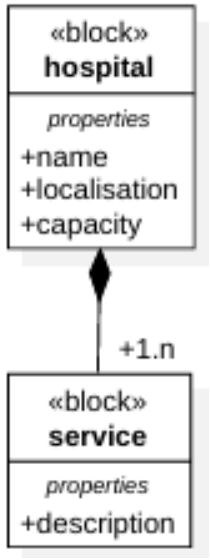
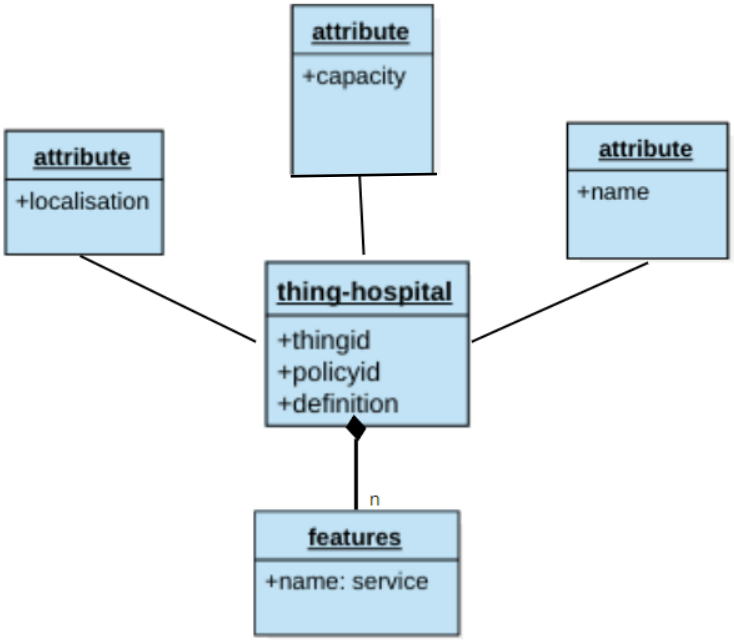
BDD	Modèle du jumeau numérique
	

Tableau 3-2 : Représentation l'objet avec les fonctionnalités.

Les propriétés des blocs composant l'hôpital sont représentées par des « properties » des «features», le tableau 3-3 suivant montre un exemple :

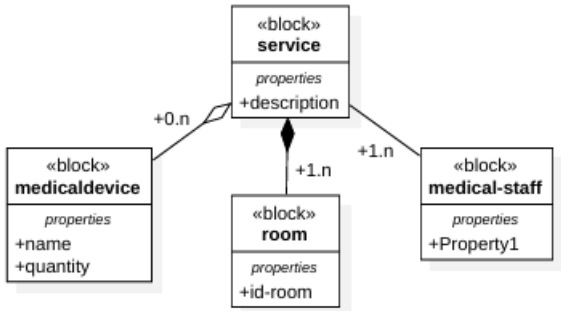
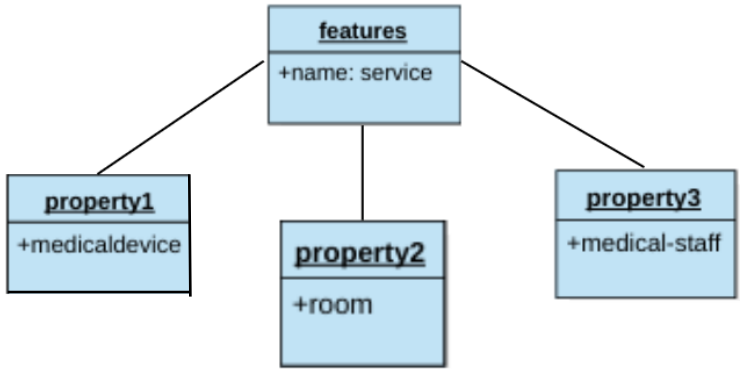
BDD	Modèle du jumeau numérique
	

Tableau 3-3 : Representation des functionalities.

Il est essentiel de respecter la hiérarchie et la décomposition des concepts de l'objet lorsqu'on représente le modèle jumeau numérique d'hôpital dans un fichier JSON. La figure 3-5 ci-dessous représente la structure globale du JSON des objets d'hôpital :

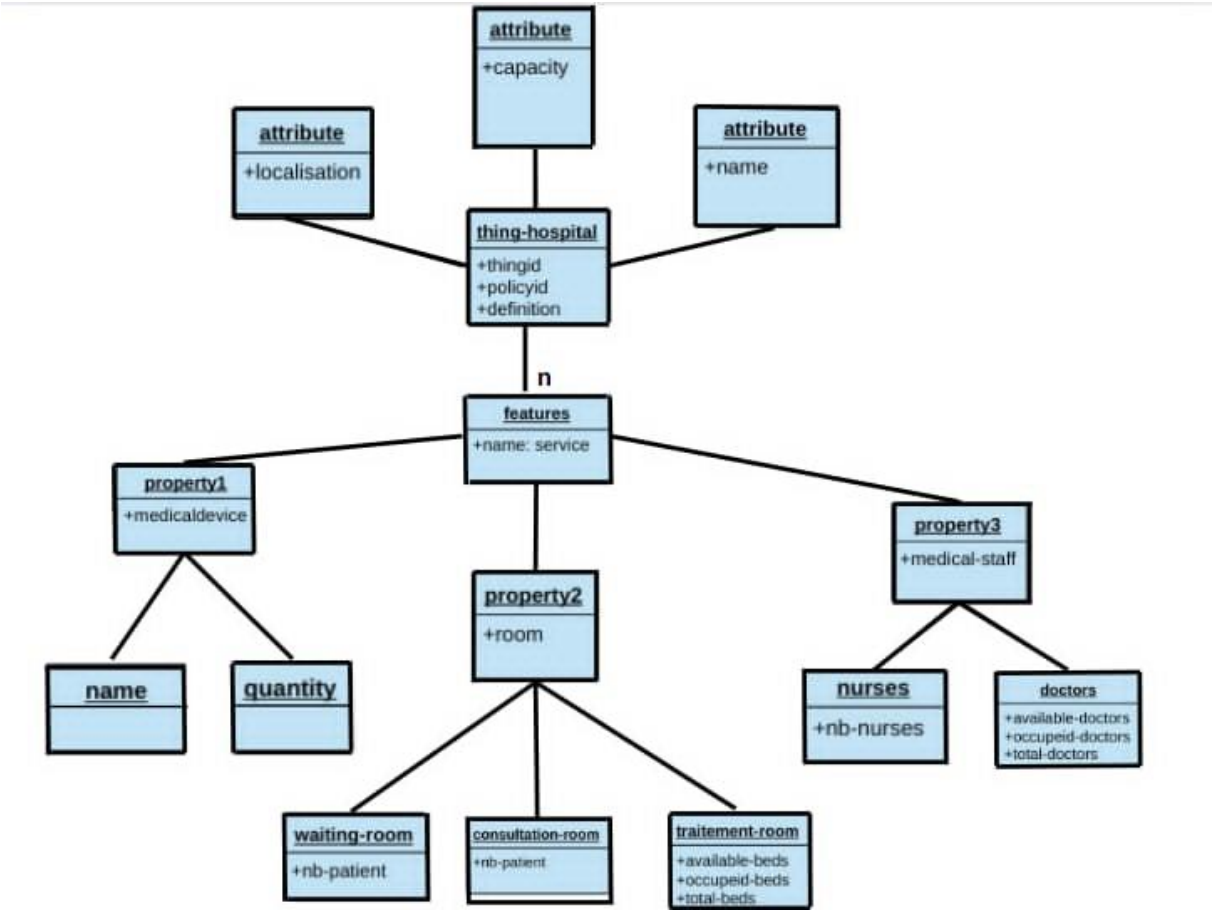


Figure 3-5: Structure globale de JSON du jumeau numérique d'un hôpital.

3.6 Illustration des Flux d'Interaction

Un diagramme de séquence est un type de diagramme d'interaction, car il décrit comment et dans quel ordre plusieurs objets fonctionnent ensemble. Ces diagrammes sont utilisés à la fois par les développeurs logiciels et les managers d'entreprises pour analyser les besoins d'un nouveau système ou documenter un processus existant. Les diagrammes de séquence sont parfois appelés diagrammes d'événements ou scénarios d'événements[16].

