



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الدكتور مولاي طاهر

كلية الرياضيات و الإعلام الآلي و الاتصالات السلكية و اللاسلكية

قسم: الإعلام الآلي

## Mémoire de Master en informatique

Spécialité : Réseaux et Systèmes Informatiques Répartis

### Thème

MediConnect Algérie : Plateforme Médicale Intelligente  
pour la Gestion Intégrée des Soins

Présenté par :

Amal MARMOURI  
Fatih KOUIDRI

Dirigé par :

ENCADREUR : Mebarka YAHLALI  
CO-ENCADREUR : Rehia KADARI

Année universitaire



2025-2026

## *Dédicace*

*Je tien à la fin de ce travail à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'arriver là*

Je dédie ce *modeste* travail à mes chers parents Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

A Mes très chers frères Elhassene, Elhoussine et Abdealwahab et ma chère sœur Kheira.

A toute ma famille.

A tous les enseignants et les enseignantes qui ont contribué à ma formation tout au long de ma vie.

Amal Marmouri

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon père, que Dieu lui accorde Son infinie miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.

À ma très chère mère, à qui je souhaite santé, guérison et longue vie. Merci pour ton amour, tes sacrifices et tes prières qui m'ont toujours accompagnée et soutenue tout au long de mon parcours.

À mon mari, pour sa patience, son soutien indéfectible, ses encouragements constants et sa présence à mes côtés dans les moments les plus difficiles.

À mes chers enfants : Ritadj, Mouaad, Rouya et Taha, qui sont ma source de bonheur, de motivation et de persévérance.

À toute ma famille, proche et élargie, pour leur affection, leurs encouragements et leur soutien permanent.

À toute l'équipe médicale de SALLEME2, pour leur collaboration, leur confiance et leur accompagnement.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Je leur adresse mes plus sincères remerciements et toute ma gratitude.

Fatiha Kouidri

## **Remerciements**

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadreur, Madame Yahlali Mebarka pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons également notre gratitude à l'ensemble des enseignants du département d'informatique qui ont contribué à notre formation et nous ont transmis les connaissances nécessaires à l'accomplissement de ce projet.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et de lui consacrer leur temps et leur attention.

Nous tenons à remercier nos familles pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur confiance tout au long de notre parcours universitaire.

## *Liste des figures*

<b>Figure 1 Exemples de spécialités concernées par la télémédecine[1]</b> .....	<b>15</b>
<b>Figure 2 : Flux de données d'intégration HL7 [21]</b> .....	<b>24</b>
<b>Figure 3 :traitement de données selon la loi 18-07 [12]</b> .....	<b>32</b>
<b>Figure 4 : Diagrammes de cas d'utilisation</b> .....	<b>45</b>
<b>Figure 5 : Diagramme des classes des utilisateurs</b> .....	<b>47</b>
<b>Figure 6 : Diagramme des classes du dossier médical et patient</b> .....	<b>48</b>
<b>Figure 7 :Diagramme des classes des consultations et des ordonnances</b> .....	<b>49</b>
<b>Figure 8 : Diagramme des classes du module de détection des interactions médicamenteuses</b> .....	<b>50</b>
<b>Figure 9 : Diagramme des classes de gestion des rendez-vous</b> .....	<b>52</b>
<b>Figure 10 : Diagrammes de séquence prescriptions avec vérification des interaction</b> .....	<b>53</b>
<b>Figure 11 Diagrammes de sequence Administrateur</b> .....	<b>54</b>
<b>Figure 12 :Diagramme de séquence – Agent médical de tri</b> .....	<b>55</b>
<b>Figure 13 : Diagramme de séquence – Médecin traitant</b> .....	<b>56</b>
<b>Figure 14 : Diagramme de séquence – Patient</b> .....	<b>57</b>
<b>Figure 15: Diagramme d'activité d' intégration et prédiction via Drug-Bank</b> .....	<b>58</b>
<b>Figure 16 : Diagramme d'activité</b> .....	<b>60</b>
<b>Figure 17: Interface d'accueil</b> .....	<b>66</b>
<b>Figure 18: Connexion Admin</b> .....	<b>67</b>
<b>Figure 19: Interface de gestion des comptes médicaux par l'administrateur</b> .....	<b>67</b>
<b>Figure 20: Interface de création du dossier médical par l'agent médical de tri</b> .....	<b>68</b>
<b>Figure 21: Interface de détection des interactions médicamenteuses</b> .....	<b>68</b>
<b>Figure 22: Test du module de prédiction des interactions médicamenteuses pour un nouveau DCI (Lepirudin)</b> .....	<b>69</b>

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1: Comparaison entre DEM, DMP, EHR et Doctolib, OpenMRS et OSCAR EM</b> .....	<b>20</b>
<b>Tableau 2 : Comparaison entre le RGPD et la loi algérienne n° 18-07</b> .....	<b>30</b>
<b>Tableau 3 : Facteurs derisque des interactions médicamenteuses</b> .....	<b>37</b>
<b>Tableau 4 : Exemples d'interactions médicamenteuses courantes</b> .....	<b>37</b>
<b>Tableau 5: Performances des algorithmes de Machine Learning pour la détection des DDI</b> .....	<b>40</b>
<b>Tableau 6 : Synthèse de l'exploitation des bases de données et des langues selon la tâche</b> .....	<b>62</b>

## *Liste des abréviations*

- TIC : Technologies de l'information et de la communication.
- CDA : Clinical Document Architecture.
- DEM : Dossier électronique médical.
- DMP : Dossier Médical Partagé.
- EHR : Electronic Health Records.
- OpenMRS : Open Medical Record System.
- HL7 : Health Level Seven.
- OSI : Open Systems Interconnection.
- FHIR : Fast Healthcare Interoperability Resources.
- CI-SIS : Cadre d'Interopérabilité des Systèmes d'Information de Santé.
- ANS : Agence du Numérique en Santé.
- GS1 : Global Standards 1.
- GTIN : Global Trade Item Number.
- GLN : Global Location Number.
- GSRN : Global Service Relation Number.
- SSCC : Serial Shipping Container Code.
- RGPD : Règlement Général sur la Protection des Données.
- IA : intelligence artificielle.
- NLP : natural language processing.
- CDSS : Clinical Decision Support Systems.
- DDI : Drug-Drug Interactions