3.6.1 Processus d'Authentification

Il est nécessaire d'authentifier un utilisateur afin de pouvoir accéder au menu principal de l'application. Lorsque l'utilisateur demande l'accès à l'application, la page de connexion sera affichée. Un message d'erreur sera affiché si un champ est vide, sinon le système vérifie le mot de passe et le nom d'utilisateur. Lorsque les données fournies sont erronées, un message d'erreur sera affiché. Si les données fournies sont exactes, l'utilisateur a la possibilité d'accéder au menu principal de l'application. Les interactions entre l'utilisateur et l'application sont illustrées dans la Figure 3-6 :

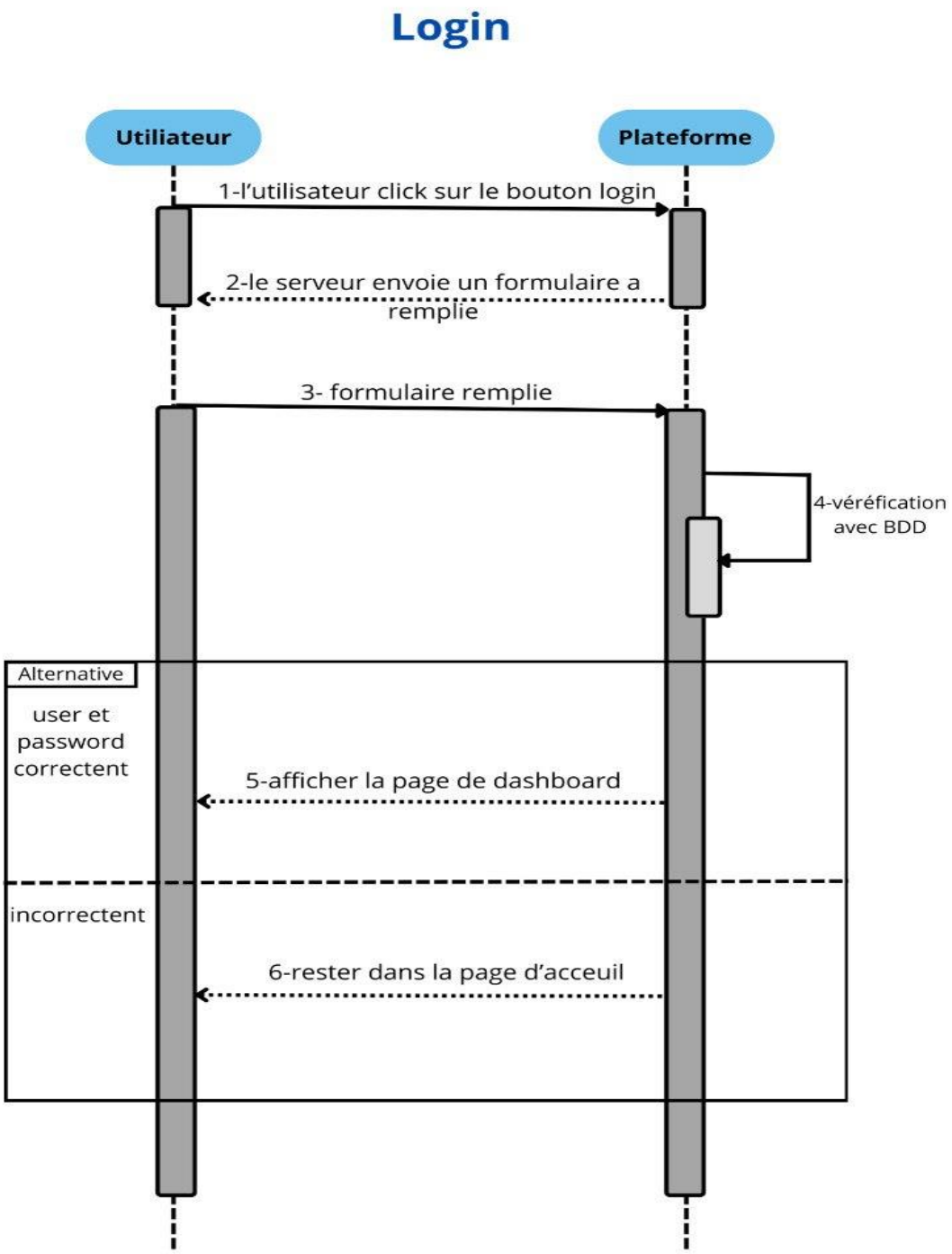


Figure 3-6 : diagramme de séquence d'authentification

3.6.2 Processus d'Évacuation

- Lorsque l'utilisateur demande d’évacuer un patient, un formulaire s'affichera, l'utilisateur remplit ce formulaire et clique sur le bouton d'analyse.
- Le système envoie une requête http à l'API Ditto, qui récupère les informations des hôpitaux.
- Le système analyse ces données à l'aide d'un modèle de décision multicritère et renvoie la meilleure option d'évacuation.

La figure 3-7 présente le processus d’évacuation :

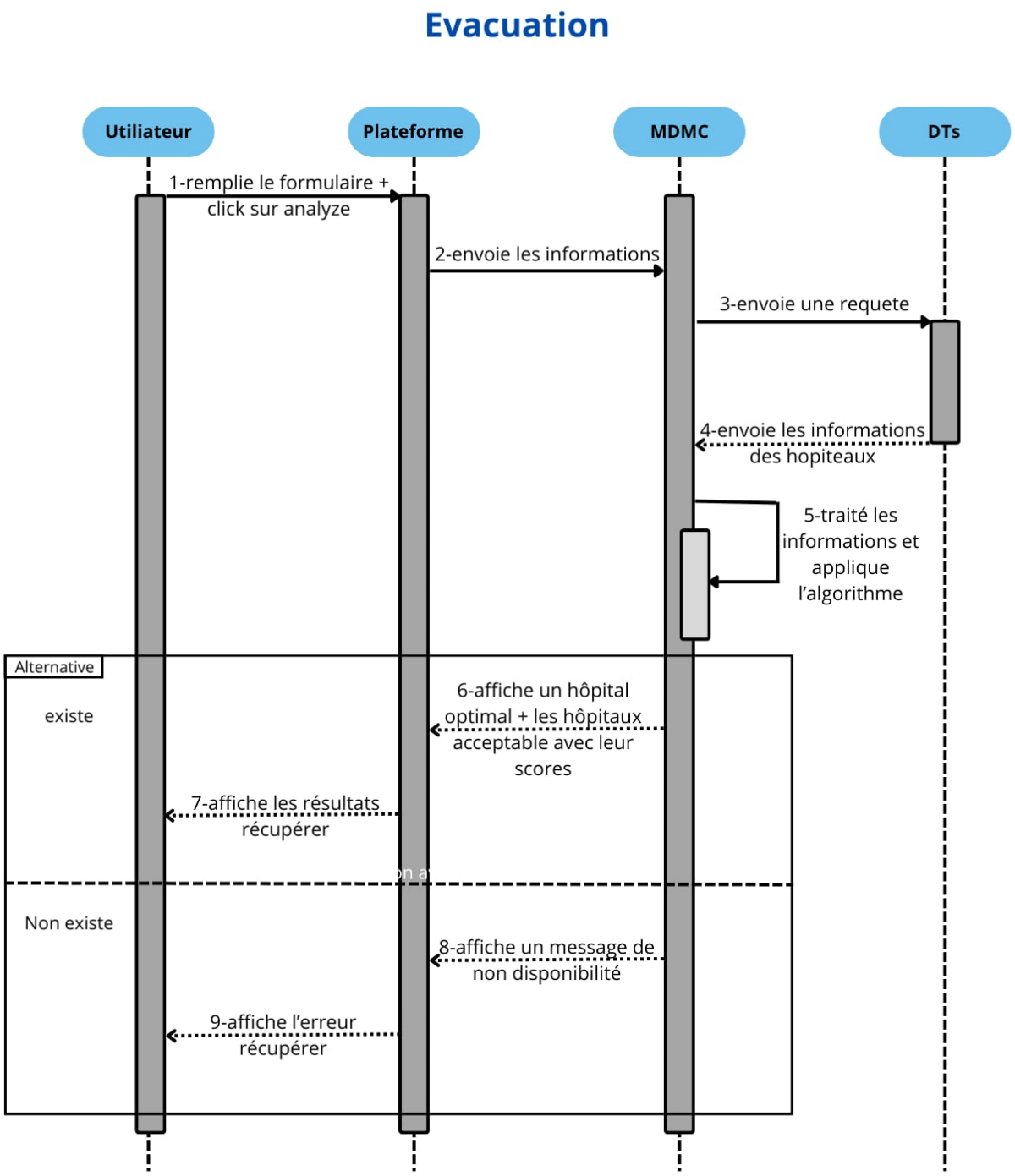


Figure 3-7 : diagramme de séquence de demande d'évacuation

3.7 Modèle de Décision Multicritères

Ce module évalue les différentes options d'évacuation en fonction de critères prédéfinis tels que la disponibilité des ressources, les conditions de trafic, la distance vers les établissements de santé appropriés, etc. Les algorithmes de décision pondèrent et comparent ces critères pour fournir la meilleure recommandation d'évacuation.

3.7.1 Evaluation des Options d'Evacuation

Lorsqu'une demande d'évacuation est reçue via notre interface utilisateur, le modèle de décision multicritères (MDMC) entre en jeu pour évaluer les différentes options d'évacuation disponibles. Les critères pris en compte incluent la disponibilité des ressources médicales, la distance vers les établissements de santé appropriés, les conditions de trafic, etc.

3.7.2 Pondération des Critères

Avant de prendre une décision, les critères sont pondérés en fonction de leur importance relative. Par exemple, la disponibilité des ressources médicales peut être considérée comme plus critique que la distance vers les établissements de santé appropriés, et donc recevoir une pondération plus élevée dans le processus de prise de décision.

3.7.3 Comparaison et Sélection de la Meilleure Option

Une fois que les critères sont pondérés, le modèle MDMC compare les différentes options d'évacuation et identifie celle qui répond le mieux aux critères prédéfinis. Cette sélection est basée sur une analyse multicritère rigoureuse, prenant en compte les complexités et les nuances de chaque situation d'évacuation.

3.7.4 Recommandations d'Evacuation

Enfin, le modèle MDMC génère des recommandations d'évacuation qui sont présentées à l'utilisateur via l'interface utilisateur. Ces recommandations sont basées sur une évaluation objective des options disponibles, ce qui permet une prise de décision plus éclairée et efficace.

En intégrant la MDMC dans notre système d'évacuation hospitalière, nous sommes en mesure de fournir des recommandations d'évacuation basées sur une analyse multicritère approfondie, garantissant une utilisation optimale des ressources médicales et une réponse efficace aux situations d'urgence médicale.

3.7.5 Algorithme de MDMC utiliser

Algorithme Principal

```
1. INPUT :      - SD : les services demandés
                - ED : les équipements demandés
                - E : l'emplacement de départ
2. OUTPUT :  - hds : liste des hôpitaux disponibles avec leurs scores
3. Begin
4.   list_hopitaux ← [hopitaux disponible]
5.   criteria_weights ← {
       "temp_deplacement": pt,
       "service_disponible": ps,
       "medecins_disponible": pm,
       "equipement_disponible": pe,
       "ratio": pr
     }
6.   scores ← {}
7.   foreach hopital in list_hopitaux do
8.         hopital_data ← get_hopital_data(hopital)  // Obtient les données de l'hôpital
9.         score ← weighted_sum_model(criteria_weights, hopital_data,
                       SD, ED, E)
10.  end;
11.   sorted_scores ← sorted(scores.items(), key=lambda item: item[1], reverse=True)
12.   response ← [{'Hopital': hospital_id, 'Score': score} for hospital_id, score in
          sorted_scores]
13.    return jsonify(response)
14. End.
```

Fonctions de calcul des scores

```
1. Function weighted_sum_model(criteria_weights, hopital_data, SD, ED, E):
2.     scores = {}
3.     for option, ratings in hopital_data.items():
4.         total_score = 0
5.         # Calculer le temps de déplacement basé sur l'emplacement E
6.         total_time_minutes = calculate_travel_time(E, ratings['Location'])
7.         score_time = (1 - total_time_minutes / 100) * criteria_weights['Temps de
           déplacement']
8.         total_score += score_time
9.         # Calcul du score pour le service médical disponible
10.        if SD in ratings['Services disponibles']:
11.            score_service = criteria_weights['Service médical disponible']
12.        else:
13.            score_service = 0
14.        total_score += score_service
15.        # Calcul du score pour l'équipement disponible
16.        if ED in ratings['Équipements disponibles']:
17.            score_equipement = criteria_weights['Équipement disponible']
18.        else:
19.            score_equipement = 0
20.        total_score += score_equipement
21.        # Calcul du score pour les médecins disponibles
22.        score_medecin = ratings['Médecins disponibles'] * criteria_weights['Médecins
           disponibles dans le service']
23.        total_score += score_medecin
24.        # Calcul du ratio lits/medecins et son score
25.        ratio_lits_medecins = ratings['Lits occupés'] / ratings['Médecins disponibles']
```

```
            score_ratio = ratio_lits_medecins * criteria_weights['Ratio lits occupés par médecin disponible']
            total_score += score_ratio
            scores[option] = total_score
    end;
    return scores
End.
```

3.7.6 Description de l'Algorithme

L'algorithme vise à sélectionner les hôpitaux disponibles en fonction de plusieurs critères importants pour les patients. Les critères incluent le temps de déplacement, la disponibilité des services et des équipements médicaux, la disponibilité des médecins, ainsi qu'un ratio spécifique propre aux hôpitaux. Chaque critère est pondéré selon son importance relative. Le processus commence par la récupération de la liste des hôpitaux disponibles et de leurs données, suivie du calcul des scores pour chaque hôpital en utilisant un modèle de somme pondérée. Les hôpitaux sont ensuite triés par ordre décroissant de leurs scores, et les résultats sont retournés sous forme de liste JSON.

- **Initialisation et Préparation**

- Une liste d'hôpitaux disponibles et un dictionnaire de poids pour chaque critère sont initialisés.
- Les poids des critères sont définis pour refléter leur importance relative dans le calcul des scores.

- **Calcul des Scores**

- Pour chaque hôpital, les données nécessaires sont récupérées.
- Le score total de l'hôpital est calculé en utilisant la méthode de somme pondérée, qui combine les scores individuels de chaque critère, multipliés par leurs poids respectifs :

$$\text{Score total} = \sum_{i=1}^{n} (\text{poids du critère } i \times \text{critère normalisé } i)$$

- **Tri et Préparation de la Réponse**

- Les hôpitaux sont triés par leurs scores en ordre décroissant.
- Une liste de dictionnaires contenant les identifiants des hôpitaux et leurs scores est préparée et convertie en format JSON pour la réponse

3.7.7 Méthode de Décision Multicritères Utilisée

La méthode de décision multicritères (MDMC) utilisée dans cet algorithme est le modèle de somme pondérée (Weighted Sum Model - WSM), ainsi que la méthode des poids attribués. Voici comment ces méthodes sont implémentées :

- **Pondération des Critères**

Chaque critère pertinent a attribué un poids (pt, ps, pm, pe, pr) qui représente son importance relative dans la décision finale.

- **Calcul des Scores Individuels**

Pour chaque critère, un score est calculé en fonction des données spécifiques de l'hôpital.

- **Somme Pondérée**

Le score total de chaque hôpital est la somme des scores individuels pondérés par les poids des critères.

En utilisant à la fois le modèle de somme pondérée et la méthode des poids attribués, l'algorithme permet d'évaluer et de classer les hôpitaux disponibles de manière systématique et objective. Cette approche MDMC assure que les hôpitaux sélectionnés répondent aux besoins spécifiques des patients en termes de services, équipements, proximité et ressources médicales.

3.8 Conclusion

Dans ce chapitre de conception, nous développons l'architecture globale du système en mettant en avant ses différents aspects, et à travers le diagramme de cas d'utilisation, nous définissons les interactions de base entre les utilisateurs et le système, ce qui permet de définir les principales fonctions attendues. En définissant le système physique à l'aide du schéma, nous avons illustré les composants matériels nécessaires et leurs interrelations, fournissant ainsi un aperçu de l'infrastructure requise. De plus, nous avons mentionné les jumeaux numériques qui jouent un rôle crucial dans l'architecture du système en fournissant des informations précises. et représentation virtuelle dynamique de ses composants physiques. Ils permettent de simuler, de surveiller et d'analyser le comportement d'un système en temps réel sans perturber son fonctionnement réel. Les diagrammes de séquence ont permis de décrire en détail les interactions entre les objets du système dans le temps, tandis que le modèle de décision multicritère a fourni un cadre, pour des choix éclairés. En tenant compte de plusieurs critères. En combinant ces approches, nous avons conçu un système complet qui répond aux besoins des utilisateurs tout en intégrant des mécanismes d'amélioration continue.

Chapitre 4 : Implémentation

4.1 Introduction

Ce chapitre vise à mettre en pratique la méthodologie décrite dans le chapitre précédent en détaillant la création et l'implémentation d'une plateforme conçue pour faciliter toutes les étapes de notre processus de conception. Notre objectif principal est d'optimiser la prise de décision concernant l'évacuation des patients vers les hôpitaux appropriés, en utilisant des jumeaux numériques comme base fondamentale.

Nous présentons également une analyse détaillée des technologies et des ressources employées tout au long du développement de notre plateforme.

4.2 Environnement d'implémentation

Dans cette section, nous décrivons en détail les composants de notre environnement d'exécution. Nous discutons également des outils et technologies employés pour créer des jumeaux numériques et établir des connexions avec les hôpitaux.

4.2.1 Eclipse ditto

Nous avons utilisé Eclipse Ditto dans notre projet, une plateforme pour les jumeaux numériques. Cette technologie nous a permis de concevoir et mettre en place des jumeaux numériques pour les hôpitaux.