# Sommaire

<b>Introduction Générale</b> .....	10
<b>Partie I : État de l'art et Contexte Algérien</b> .....	13
<b>Chapitre 1 : La e-santé en Algérie et dans le monde</b> .....	13
<b>1.1 Introduction</b> .....	13
<b>1.2 Télémédecine</b> .....	13
<b>1.2.1 Types de télémédecine</b> .....	14
<b>1.3 Dossier électronique médical (DEM)</b> .....	15
<b>1.3.1 Intérêt du DEM</b> .....	15
<b>1.3.2 Caractéristiques du dossier électronique médical</b> .....	16
<b>1.3.3 Composantes du dossier électronique médical</b> .....	16
<b>1.3.4 Mise en œuvre du dossier électronique médical (DEM) en Algérie</b> .....	16
<b>1.3.5 Impact du DEM sur la qualité des soins</b> .....	17
<b>1.3.6 Enjeux et défis du dossier électronique médical</b> .....	17
<b>1.4 Benchmark des solutions existantes</b> .....	18
<b>1.4.1 Doctolib</b> .....	18
<b>1.4.1.1 Avantages de Doctolib</b> .....	18
<b>1.4.1.2 Limites de Doctolib</b> .....	18
<b>1.4.2 Open Medical Record System (OpenMRS)</b> .....	19
<b>1.4.2.1 Avantages de OpenMRS</b> .....	19
<b>1.4.2.2 Limites de OpenMRS</b> .....	19
<b>1.4.3 Oscar EMR</b> .....	19
<b>1.4.3.1 Avantages de Oscar EMR</b> .....	20
<b>1.4.3.2 Limites de Oscar EMR</b> .....	20
<b>Chapitre 2 : Architecture et Cadre Réglementaire des Systèmes de Santé Connectés</b> .....	22
<b>2.1 Introduction</b> .....	22
<b>2.2 Standards d'interopérabilité medical</b> .....	22
<b>2.2.1 Health Level Seven (HL7)</b> .....	23
<b>2.2.2 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)</b> .....	25
<b>2.2.3 Cadre d'Interopérabilité des Systèmes d'Information de Santé (CI-SIS)</b> .....	26
<b>2.2.4 Global Standards 1 (GS1)</b> .....	26
<b>2.3 Gouvernance et Cadre Réglementaire des Données de Santé Sensitives</b> .....	27
<b>2.3.1 Approche comparative globale</b> .....	28

2.3.1.1 Le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) .....	28
2.3.1.2 La loi algérienne n° 18-07 .....	29
2.4 Conclusion .....	32
<b>Chapitre 3 : Intelligence artificielle pour les risques médicamenteux</b> .....	<b>35</b>
3.2 Les Interactions Médicamenteuses : Fondements Théoriques .....	35
3.2.1 Définition et Classification .....	35
3.2 Systèmes d'Aide à la Décision Clinique (SADC) .....	37
3.2.1 Définition et Rôle .....	37
3.2.2 Applications dans la Détection des Interactions .....	38
3.2.3 Limites des SADC Traditionnels .....	38
3.3 Détection des Interactions Médicamenteuses par Intelligence Artificielle .....	39
3.3.1 Approches de Machine Learning .....	39
3.3.2 Réseaux de Neurones Profonds (Deep Learning) .....	40
3.3.3 Réseaux de Neurones sur Graphes (GNN) .....	41
<b>Partie II : Solution proposée , Conception et Architecture du Système</b> .....	<b>43</b>
<b>chapitre 4 : Conception et Architecture du Système</b> .....	<b>43</b>
4.1 Introduction .....	43
4.2 Digramme UML .....	43
4.2.1 Identification des acteurs .....	43
4.2.2 Besoins fonctionnels .....	44
4.2.3 Besoins non fonctionnels .....	44
4.2.4 Modélisation UML .....	45
4.2.4.1 diagramme de cas d'utilisation .....	45
4.2.4.2 Diagramme des classes .....	46
4.2.4.3 diagramme de séquence .....	53
4.3 Conception du Module de Détection des Interactions Médicamenteuses .....	57
4.3.1 Processus Globaux de Traitement (Workflows) .....	57
4.3.2 Spécification Algorithmique du Moteur de Décision .....	61
4.3.3 Scénario de Validation et Analyse des Résultats .....	62
<b>Chapitre 5 : Implémentation</b> .....	<b>64</b>
5.1 Les outils utilisés .....	64
5.1.1 PyCharm .....	64
5.1.2 Android Studio .....	64
3.2 Les outils de développement .....	65

<b>3.2.1 Le langage Python</b> .....	65
<b>3.2.2 FastAPI</b> .....	65
<b>3.2.3 HTML, CSS et JavaScript</b> .....	65
<b>3.2.4 MySQL</b> .....	66
<b>3.3 Présentation des interfaces réalisées</b> .....	66
<b>Conclusion Générale</b> .....	70
<b>Références</b> .....	71
<b>Annexe</b> .....	74

## Introduction Générale

La transformation numérique représente aujourd'hui un levier essentiel pour la modernisation de nombreux secteurs, notamment celui de la santé. L'intégration des technologies de l'information et de la communication dans les systèmes de santé permet d'améliorer la qualité des soins, d'optimiser la gestion des ressources médicales et de faciliter l'accès aux services pour les patients. À l'échelle mondiale, l'émergence de l'e-santé et de la médecine digitale a profondément transformé les pratiques médicales, en introduisant des outils innovants tels que le dossier médical électronique, la télémédecine et les systèmes d'aide à la décision.

En Algérie, cette transition vers la digitalisation du secteur de la santé s'inscrit dans une dynamique progressive visant à répondre aux besoins croissants de la population et à améliorer l'efficacité des services médicaux. Malgré les efforts entrepris, de nombreux établissements de santé continuent de fonctionner avec des méthodes traditionnelles, reposant sur des supports papier ou des systèmes informatiques non intégrés. Cette situation engendre une fragmentation des données médicales, un manque de coordination entre les différents acteurs et des difficultés dans le suivi des patients.

Dans ce contexte, plusieurs problématiques se posent, notamment l'absence d'un système centralisé permettant de gérer efficacement les informations médicales, de prévenir les risques d'erreurs liés aux interactions médicamenteuses, et de pallier les limites des solutions existantes en matière d'interopérabilité et de sécurité. Ces contraintes soulignent la nécessité de développer des solutions numériques intelligentes capables d'améliorer la gestion des données et de renforcer la qualité des soins.

Les interactions médicamenteuses constituent une cause importante d'événements indésirables évitables. Plusieurs cas réels ont démontré leur gravité, pouvant entraîner des complications sévères, voire le décès des patients. À titre d'exemple, des cas mortels ont été rapportés chez des patients traités simultanément par la warfarine et le miconazole, une association ayant provoqué des hémorragies graves à la suite d'une augmentation excessive de l'effet anticoagulant de la warfarine. Ces situations mettent en évidence la nécessité de disposer d'outils intelligents capables de détecter automatiquement les interactions médicamenteuses avant la validation d'une prescription.

Ainsi, l'objectif principal de ce projet est de concevoir et de développer une plateforme médicale intelligente, intitulée *MediConnect Algérie*, permettant d'assurer une gestion intégrée et sécurisée des données médicales. Cette plateforme vise à centraliser les informations des patients, à faciliter la communication entre les professionnels de santé et à intégrer un module de détection des interactions médicamenteuses afin d'assister les médecins dans leur prise de décision.

Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie structurée a été adoptée, basée sur l'analyse des besoins, l'étude de l'existant, la modélisation UML, la conception de l'architecture du système, ainsi que son implémentation et sa validation. Cette approche permet de garantir la cohérence et la performance de la solution développée.

Le présent mémoire est structuré en deux grandes parties, précédées d'une introduction générale et suivies d'une conclusion générale.

La première partie, intitulée « **État de l'art et Contexte Algérien** », présente les fondements théoriques et technologiques nécessaires à la compréhension du projet. Le premier chapitre aborde la e-santé, la télémédecine, le Dossier Électronique Médical (DEM), ainsi que les initiatives de santé numérique en Algérie et dans le monde. Le deuxième chapitre est consacré à l'architecture des systèmes de santé connectés, aux standards d'échange des données médicales tels que HL7 et FHIR, aux aspects liés à la sécurité et à la protection des données médicales, ainsi qu'aux enjeux de continuité des soins. Le troisième chapitre présente l'état de l'art de l'intelligence artificielle appliquée à la détection des risques médicamenteux et aux systèmes d'aide à la décision clinique.

La deuxième partie, intitulée « **Solution proposée, Conception et Architecture du Système** », est consacrée à la présentation de la solution MediConnect. Le premier chapitre décrit la conception générale du système à travers les différents diagrammes UML et l'analyse des fonctionnalités proposées. Le deuxième chapitre détaille la conception du module de détection des interactions médicamenteuses, son architecture globale ainsi que les choix techniques retenus pour son intégration au sein de la plateforme. Le troisième chapitre présente l'implémentation de la solution, les outils de développement utilisés et les principales interfaces réalisées.

Enfin, le mémoire se termine par une **conclusion générale** qui récapitule les principaux résultats obtenus, présente les limites du projet et propose des perspectives d'amélioration ainsi que des travaux futurs.

***CHAPITRE 1 :***  
***La e-santé en Algérie et dans le monde***

## 1.1 Introduction

L'évolution rapide des technologies de l'information et de la communication a profondément transformé le secteur de la santé, donnant naissance au concept de **e-santé** ou **santé numérique**. Cette approche repose sur l'utilisation des outils numériques pour améliorer l'accès aux soins, faciliter la gestion des informations médicales et renforcer la collaboration entre les différents acteurs du système de santé. La e-santé englobe de nombreuses applications telles que les dossiers médicaux électroniques, la télémédecine, les plateformes de prise de rendez-vous en ligne, les applications mobiles de santé et les systèmes d'aide à la décision médicale.

À l'échelle mondiale, la e-santé est devenue un levier majeur de modernisation des systèmes de santé en permettant une meilleure qualité des soins, une réduction des coûts et une prise en charge plus efficace des patients. En Algérie, la transformation numérique du secteur de la santé connaît également un développement progressif à travers la mise en place de différentes initiatives visant à améliorer la gestion des données médicales et l'accès aux services de santé.

Dans ce contexte, ce chapitre présente les principaux concepts liés à la e-santé, son évolution en Algérie et dans le monde, ainsi que les technologies et solutions numériques qui contribuent aujourd'hui à l'amélioration des services de santé.

### Objectifs du chapitre :

- Présenter les concepts fondamentaux de la e-santé et de la transformation numérique du secteur médical.
- Décrire les principales applications de la télémédecine et leurs apports dans l'amélioration de l'accès aux soins.
- Expliquer le rôle du Dossier Électronique Médical (DEM) dans la gestion des informations de santé.
- Étudier les solutions existantes de gestion des données médicales et analyser leurs caractéristiques.

## 1.2 Télémédecine

La télémédecine constitue aujourd'hui l'une des principales applications de la e-santé et un élément clé de la transformation numérique des systèmes de santé. Grâce au développement des technologies de l'information et de la communication (TIC), elle permet de fournir des services médicaux à distance lorsque les professionnels de santé et les patients se trouvent dans des lieux géographiques différents. Les actes médicaux peuvent ainsi être réalisés au moyen de divers outils numériques tels que la visioconférence, la transmission d'images médicales, les plateformes de santé en ligne ou encore les systèmes de télésurveillance des patients.

Face à l'augmentation des maladies chroniques, au vieillissement de la population et aux disparités géographiques dans l'accès aux soins, la télémédecine représente une

solution efficace pour améliorer la prise en charge des patients et renforcer la continuité des soins. Elle facilite les échanges d'informations médicales entre les professionnels de santé, optimise le suivi médical et favorise une meilleure coordination entre les différents acteurs du système de santé. Son utilisation est particulièrement bénéfique dans les régions éloignées ou insuffisamment couvertes par les infrastructures médicales.

Initialement développée dans certaines spécialités telles que la radiologie, la dermatologie, la cardiologie ou l'anatomopathologie, la télémédecine s'est progressivement étendue à de nombreux domaines de la pratique médicale. Elle ne constitue pas une spécialité médicale à part entière, mais un ensemble de pratiques permettant aux professionnels de santé d'exercer la médecine au-delà des contraintes géographiques traditionnelles. En contribuant à améliorer l'accessibilité des soins, à optimiser l'utilisation des ressources médicales et à renforcer l'implication des patients dans leur parcours de santé, la télémédecine s'impose aujourd'hui comme un levier essentiel pour la modernisation et l'efficacité des systèmes de santé. [2][3]

### 1.2.1 Types de télémédecine

La télémédecine comprend les actes suivants :

- **La téléconsultation** : La téléconsultation permet à un professionnel médical de donner une consultation à distance par l'intermédiaire des technologies de l'information et de la communication. C'est un acte médical et une action synchrone patient et médecin se parlent . Elle permet au professionnel de santé médical requis de réaliser une évaluation globale du patient, en vue de définir la conduite à tenir à la suite de cette téléconsultation.
- **La télé-expertise** : La télé expertise permet à un professionnel médical de solliciter à distance l'avis d'un ou de plusieurs professionnels médicaux par l'intermédiaire des technologies de l'information et de la communication. C'est d'abord un acte médical et une action asynchrone (patient et médecin ne se parlent pas). Cela concerne deux médecins pendant ou à distance de la consultation initiale. Cette action ne faisait pas l'objet d'une rémunération jusqu'à présent.
- **La télésurveillance** : un médecin interprète à distance les données cliniques ou biologiques recueillies par le patient ou un professionnel de santé .
- **La téléassistance** : La téléassistance médicale a pour objet de permettre à un professionnel médical d'assister à distance un autre professionnel de santé au cours de la réalisation d'un acte.