La figure 4-1 représente l'API Eclipse ditto :

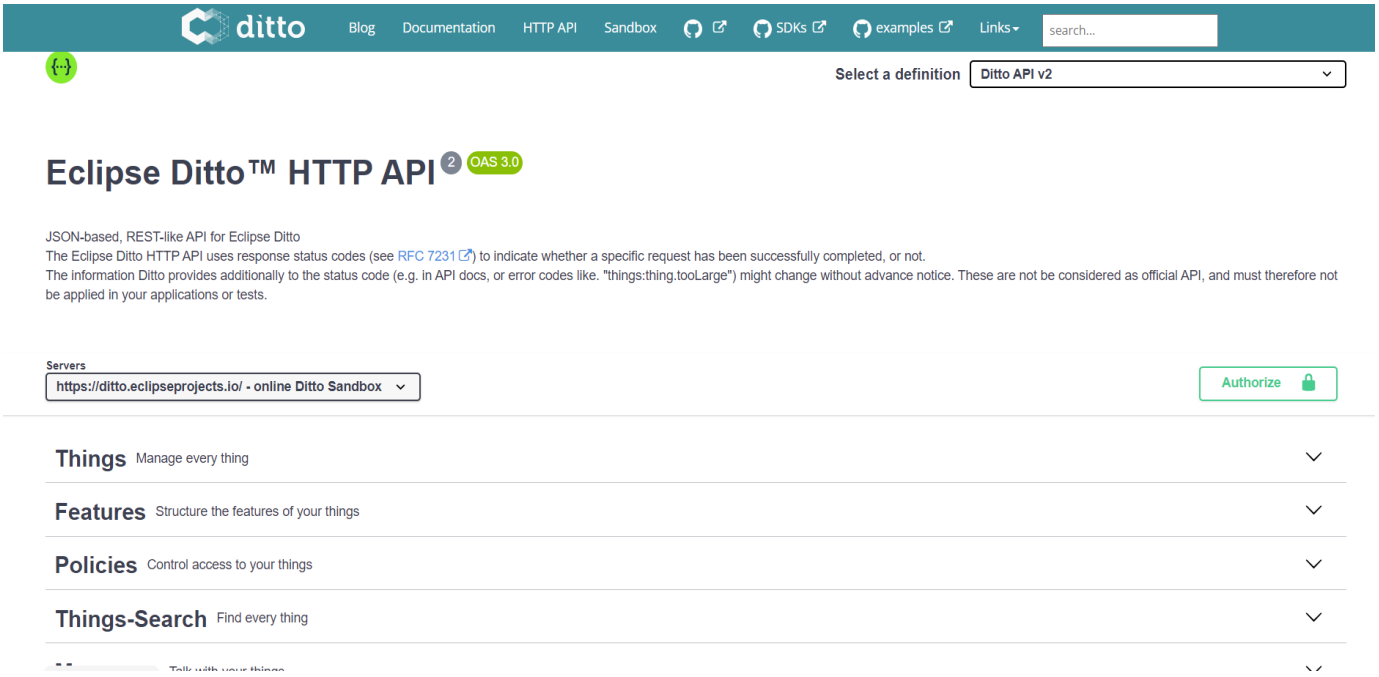


Figure 4-1 : API Eclipse Ditto[17]

4.2.2 Node-Red

Node-RED est un outil de programmation permettant de relier des périphériques matériels, des API et des services en ligne. C'est principalement un outil visuel destiné à l'Internet des objets, mais il peut aussi servir à d'autres applications pour rassembler rapidement des flux de services variés[18].

La figure 4-2 représente les composants de l'éditeur Node-Red :

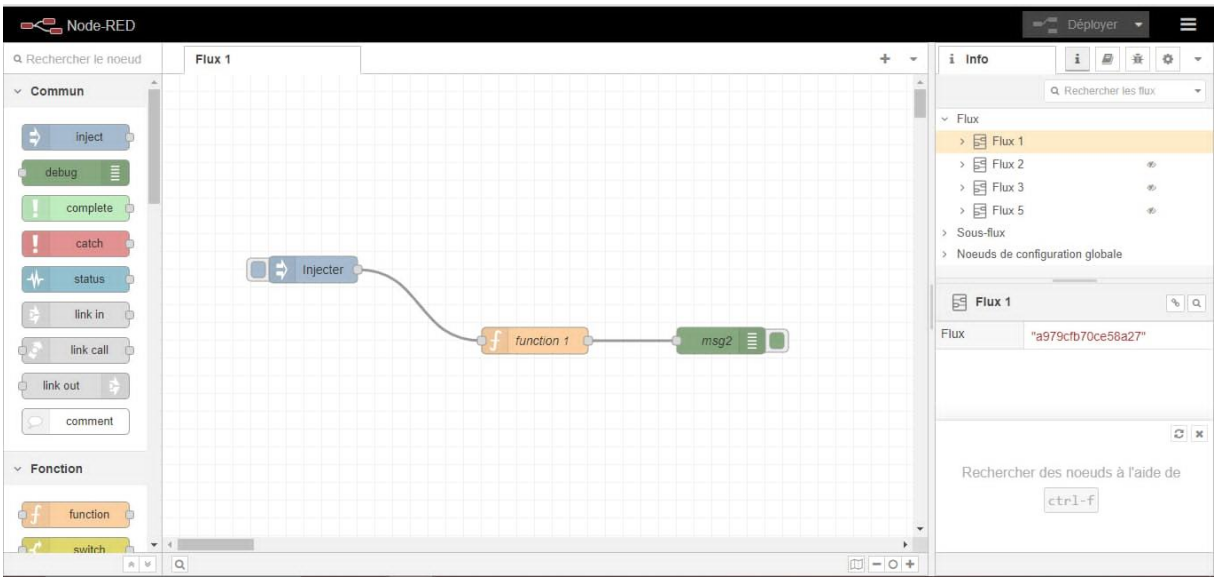


Figure 4-2 : Composants de l'éditeur Node-Red.

4.2.3 API Flask

Une API Flask permet la création rapide de paramètres pour répondre aux requêtes HTTP en Python. Ses décorateurs simples permettent d'identifier les routes et leurs activités associées. Flask est une option de création d'API web en raison de sa flexibilité et de sa légèreté. De plus, Flask propose différentes options d'extension qui permettent d'intégrer des fonctionnalités comme l'authentification, la validation des données et l'accès aux bases de données, tout en maintenant une structure simple et intuitive. En raison de ces caractéristiques, il est très prisé par les développeurs qui souhaitent concevoir des API web performantes et évolutives en Python[19].

La figure 4-3 illustre l'utilisation de l'API Flask :

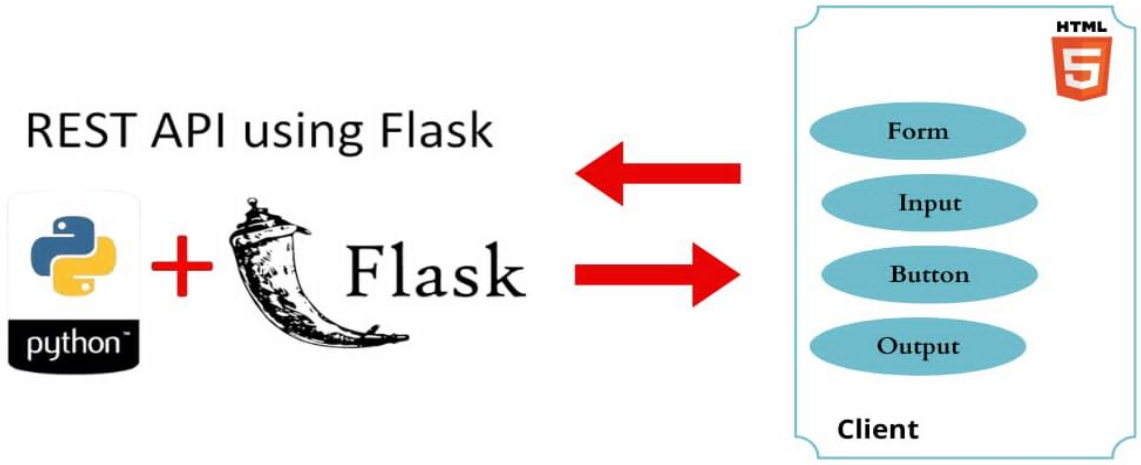


Figure 4-3 : l'utilisation d'API-Flask.

4.3 Processus d'Implémentation

4.3.1 La Création du Jumeau Numérique

Eclipse Ditto est utilisé pour établir et maintenir les jumeaux numériques des hôpitaux. Un jumeau numérique constitue une réplique virtuelle précise d'un objet ou d'un système réel. Dans notre contexte, il s'agit d'une représentation détaillée des différents éléments composant un hôpital, incluant les infrastructures physiques comme les chambres et les installations médicales, ainsi que les aspects opérationnels tels que la gestion des patients et la disponibilité des ressources médicales.

La figure 4-4 est un exemple d'extrait de jumeau numérique représentant un hôpital :


```
{
  "definition": "com.hospital:hospital-twin:1.0.0",
  "attributes": {
    "name": "Hospital Mohamed Boudiaf",
    "location": "Hôpital Mohamed Boudiaf, Medea, Algérie",
    "capacity": 650
  },
  "features": {
    "radiologie": {
      "properties": {
        "description": "Diagnostic et traitement des maladies à l'aide d'images médicales.",
        "medicalstaff": {
          "doctors": {
            "totalDoctors": 8,
            "availableDoctors": 6,
            "occupiedDoctors": 2
          },
          "nurses": 12
        },
        "medicaldevices": [
          {"name": "xRayMachine","quantity": 1},
          {"name": "ultrasoundMachine","quantity": 3}
      ],
        "room": {
          "waitingRoom": {
            "patients": 11
          },
          "traitementRoom": {
            "bed": {
              "totalBeds": 0,
              "occupiedBeds": 0,
              "availableBeds": 0
            }
          },
          "consultationRoom": {
            "patients": 2
          }
        }
      }
    },
```


Figure 4-4 : exemple d'un extrait du jumeau numérique représentant l'hôpital

Nous avons également développé une application supplémentaire dédiée à faciliter la gestion des jumeaux numériques pour les établissements de santé. Cette application offre des interfaces intuitives permettant aux utilisateurs de créer, modifier et supprimer leurs jumeaux numériques de manière simple et efficace. Chaque opération est structurée autour d'un format JSON correspondant, garantissant une représentation précise et standardisée des différents aspects de l'hôpital, tels que les chambres, les équipements médicaux et les flux de patients. Grâce à cette application, les établissements de santé peuvent facilement maintenir à jour leurs jumeaux numériques, assurant ainsi une gestion optimale et une prise de décision éclairée.

La figure 4-5 représente la gestion des jumeaux numériques des hôpitaux :



Figure 4-5 : la gestion des jumeaux numériques des hôpitaux.

La figure 4-6 représente le formulaire de création d'un jumeau numérique d'un hôpital :

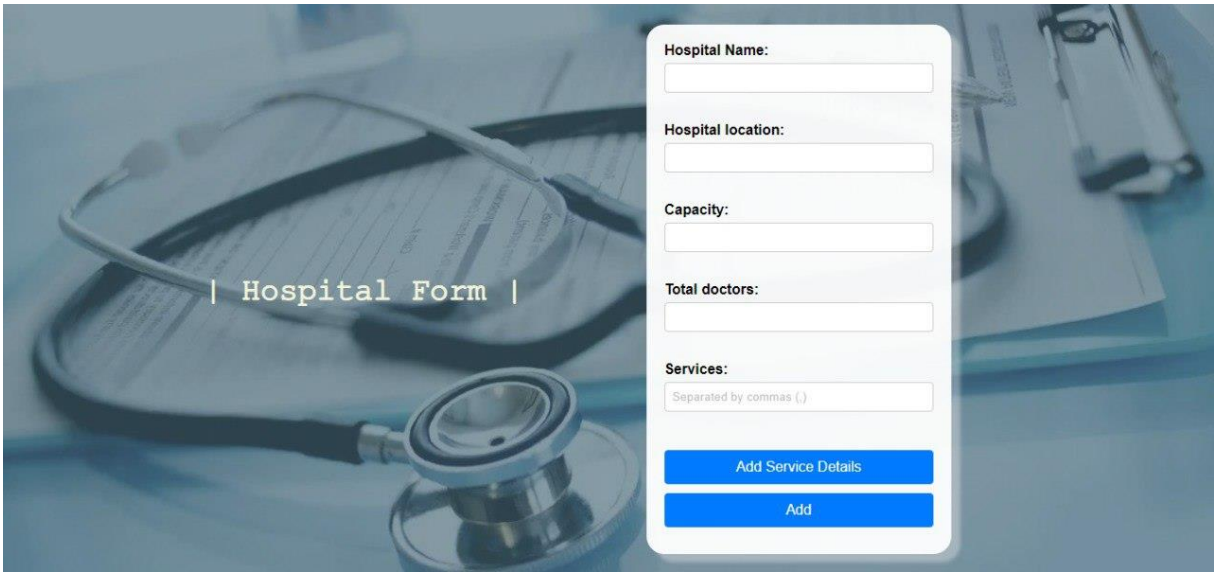


Figure 4-6 : le formulaire de création d'un jumeau numérique.

4.3.2 La Simulation en Temps Réel

L'intégration de simulations en temps réel dans notre système a plusieurs objectifs stratégiques et opérationnels. Ces simulations permettent une réactivité immédiate et une prise de décision éclairée pour améliorer l'efficacité, la qualité des soins et la gestion des ressources. Dans l'absence d'un système réel permettant d'interconnecter les hôpitaux à leurs jumeaux numériques, nous avons opté pour l'utilisation de Node-RED afin de simuler les hôpitaux et leur interaction avec leurs jumeaux numériques.

Les scénarios de simulation que nous avons mis en place permettent de modéliser et d'analyser diverses situations opérationnelles dans un hôpital. Chaque scénario vise à tester des aspects spécifiques de la gestion hospitalière, tels que l'admission des patients, la gestion des salles d'attente, la disponibilité des lits, l'occupation des médecins et la variation des quantités de dispositifs médicaux. Par exemple, certains scénarios simulent l'admission de patients nécessitant ou non une hospitalisation dans différents services comme la radiologie ou la chirurgie pédiatrique, tandis que d'autres scenarios visent à diminuer le nombre de patients en attente ou à libérer des lits après le départ des patients. De plus, des simulations sont effectuées pour évaluer la disponibilité des médecins et ajuster la quantité de dispositifs médicaux de manière aléatoire.

Ces simulations permettent d'identifier les points critiques et d'optimiser la gestion des ressources hospitalières, assurant ainsi une meilleure préparation face aux variations de la demande et aux imprévus.

La figure 4-7 représente les scénarios de simulation et la communication avec les jumeaux numériques des hôpitaux :

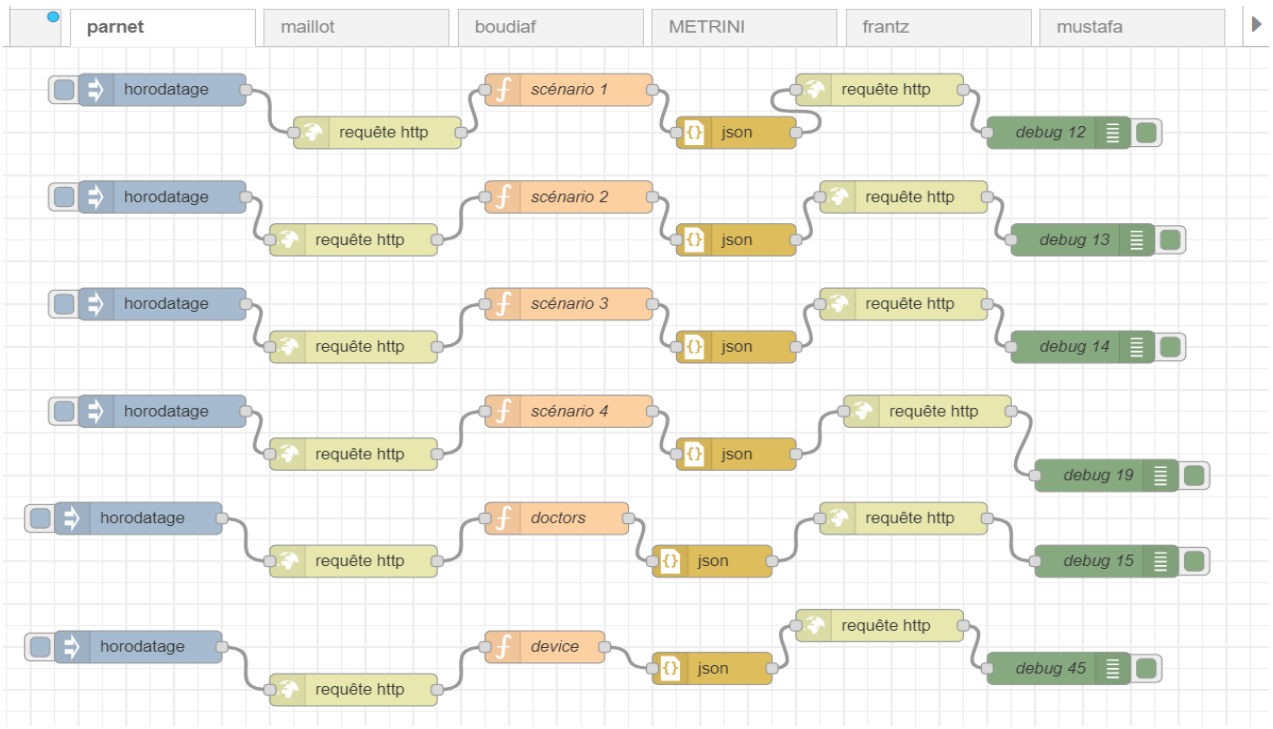


Figure 4-7 : exemple de simulation d'un hôpital.

4.3.3 Plateforme d'évacuation

Notre plateforme permet à l'utilisateur de communiquer, rédiger et traiter les demandes d'expulsion. Elle se connecte aux jumeaux numériques des hôpitaux puis utilise un modèle de décision multicritère et affiche les résultats.

- **Première interface**

Cette première interface est le principal point d'entrée permettant aux utilisateurs d'accéder et d'interagir avec le système.