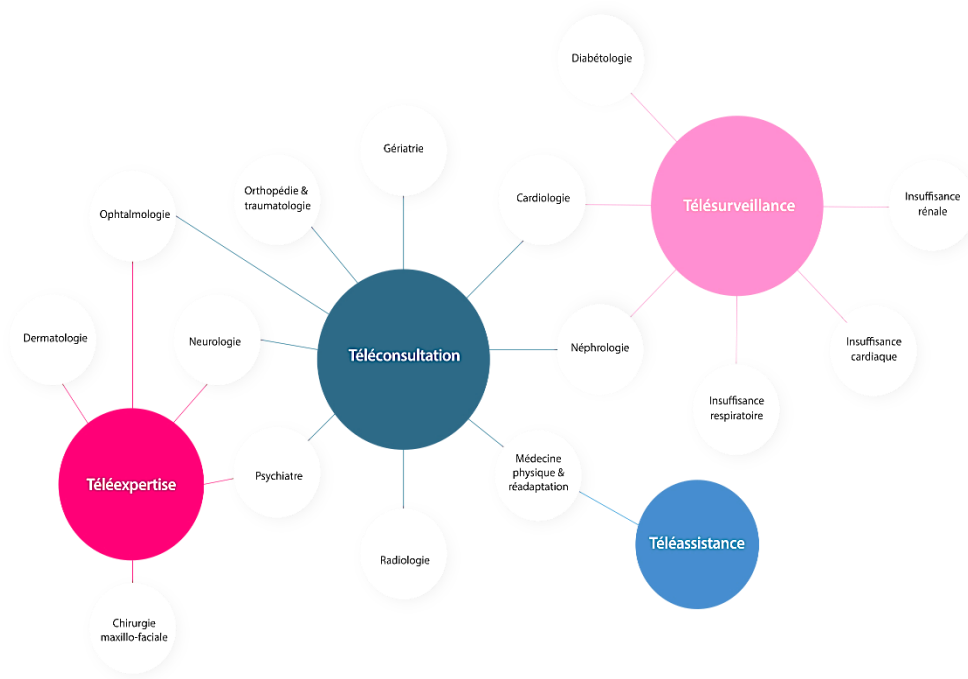


FIGURE 1 EXEMPLES DE SPECIALITES CONCERNEES PAR LA TELEMEDECINE[1]

### 1.3 Dossier électronique médical (DEM)

DEM est un système informatisé de gestion des informations médicales des patients. Il vise à regrouper électroniquement les données médicales et de santé, telles que les antécédents médicaux, les résultats d'analyses, les diagnostics, les traitements, les données cliniques et tout autre élément pertinent pour la prise en charge médicale des patients. Le DEM permet un accès sécurisé aux informations de santé, facilite la coordination des soins et améliore la qualité des services de santé.

Le cadre juridique entourant le dossier électronique médical comprend les lois, règlements et normes qui régissent la collecte, le stockage, l'accès et la protection des données de santé. En Algérie, la loi 18-07 du 10 janvier 2018 relative à la santé définit les principes fondamentaux de la protection des données de santé, y compris les dispositions spécifiques concernant les dossiers médicaux électroniques. Cette législation établit les règles de confidentialité, de sécurité et d'accès aux informations médicales électroniques, ainsi que les droits et responsabilités des professionnels de la santé et des patients en ce qui concerne ces données. [4]

#### 1.3.1 Intérêt du DEM

DEM constitue un outil essentiel pour la modernisation des systèmes de santé. Il améliore la communication et la coordination entre les différents professionnels de santé en facilitant le partage rapide et sécurisé des informations médicales. Son utilisation contribue également à réduire les tâches administratives liées à la gestion des dossiers papier, ce qui permet un gain de temps et une diminution des coûts de fonctionnement. En outre, le DEM participe à la réduction des erreurs médicales grâce à une meilleure disponibilité des données cliniques et à un accès immédiat à l'historique du patient. Il

favorise également l'exploitation des données de santé à des fins d'analyse et d'amélioration des pratiques médicales. Enfin, il améliore l'expérience des patients en offrant une prise en charge plus rapide, plus efficace et davantage personnalisée.

### **1.3.2 Caractéristiques du dossier électronique médical**

Le dossier électronique médical se distingue par plusieurs caractéristiques qui garantissent son efficacité et sa fiabilité. Il permet le stockage sécurisé des informations médicales tout en assurant leur disponibilité pour les professionnels de santé autorisés. Grâce aux mécanismes de traçabilité, chaque accès ou modification des données peut être enregistré et contrôlé. Le DEM est également conçu pour être compatible avec d'autres systèmes d'information de santé afin de faciliter l'échange de données entre les établissements. Il intègre des mécanismes de contrôle d'accès permettant de protéger les informations sensibles et de respecter les exigences réglementaires relatives à la confidentialité des données. Ces caractéristiques font du DEM un outil performant pour la gestion et le suivi des informations médicales.

### **1.3.3 Composantes du dossier électronique médical**

Le dossier électronique médical regroupe un ensemble structuré d'informations relatives au patient. Il comprend notamment les données administratives et d'identification, les antécédents médicaux, les résultats d'examens cliniques et biologiques, les comptes rendus médicaux, ainsi que les prescriptions et traitements en cours. Il peut également intégrer des documents tels que les images médicales, les rapports d'hospitalisation et les certificats médicaux. L'ensemble de ces composantes permet de centraliser les informations de santé du patient dans un environnement sécurisé, facilitant ainsi le suivi médical, la continuité des soins et la prise de décision clinique.

### **1.3.4 Mise en œuvre du dossier électronique médical (DEM) en Algérie**

La mise en œuvre du dossier électronique médical (DEM) en Algérie constitue une étape essentielle dans la modernisation du système de santé et la transformation numérique des établissements sanitaires. Son objectif est d'améliorer la gestion des informations médicales, de faciliter le partage sécurisé des données entre les professionnels de santé et d'assurer une meilleure continuité des soins pour les patients. Le déploiement du DEM nécessite la mise en place d'une infrastructure technologique fiable comprenant des serveurs sécurisés, des réseaux de communication performants et des mécanismes de sauvegarde garantissant la disponibilité des données. Il repose également sur l'adoption de solutions interopérables capables d'échanger efficacement les informations médicales entre les différents établissements de santé.

Par ailleurs, la réussite de cette transition numérique dépend fortement de la formation et de la sensibilisation des professionnels de santé à l'utilisation des outils numériques. Les utilisateurs doivent être accompagnés afin de maîtriser les nouvelles pratiques liées à la gestion des dossiers électroniques tout en respectant les règles de confidentialité et de sécurité des données. La protection des informations médicales représente en effet un enjeu majeur nécessitant la mise en œuvre de mécanismes de sécurité robustes tels que l'authentification des utilisateurs, le chiffrement des données et le contrôle des accès.

Enfin, le succès du déploiement du DEM repose sur l'implication de l'ensemble des acteurs du système de santé, notamment les professionnels de santé, les établissements hospitaliers, les autorités publiques et les patients. Cette collaboration permet de mieux identifier les besoins du secteur, de favoriser l'acceptation des nouvelles technologies et de garantir une intégration progressive et efficace du dossier électronique médical dans le contexte algérien.

### **1.3.5 Impact du DEM sur la qualité des soins**

Le dossier électronique médical contribue significativement à l'amélioration de la qualité des soins en offrant aux professionnels de santé un accès rapide, centralisé et sécurisé aux informations médicales des patients. Grâce à la disponibilité immédiate des antécédents médicaux, des résultats d'examens, des traitements en cours et des prescriptions antérieures, les praticiens peuvent prendre des décisions plus rapides et mieux adaptées à l'état du patient. Cette accessibilité améliore l'efficacité des consultations et réduit les délais de prise en charge.

Le DEM favorise également une meilleure coordination entre les différents acteurs du parcours de soins. Les médecins, infirmiers, pharmaciens et autres professionnels autorisés peuvent consulter les mêmes informations actualisées, ce qui facilite la collaboration et assure une continuité optimale des soins. Cette coordination contribue à limiter les examens redondants, à éviter les pertes d'informations et à améliorer le suivi des patients, notamment ceux atteints de maladies chroniques.

En outre, le dossier électronique médical participe à la réduction des erreurs médicales grâce à l'intégration de mécanismes d'alerte permettant de signaler les allergies, les contre-indications ou les interactions médicamenteuses. Il assure également la conservation de l'historique médical du patient sur le long terme, facilitant ainsi l'évaluation de l'efficacité des traitements et le suivi de l'évolution de son état de santé. Enfin, les données collectées peuvent être exploitées pour l'analyse statistique, la recherche médicale et l'amélioration continue des pratiques de soins.

### **1.3.6 Enjeux et défis du dossier électronique médical**

Malgré les nombreux avantages qu'il offre, le dossier électronique médical soulève plusieurs enjeux et défis qui doivent être pris en considération pour garantir son efficacité et sa pérennité. L'un des principaux défis concerne la confidentialité et la sécurité des données médicales. Les informations de santé étant particulièrement sensibles, il est indispensable de mettre en place des mécanismes de protection adaptés afin de prévenir les accès non autorisés, les pertes de données et les cyberattaques.

L'interopérabilité constitue également un enjeu majeur. Les différents systèmes d'information utilisés par les établissements de santé doivent être capables de communiquer entre eux et d'échanger des données de manière fiable et sécurisée. L'adoption de normes internationales telles que HL7 et FHIR représente une solution importante pour favoriser cette interconnexion et assurer la continuité des soins entre les différents acteurs du secteur médical.

Par ailleurs, la mise en œuvre du DEM nécessite des investissements financiers importants liés à l'acquisition des infrastructures, à la maintenance des systèmes et à la formation des utilisateurs. À cela s'ajoute la résistance au changement qui peut apparaître chez certains professionnels de santé confrontés à de nouvelles méthodes de travail. L'intégration des anciens dossiers papier, la migration des données existantes ainsi que l'évolution continue des systèmes afin de répondre aux nouvelles exigences réglementaires et technologiques constituent également des défis importants. La réussite du dossier électronique médical dépend donc d'une approche globale combinant innovation technologique, accompagnement des utilisateurs et gouvernance efficace des données de santé.

## **1.4 Benchmark des solutions existantes**

En Europe, des initiatives telles que le système de dossier médical partagé (DMP) en France permettent aux patients et aux professionnels de santé d'accéder aux informations médicales de manière sécurisée et centralisée. Ces plateformes offrent des fonctionnalités avancées, notamment le partage en temps réel des données, la gestion des prescriptions électroniques et l'intégration avec les systèmes hospitaliers.

Aux États-Unis, les systèmes de Electronic Health Records (EHR) sont largement adoptés et fortement réglementés. Ils intègrent des outils d'aide à la décision médicale, tels que la détection automatique des interactions médicamenteuses, et permettent une gestion complète du parcours patient. De plus, ces systèmes sont souvent interconnectés à l'échelle nationale, garantissant une continuité des soins même en cas de changement d'établissement.

### **1.4.1 Doctolib**

Doctolib est une plateforme française distribue un service de prise de rendez-vous en ligne destiné aux patients, et La téléconsultation ; La gestion des patients. accessible en France, en Italie, en Allemagne et aux Pays-Bas.[5]

#### **1.4.1.1 Avantages de Doctolib**

Doctolib présente plusieurs avantages importants dans le domaine de la santé numérique. La plateforme facilite l'accès aux soins grâce à la réservation des rendez-vous en ligne, ce qui réduit le temps d'attente des patients et améliore l'organisation des cabinets médicaux. Elle permet également la téléconsultation sécurisée, particulièrement utile pour les patients éloignés ou à mobilité réduite. Son interface moderne et facile d'utilisation améliore l'expérience des utilisateurs, aussi bien pour les patients que pour les médecins. De plus, le système envoie automatiquement des rappels de rendez-vous, ce qui diminue le taux d'absences et optimise la gestion du temps médical [5].

#### **1.4.1.2 Limites de Doctolib**

Malgré ses avantages, Doctolib présente certaines limites. La plateforme dépend fortement d'une connexion Internet stable et d'une bonne maîtrise des outils numériques

par les utilisateurs. Certaines fonctionnalités avancées sont payantes pour les professionnels de santé, ce qui peut représenter un coût important pour les petites structures médicales. En outre, Doctolib se concentre principalement sur la gestion des rendez-vous et des téléconsultations, sans proposer un système complet de gestion hospitalière ou d'analyse intelligente des risques médicamenteux. Enfin, la protection des données médicales reste un enjeu sensible nécessitant des mesures de sécurité très strictes [5].

### **1.4.2 Open Medical Record System (OpenMRS)**

OpenMRS est un système open source de gestion des dossiers médicaux électroniques développé pour améliorer les services de santé, particulièrement dans les pays en développement. Il permet aux établissements médicaux de centraliser les informations des patients, d'assurer le suivi médical et de gérer différents types de données cliniques. Grâce à son architecture modulaire, OpenMRS peut être personnalisé selon les besoins des hôpitaux ou des cliniques. Il est utilisé dans plusieurs pays pour soutenir les programmes de santé publique et les projets médicaux humanitaires [6].