La figure 4-8 présente la page d'accueil de notre plateforme :

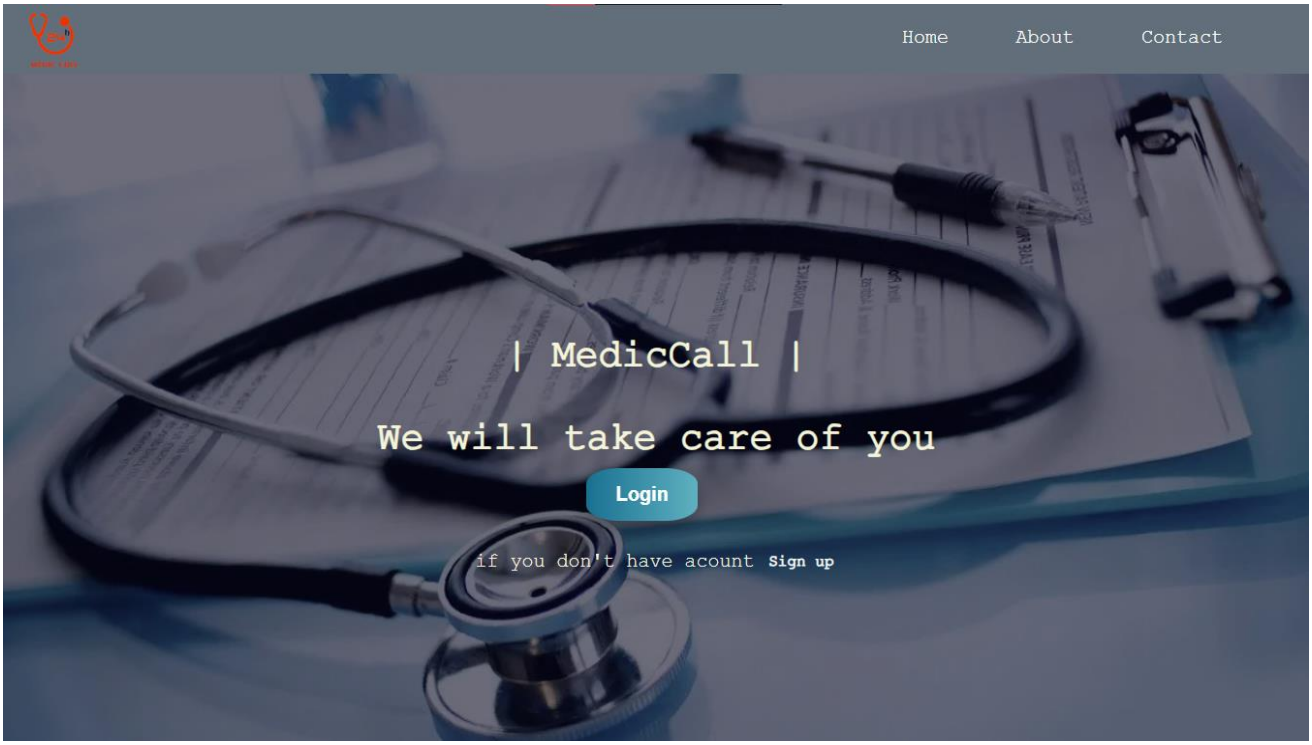


Figure 4-8 : page d'accueil.

.

- **Interface d'authentification**

Le point d'interaction initial de notre application Web est l'interface d'authentification, permettant aux utilisateurs d'accéder au système en utilisant leur nom d'utilisateur et leur mot de passe. La figure 4-9 présente le formulaire d'authentification :



Figure 4-9 : page login.

- **Le tableau de bord d'utilisateur**

Le tableau de bord de gestion joue un rôle essentiel dans notre plateforme, offrant aux administrateurs une vision d'ensemble exhaustive et un contrôle sur les fonctions administratives du système et les paramètres. Où l'utilisateur peut parcourir les informations de son hôpital en termes de services existants, le nombre de médecins, les informations sur chaque médecin et les statistiques sur les évacuations en général et vers chaque hôpital en particulier, il peut également procéder à de nouvelles évacuations. Comme il montre la figure 4-10 :

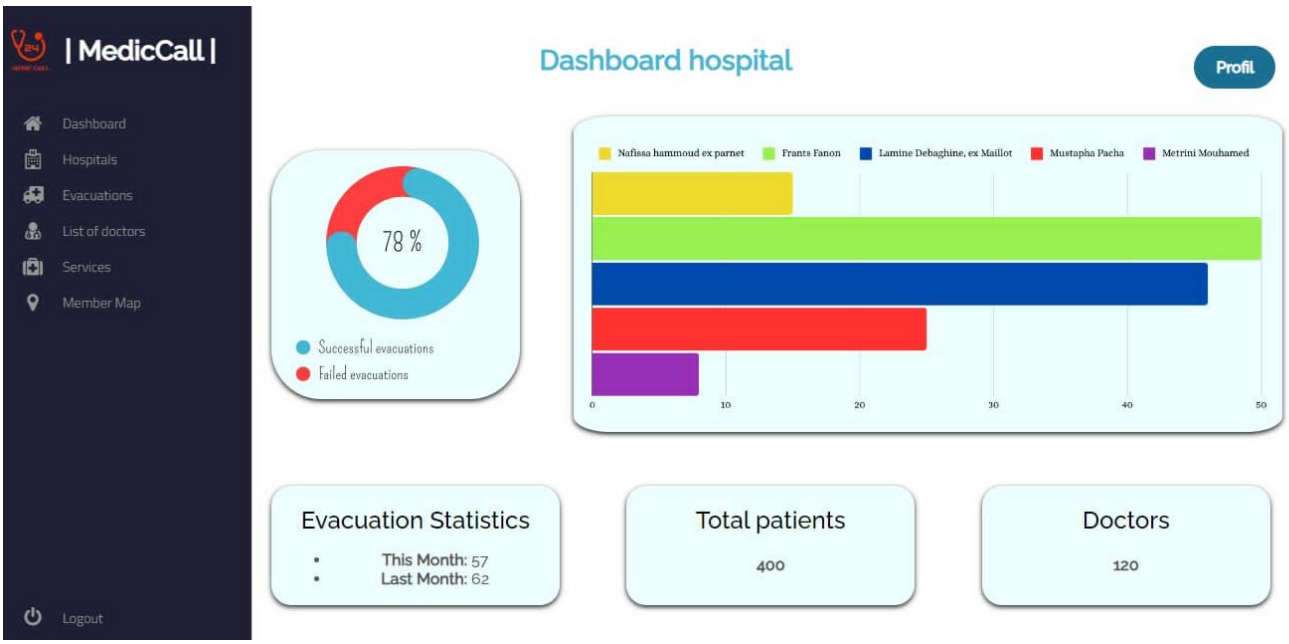


Figure 4-10 : Le tableau de bord.

- **Page des informations des hôpitaux**

Cette page permet à l'utilisateur d'accéder aux informations d'hôpital choisie, par exemples ses informations générales (nom, adresse, capacité...), ses services disponibles et aussi les cordonnés de leurs médecins.

La figure 4-11 présente les hôpitaux avec leurs informations :

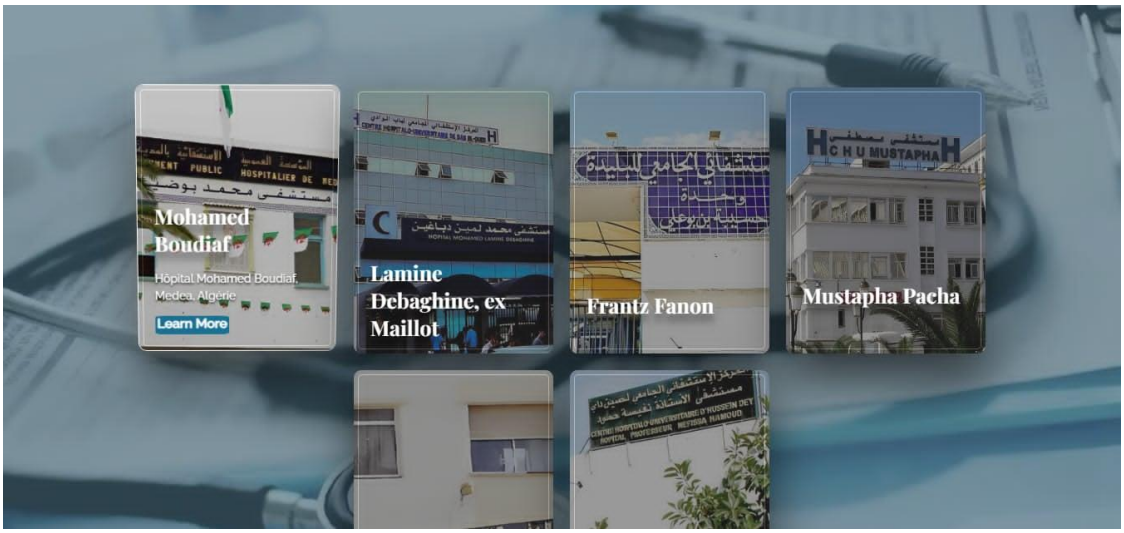


Figure 4-11 : Hôpitaux disponible.

Les figure 4-12 et 4-13 présentent les médecins et les services disponibles dans un hôpital :

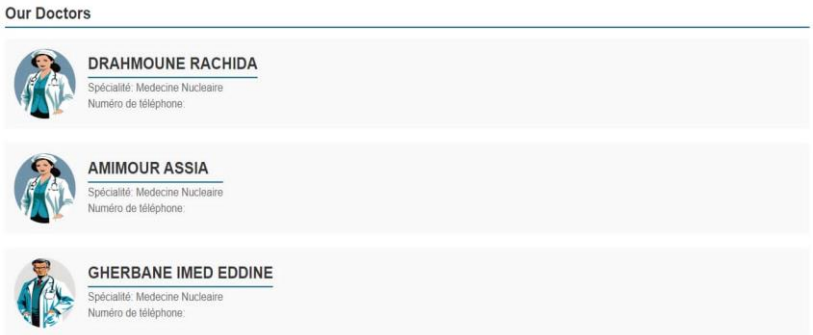


Figure 4-12 : les médecins d'un hôpital.