#### **1.4.2.1 Avantages de OpenMRS**

L'un des principaux avantages de OpenMRS est son caractère open source, ce qui signifie qu'il est gratuit et modifiable selon les besoins des utilisateurs. Cette flexibilité permet aux développeurs d'ajouter de nouvelles fonctionnalités ou d'adapter le système à différents contextes médicaux. OpenMRS facilite également la centralisation des dossiers médicaux et améliore la coordination des soins entre les professionnels de santé. Son architecture modulaire permet une intégration progressive des fonctionnalités, ce qui le rend adapté aux établissements disposant de ressources limitées. En outre, la communauté internationale qui soutient le projet contribue régulièrement à son amélioration et à sa maintenance [6].

#### **1.4.2.2 Limites de OpenMRS**

Malgré ses nombreux avantages, OpenMRS présente certaines limites. Son installation et sa configuration nécessitent des compétences techniques avancées en informatique et en administration des systèmes. L'interface utilisateur peut parfois être complexe pour le personnel médical non formé aux outils numériques. De plus, la personnalisation du système demande souvent du temps et des ressources techniques importantes. Dans certains contextes, le manque d'infrastructure informatique et de connexion Internet stable peut limiter son efficacité. Enfin, la maintenance continue et la sécurité des données nécessitent une équipe technique compétente pour garantir le bon fonctionnement du système [6].

### **1.4.3 Oscar EMR**

Oscar EMR est un système électronique de gestion des dossiers médicaux développé au Canada. Il est principalement utilisé dans les cliniques et les cabinets médicaux pour gérer les informations des patients, les prescriptions médicales et les rendez-vous. Ce système permet également le partage sécurisé des données médicales entre les professionnels de santé afin d'améliorer la continuité des soins. Oscar EMR est reconnu

pour sa capacité à intégrer plusieurs services médicaux dans une seule plateforme numérique [7].

#### 1.4.3.1 Avantages de Oscar EMR

Oscar EMR offre plusieurs avantages pour les établissements de santé. Il permet une gestion centralisée et structurée des dossiers médicaux, ce qui facilite l'accès rapide aux informations des patients. Le système améliore également la communication entre les médecins grâce au partage sécurisé des données médicales. Les fonctionnalités de prescription électronique permettent de réduire certaines erreurs médicales et d'optimiser le suivi des traitements. De plus, Oscar EMR propose des outils de gestion administrative, de facturation et de suivi clinique qui contribuent à améliorer l'efficacité globale des services médicaux [7].

#### 1.4.3.2 Limites de Oscar EMR

Cependant, Oscar EMR présente aussi certaines limites. Son déploiement peut être complexe et nécessite une infrastructure informatique relativement importante. L'utilisation du système demande une formation du personnel médical afin d'assurer une bonne maîtrise des fonctionnalités disponibles. Certaines mises à jour et personnalisations peuvent également être coûteuses ou techniquement difficiles à réaliser. Par ailleurs, comme tout système médical numérique, Oscar EMR doit assurer une protection élevée des données personnelles et médicales afin d'éviter les risques de cyberattaques ou de fuite d'informations sensibles [7].

Critères	DEM (Algérie)	DMP (France)	EHR (USA)	Doctolib	OpenMRS	OSCAR EMR
Niveau de digitalisation	En développement	Avancé	Très avancé	Très avancé	Avancé	Avancé
Interopérabilité	Faible	Élevée	Très élevée	Moyenne	Élevée	Bonne
Accès des patients	Limité	Sécurisé	Complet	Accès en ligne	Limité	Disponible
Aide à la décision médicale	Très limitée	Moyenne	Avancée	Faible	Bonne	Moyenne
Gestion des prescriptions	Manuelle ou semi-numérique	En développement	Largement utilisée	Disponible	Électronique	Électronique
Continuité des soins	Faible	Bonne	Très élevée	Bonne	Élevée	Bonne
Adaptabilité pour l'Algérie	Adapté mais limité	Difficulté d'adaptation	Coût élevé	Utile pour les rendez-vous	Très adapté (Open Source)	Adaptable avec personnalisation

TABLEAU 1: COMPARAISON ENTRE DEM, DMP, EHR ET DOCTOLIB, OPENMRS ET OSCAR EM

***Chapitre2 :***  
***Architecture et Cadre Réglementaire des***  
***Systemes de Santé Connecté***

## **2.1 Introduction**

L'évolution des technologies numériques a profondément transformé le secteur de la santé en favorisant la dématérialisation des informations médicales et le développement de systèmes d'information de plus en plus connectés. Les établissements de santé, les laboratoires, les pharmacies et les professionnels médicaux utilisent désormais des solutions numériques permettant de collecter, stocker, partager et exploiter les données de santé afin d'améliorer la qualité des soins et l'efficacité des processus médicaux.

Dans ce contexte, l'interopérabilité des systèmes d'information de santé constitue un enjeu majeur. Elle permet aux différents acteurs et applications médicales de communiquer efficacement grâce à des standards et des référentiels communs garantissant l'échange sécurisé et cohérent des données médicales. Des normes telles que HL7, FHIR, CI-SIS et GS1 jouent aujourd'hui un rôle essentiel dans la construction d'un écosystème numérique de santé intégré et performant.

Parallèlement, la multiplication des échanges de données médicales soulève d'importantes questions relatives à la confidentialité, à la sécurité et à la protection de la vie privée des patients. Les données de santé étant considérées comme particulièrement sensibles, leur traitement doit respecter des exigences réglementaires strictes. C'est dans cette perspective que des cadres juridiques tels que le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) et la loi algérienne n°18-07 ont été mis en place afin d'encadrer l'utilisation des données personnelles et de garantir les droits des individus.

Ce chapitre présente ainsi les principaux standards d'interopérabilité utilisés dans les systèmes de santé numériques ainsi que les cadres réglementaires régissant la protection et la gouvernance des données de santé.

### **Objectifs du chapitre :**

- Présenter les principaux standards d'interopérabilité utilisés dans les systèmes d'information de santé.
- Étudier les normes HL7, FHIR, CI-SIS et GS1 ainsi que leur contribution à l'échange sécurisé des données médicales.
- Analyser les enjeux liés à la gouvernance et à la protection des données de santé.
- Comparer les cadres réglementaires relatifs à la protection des données, notamment le RGPD et la loi algérienne n°18-07.

## **2.2 Standards d'interopérabilité medical**

L'interopérabilité constitue aujourd'hui un élément fondamental de la transformation numérique du secteur de la santé. Elle désigne la capacité des différents systèmes d'information, applications et dispositifs médicaux à échanger, interpréter et utiliser de manière cohérente et sécurisée les données de santé électroniques. Cette capacité permet

aux professionnels de santé d'accéder aux informations médicales pertinentes au moment opportun, favorisant ainsi une prise en charge plus efficace et plus sûre des patients.

L'importance de l'interopérabilité s'est considérablement accrue avec la généralisation des dossiers médicaux électroniques, la multiplication des plateformes de santé numériques et l'augmentation du volume des données médicales produites quotidiennement. Toutefois, le partage des données de santé demeure un défi majeur en raison de leur caractère sensible et des exigences élevées en matière de confidentialité, de sécurité et de protection de la vie privée. L'absence d'échanges fluides entre les systèmes peut entraîner une fragmentation de l'information médicale, une duplication des examens, des erreurs de prise en charge ainsi qu'une augmentation des coûts de santé.

Cette problématique devient encore plus importante dans un contexte marqué par le vieillissement de la population et l'augmentation des maladies chroniques nécessitant l'intervention de plusieurs professionnels et établissements de santé. Une meilleure circulation de l'information médicale permet d'assurer la continuité des soins, d'améliorer la coordination entre les acteurs du système de santé et de faciliter la prise de décision clinique.

Par ailleurs, l'interopérabilité ne bénéficie pas uniquement aux médecins et aux patients. Elle représente également un levier stratégique pour les organismes de santé, les établissements hospitaliers, les autorités publiques et les acteurs de la recherche médicale. En facilitant l'intégration et l'exploitation des données, elle contribue à l'amélioration de la qualité des soins, à l'optimisation des ressources, au renforcement de la sécurité des patients et au développement de nouvelles connaissances médicales.

Ainsi, l'interopérabilité apparaît aujourd'hui comme une condition essentielle à la construction d'un écosystème de santé numérique performant, capable de garantir un accès rapide, fiable et sécurisé aux informations médicales tout en favorisant une prise en charge centrée sur le patient [19].

### **2.2.1 Health Level Seven (HL7)**

**HL7** est une organisation internationale à but non lucratif fondée en 1987 dans le but de développer un ensemble de normes destinées à faciliter l'échange, l'intégration, le partage et l'exploitation des informations de santé sous format électronique. Son nom fait référence au septième niveau du modèle OSI (Open Systems Interconnection), qui correspond à la couche applicative, c'est-à-dire le niveau où les applications informatiques échangent directement des données. L'organisation rassemble aujourd'hui plus de 1 600 membres répartis dans plus de 50 pays, incluant des établissements de santé, des organismes gouvernementaux, des compagnies d'assurance, des entreprises pharmaceutiques, des fabricants de logiciels médicaux, ainsi que des sociétés de conseil spécialisées dans les technologies de la santé.

L'objectif principal de HL7 est de promouvoir l'interopérabilité des systèmes d'information de santé à l'échelle mondiale en fournissant un cadre standardisé permettant à des applications hétérogènes de communiquer efficacement. Grâce à ces standards, les données médicales peuvent être échangées de manière cohérente et sécurisée entre les différents acteurs du système de santé, tels que les hôpitaux, les laboratoires, les pharmacies, les médecins et les organismes de santé publique. Cette interopérabilité contribue à améliorer la continuité des soins, à réduire les erreurs liées à la ressaisie des données et à faciliter l'accès aux informations médicales nécessaires à la prise de décision clinique.

Au fil des années, HL7 a développé plusieurs standards devenus des références internationales dans le domaine de la santé numérique. Parmi eux figurent **HL7 Version 2 (HL7 v2)**, largement utilisée pour l'échange de messages médicaux entre systèmes hospitaliers, **HL7 CDA**, dédié à la structuration et au partage des documents cliniques électroniques, ainsi que **FHIR**, la nouvelle génération de standards reposant sur les technologies web modernes telles que les API REST, JSON et XML. Aujourd'hui, FHIR est considéré comme l'un des standards les plus prometteurs pour le développement des plateformes de e-santé et des dossiers médicaux électroniques, en raison de sa simplicité d'intégration, de sa flexibilité et de son adoption croissante à l'échelle internationale [20] [22].

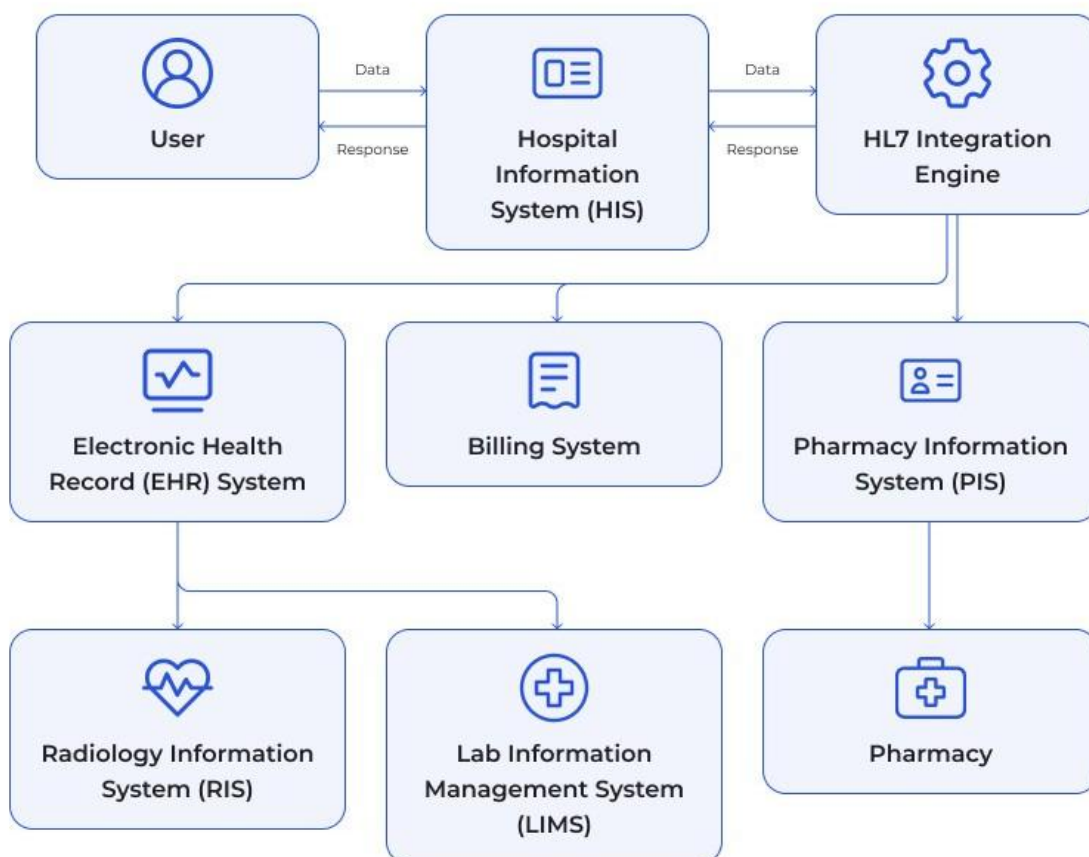


FIGURE 2 : FLUX DE DONNEES D'INTEGRATION HL7 [21]

L'intégration des standards HL7 au sein d'une infrastructure hospitalière permet de fluidifier la communication entre des systèmes d'information hétérogènes. Comme l'illustre la Figure 2, le moteur d'intégration HL7 (HL7 Integration Engine) joue le rôle de *middleware* centralisé. Lorsqu'un utilisateur interagit avec le Système d'Information Hospitalier (SIH ou *HIS*), les flux de données et de réponses transitent par ce moteur d'intégration.