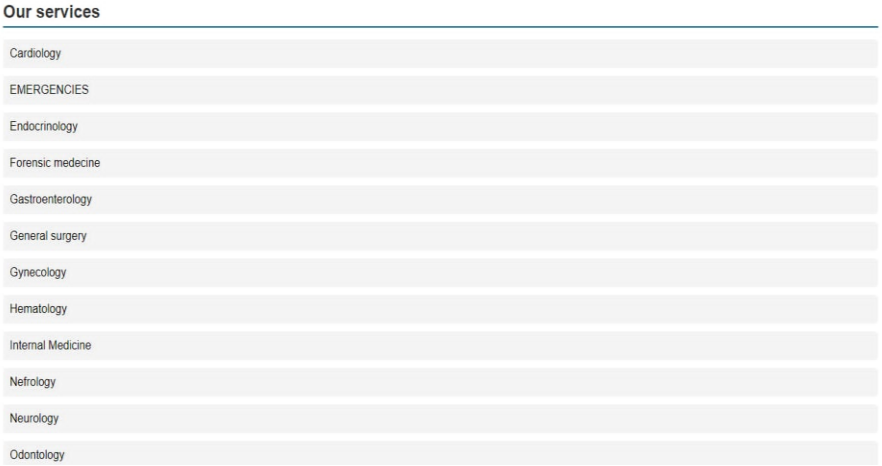


Figure 4-13 : les services d'un hôpital.

- **Page de demande d'évacuation**

Sur la page de demande d'évacuation de notre plateforme, les utilisateurs remplissent un formulaire pour initier le processus d'évacuation des patients. Ce formulaire comprend des champs comme le service médical nécessaire, les équipements spécifiques requis, ainsi que l'emplacement ou l'hôpital de départ du patient. Une fois que les utilisateurs soumettent ces informations, notre modèle de décision multicritères entre en action. Il envoie des requêtes aux jumeaux numériques des hôpitaux via Eclipse Ditto pour récupérer en temps réel les informations actualisées.

Les données récupérées sont ensuite traitées selon les critères spécifiques. Notre système analyse ces informations pour calculer un score de pertinence pour chaque hôpital potentiel. Les résultats de cette analyse sont présentés de manière claire à l'utilisateur, montrant l'hôpital recommandé comme destination optimale pour l'évacuation du patient, ainsi que d'autres options possibles, triées par ordre de pertinence.

La figure 4-14 suivant présente un formulaire d'évacuation :

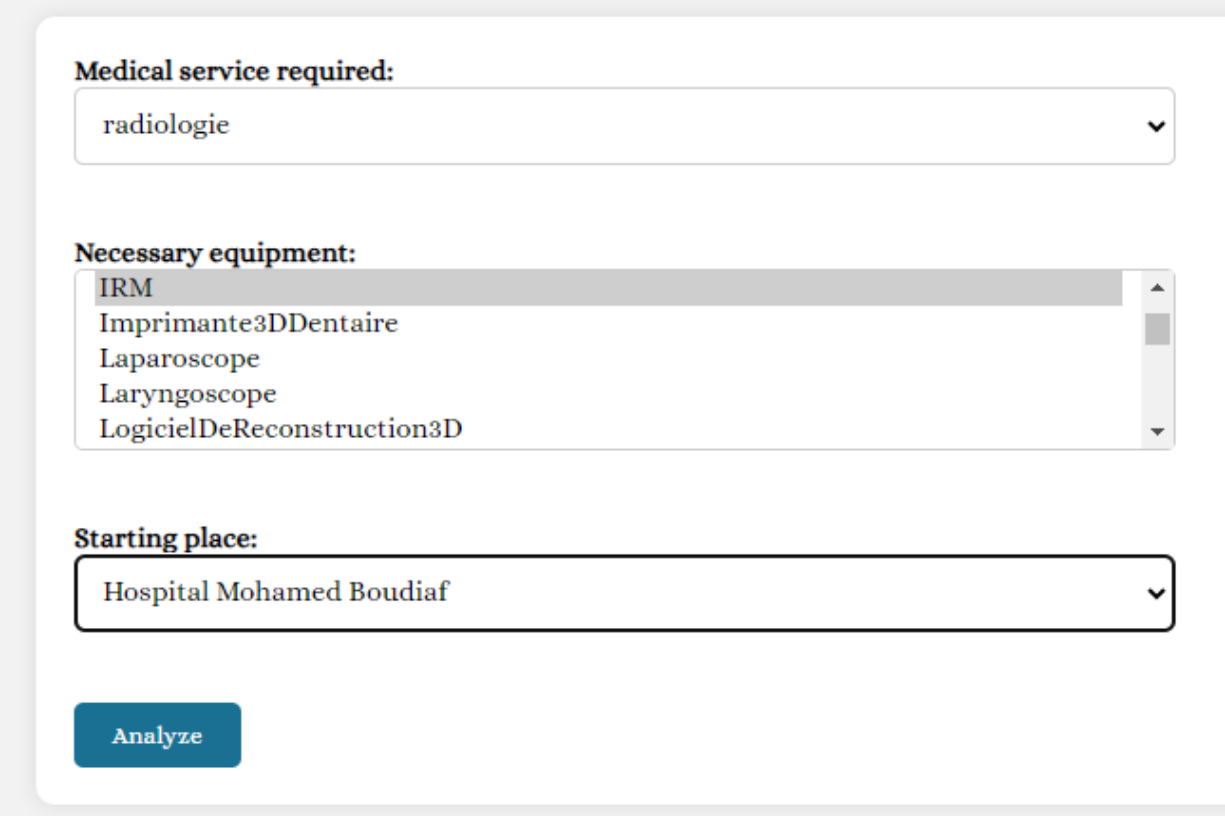
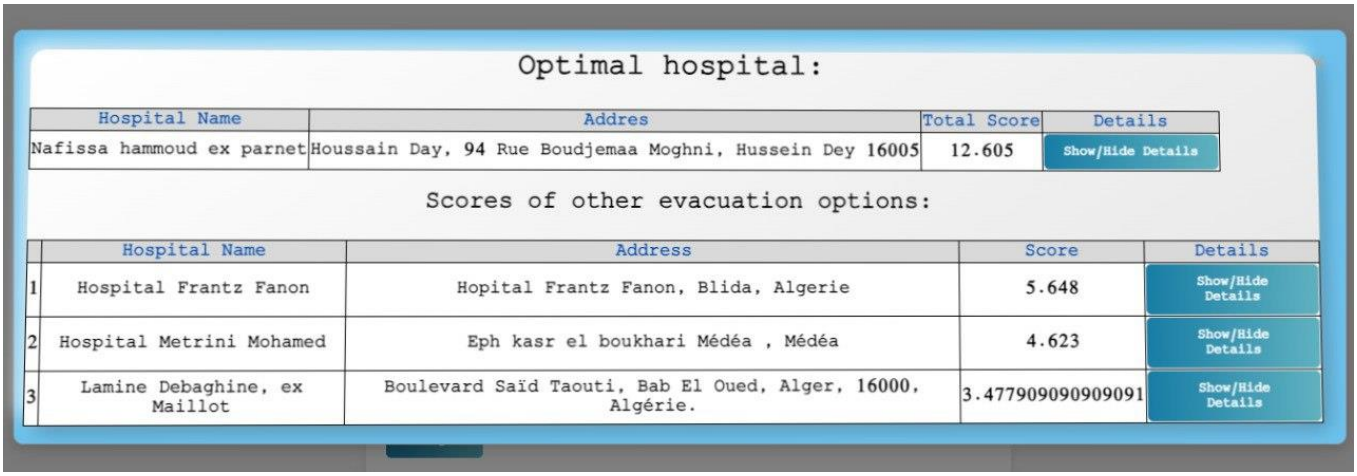


Figure 4-14 : Une demande d'évacuation.

Implémentation

La figure 4-15 présente un affichage des informations sur les hôpitaux pour une évacuation optimale :



Optimal hospital:

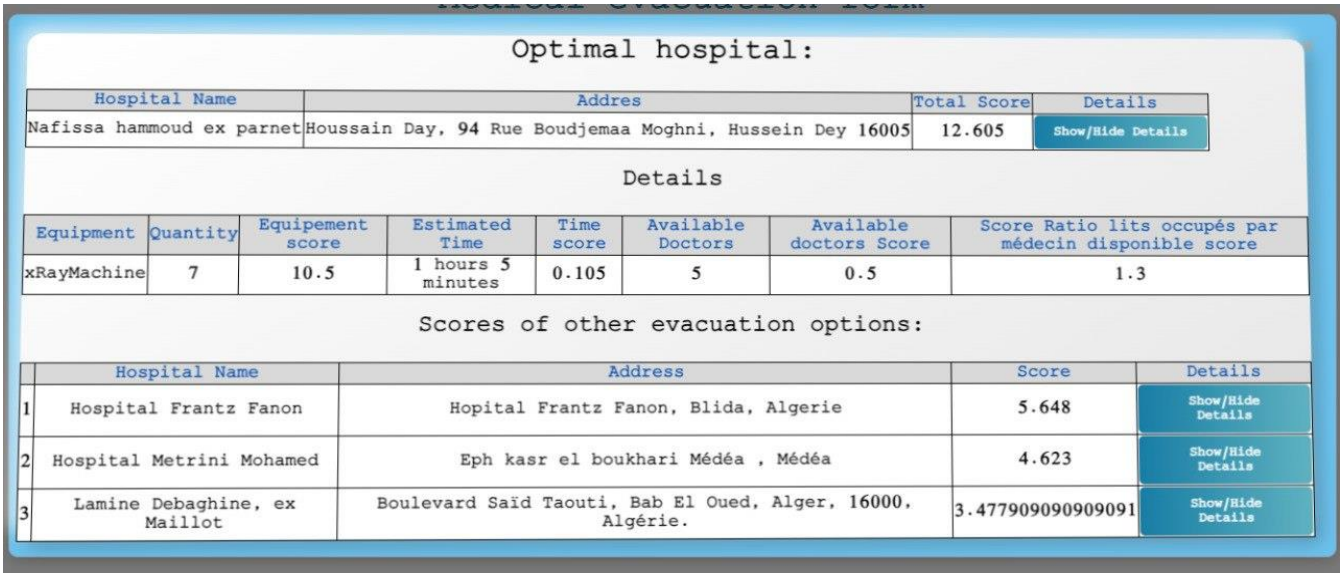
Hospital Name	Addres	Total Score	Details
Nafissa hammoud ex parnet	Houssain Day, 94 Rue Boudjemaa Moghni, Hussein Dey 16005	12.605	Show/Hide Details

Scores of other evacuation options:

	Hospital Name	Address	Score	Details
1	Hospital Frantz Fanon	Hopital Frantz Fanon, Blida, Algerie	5.648	Show/Hide Details
2	Hospital Metrini Mohamed	Eph kasr el boukhari Médéa , Médéa	4.623	Show/Hide Details
3	Lamine Debaghine, ex Maillot	Boulevard Saïd Taouti, Bab El Oued, Alger, 16000, Algérie.	3.477909090909091	Show/Hide Details

Figure 4-15 : les résultats d'évacuation.

La figure 4-16 presente plus des detailles des informations sur les hôpitaux :



Optimal hospital:

Hospital Name	Addres	Total Score	Details
Nafissa hammoud ex parnet	Houssain Day, 94 Rue Boudjemaa Moghni, Hussein Dey 16005	12.605	Show/Hide Details

Details

Equipment	Quantity	Equipement score	Estimated Time	Time score	Available Doctors	Available doctors Score	Score Ratio lits occupés par médecin disponible score
xRayMachine	7	10.5	1 hours 5 minutes	0.105	5	0.5	1.3

Scores of other evacuation options:

	Hospital Name	Address	Score	Details
1	Hospital Frantz Fanon	Hopital Frantz Fanon, Blida, Algerie	5.648	Show/Hide Details
2	Hospital Metrini Mohamed	Eph kasr el boukhari Médéa , Médéa	4.623	Show/Hide Details
3	Lamine Debaghine, ex Maillot	Boulevard Saïd Taouti, Bab El Oued, Alger, 16000, Algérie.	3.477909090909091	Show/Hide Details

Figure 4-16 : les détails des résultats.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni une description complète de la mise en œuvre de notre plateforme, en mettant l'accent sur la création des jumeaux numériques des hôpitaux et leur simulation en temps réel pour une prise de décision fiable. Nous avons également présenté les différentes fonctionnalités de notre plateforme, y compris les interfaces utilisateur pour l'évacuation des patients, la gestion des hôpitaux, et l'application supplémentaire permettant aux établissements de santé de créer, modifier, et supprimer leurs jumeaux numériques de manière simple et structurée. Ces éléments combinés assurent une gestion optimale des ressources et une réponse rapide aux besoins médicaux.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif du projet était de répondre aux défis liés à la gestion des admissions et des évacuations des patients dans les hôpitaux en développant une plateforme intégrant des technologies avancées comme les jumeaux numériques et les modèles de décision multicritères. Cette initiative visait à introduire des solutions innovantes pour optimiser les opérations hospitalières et améliorer la qualité des soins.

Les jumeaux numériques permettent de créer des répliques virtuelles en temps réel des processus hospitaliers. Ces répliques facilitent l'optimisation et la simulation des opérations, permettant une gestion proactive et prédictive des ressources et des flux de patients.

En intégrant des modèles de décision multicritères, la plateforme aide les gestionnaires à prendre des décisions informées et équilibrées, en tenant compte de divers facteurs comme la disponibilité des ressources, la gravité des cas, et les priorités médicales. Cela permet une allocation plus judicieuse et efficace des ressources.

En conclusion, l'implémentation de cette plateforme marque une avancée significative dans la gestion des soins de santé. Elle optimise les processus d'admission et d'évacuation des patients tout en permettant une anticipation et une gestion plus efficaces des situations complexes grâce aux technologies avancées de simulation et de modélisation. Avec cette initiative, nous cherchons à provoquer une transformation profonde de la qualité des soins et à renforcer la capacité des systèmes de santé à faire face aux défis actuels et futurs.

L'optimisation des admissions hospitalières peut être révolutionnée en intégrant des technologies avancées. Les capteurs et l'Internet des objets (IoT) permettent de surveiller en temps réel la capacité des différentes unités hospitalières, en suivant des paramètres tels que le nombre de lits disponibles et l'occupation des salles d'opération. L'utilisation d'algorithmes d'intelligence artificielle (IA) permet d'analyser les données des patients pour prédire les besoins futurs en ressources, ce qui aide à planifier les admissions et à éviter les surcharges. De plus, en développant des profils de patients détaillés qui comprennent leurs préférences, leurs besoins spécifiques et leurs historiques médicaux, les hôpitaux peuvent personnaliser le processus d'admission et les soins subséquents, améliorant ainsi l'efficacité et la satisfaction des patients.

Bibliographie

[1] Qu'est-ce que l'Internet of Things (IoT) ? | Oracle Algeria n.d. https://www.oracle.com/dz/internet-of-things/what-is-iot/ (accessed July 2, 2024).

[2] Tout savoir sur l'Internet des Objets - Internet of things n.d. https://www.synox.io/actualites-sectorielle/4-choses-a-savoir-sur-linternet-des-objets/ (accessed June 11, 2024).

[3] Architecture IoT : L'essentiel à savoir | IoT Industriel Blog n.d. https://iotindustriel.com/iot-iiot/architecture-iot-lessentiel-a-savoir/ (accessed June 18, 2024).

[4] Modèle d'architecture IoT à 6 niveaux VI. PLATE-FORME MATERIELLE... | Download Scientific Diagram n.d. https://www.researchgate.net/figure/Modele-darchitecture-IoT-a-6-niveaux-VI-PLATE-FORME-MATERIELLE-KONTAKTIO-De-nombreuses_fig1_333014529 (accessed June 11, 2024).

[5] Nath SV, Van Schalkwyk P, Isaacs D. Building Industrial Digital Twins: Design, develop, and deploy digital twin solutions for real-world industries using Azure Digital Twins. Packt Publishing Ltd; 2021.

[6] What Is a Digital Twin? | IBM n.d. https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin (accessed June 11, 2024).

[7] Eclipse Ditto™ documentation overview • Eclipse Ditto™ • a digital twin framework n.d. https://eclipse.dev/ditto/intro-overview.html (accessed June 11, 2024).

[8] Protocol topics • Eclipse Ditto™ • a digital twin framework n.d. https://eclipse.dev/ditto/tag_protocol.html (accessed June 18, 2024).

[9] How to build Digital Twin using Eclipse Ditto? n.d. https://www.upnxtblog.com/index.php/2021/06/01/how-to-build-digital-twin-using-eclipse-ditto/ (accessed June 11, 2024).

[10] Qu'est-ce qu'Azure Digital Twins ? - Azure Digital Twins | Microsoft Learn n.d. https://learn.microsoft.com/fr-fr/azure/digital-twins/overview (accessed June 12, 2024).

[11] Mena S Ben. Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. BASE 2000.

[12] Ishizaka A, Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. John Wiley & Sons; 2013.

[13] Taherdoost H, Madanchian M. Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts. Encyclopedia 2023;3:77–87.

[14] Tahmineh Aldaghi JM. Multicriteria Decision-Making in Diabetes Management and Decision Support: Systematic Review 2024.

[15] de Castro JP, Mosegui GBG, da Costa TMA. Application of multiple criteria decision analysis (MCDA) for the selection of pharmacological treatments. Brazilian Journal of Health Review 2020;3:13154–69.

[16] Qu'est-ce qu'un diagramme de séquence UML | Lucidchart n.d. https://www.lucidchart.com/pages/fr/diagramme-de-sequence-uml (accessed June 12, 2024).

[17] HTTP API • Eclipse Ditto™ • a digital twin framework n.d. https://eclipse.dev/ditto/http-api-doc.html (accessed June 12, 2024).

[18] Node-RED: Lecture 1 - A brief introduction to Node-RED - Node RED Programming Guide n.d. https://noderedguide.com/nr-lecture-1/ (accessed June 12, 2024).

[19] Welcome to Flask — Flask Documentation (3.0.x) n.d. https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/ (accessed June 11, 2024).