Ce dernier orchestre, traduit et distribue les messages normalisés vers les applications périphériques spécialisées: Le dossier médical partagé via le système *EHR* (Electronic Health Record). La gestion administrative et financière à travers le *Billing System*. Les plateformes médico-techniques, à l'image du *PIS* (Pharmacy Information System) connecté à la pharmacie physique, du *RIS* (Radiology Information System), et du *LIMS* (Lab Information Management System) pour les analyses biologiques.

Cette architecture centralisée supprime les connexions point à point complexes, réduisant drastiquement les risques d'erreurs de ressaisie et garantissant la cohérence des données cliniques en temps réel.

### **2.2.2 Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)**

FHIR est une norme d'interopérabilité développée par l'HL7 International dans le but de faciliter l'échange, le partage et l'intégration des données médicales entre les différents systèmes d'information de santé. Face à la diversité des logiciels utilisés par les hôpitaux, les cliniques, les laboratoires, les pharmacies et les organismes de santé, FHIR propose un modèle standardisé permettant à ces systèmes de communiquer efficacement et de comprendre les informations échangées. Cette norme repose sur des technologies web modernes telles que RESTful API, JSON, XML et HTTP, ce qui facilite son intégration dans les applications web, mobiles et les plateformes de santé numérique. Contrairement aux versions précédentes de HL7, souvent complexes à mettre en œuvre, FHIR adopte une approche plus simple et modulaire basée sur des « ressources » (Resources), chacune représentant un élément précis du domaine médical, comme un patient, un praticien, une consultation, une prescription, un rendez-vous ou un résultat d'analyse.

L'architecture de FHIR est organisée autour de ces ressources standardisées qui peuvent être combinées pour représenter des scénarios cliniques complexes. Chaque ressource possède une structure bien définie et peut être échangée indépendamment ou liée à d'autres ressources. Cette approche modulaire améliore la réutilisabilité des données et favorise l'interopérabilité entre les systèmes de santé. Par exemple, une application peut récupérer les informations d'un patient, consulter son historique médical, accéder à ses résultats d'examen biologiques ou encore transmettre une ordonnance électronique en utilisant les mêmes formats standards. Cette capacité d'échange en temps réel améliore la continuité des soins, réduit les erreurs médicales et facilite la coordination entre les professionnels de santé [8].

FHIR joue aujourd'hui un rôle majeur dans la transformation numérique du secteur médical. Il est largement utilisé dans (DEM), les plateformes de télémédecine, les applications mobiles de santé, les systèmes d'aide à la décision clinique ainsi que dans les infrastructures nationales de santé numérique. En France, son utilisation est encouragée dans le cadre du CI-SIS, tandis que de nombreux pays l'adoptent comme standard de référence pour assurer la circulation sécurisée et normalisée des données de santé. Grâce à sa flexibilité, sa compatibilité avec les standards HL7 existants et son adaptation aux technologies modernes, FHIR est devenu l'un des piliers fondamentaux de l'interopérabilité des systèmes d'information de santé à l'échelle internationale [20] [22].

### **2.2.3 Cadre d'Interopérabilité des Systèmes d'Information de Santé (CI-SIS)**

(**CI-SIS**) est le référentiel national français qui définit les règles, les normes et les spécifications techniques permettant aux systèmes d'information de santé d'échanger des données de manière fiable, sécurisée et compréhensible par tous les acteurs du secteur médical. Développé par l'Agence du Numérique en Santé (ANS), il vise à assurer une communication harmonisée entre les établissements de santé, les laboratoires, les pharmacies, les professionnels de santé et les différentes plateformes numériques. Son objectif principal est de garantir que les informations médicales puissent être partagées et réutilisées sans perte d'information, tout en préservant leur qualité, leur cohérence et leur confidentialité.

Le CI-SIS s'appuie sur plusieurs standards internationaux d'interopérabilité tels que **HL7**, **HL7 CDA** et **FHIR**, qui définissent les formats de données et les mécanismes d'échange entre les applications médicales. Il précise également les modèles de documents médicaux, les terminologies de référence et les profils d'intégration nécessaires à la circulation des informations de santé. Grâce à ce cadre, des logiciels développés par différents éditeurs peuvent communiquer efficacement et interpréter les données échangées de manière uniforme. Cette standardisation facilite notamment l'échange des dossiers médicaux, des comptes rendus d'hospitalisation, des résultats d'analyses biologiques et des prescriptions médicales.

Le CI-SIS joue aujourd'hui un rôle essentiel dans la transformation numérique du système de santé français. Il contribue à améliorer la continuité des soins, la coordination entre les professionnels de santé et la qualité de la prise en charge des patients. Avec l'évolution des technologies numériques, le cadre privilégie progressivement l'utilisation du standard **FHIR** pour les nouveaux projets tout en maintenant la compatibilité avec les standards historiques comme **HL7 v2** et **CDA**. Cette approche permet d'assurer une transition progressive vers des systèmes de santé plus modernes, interconnectés et centrés sur le partage sécurisé des données médicales [22].

### **2.2.4 Global Standards 1 (GS1)**

GS1 est une organisation internationale à but non lucratif qui développe des standards mondiaux destinés à améliorer l'identification, la capture et le partage des données entre les différents acteurs d'une chaîne de valeur. Dans le domaine de la santé, ces standards

contribuent à renforcer la sécurité des patients, à améliorer la traçabilité des produits médicaux et à faciliter les échanges d'informations entre les établissements de santé. Face à la mondialisation de l'industrie pharmaceutique et à l'augmentation des besoins en traçabilité, GS1 propose un cadre normalisé permettant l'identification unique des médicaments, des dispositifs médicaux, des patients et des structures de soins. Ces standards favorisent ainsi une meilleure gestion des informations médicales et une interopérabilité accrue entre les différents systèmes d'information de santé.

Le système GS1 repose sur plusieurs identifiants normalisés permettant de garantir l'unicité et la traçabilité des données. Le **GTIN (Global Trade Item Number)** est utilisé pour identifier les médicaments et les dispositifs médicaux, tandis que le **GLN (Global Location Number)** permet d'identifier les établissements, services ou unités de soins. Le **GSRN (Global Service Relation Number)** sert à identifier de manière unique un patient ou une prestation de santé, alors que le **SSCC (Serial Shipping Container Code)** est utilisé pour le suivi des unités logistiques telles que les colis et palettes. Ces identifiants peuvent être associés à des informations complémentaires comme le numéro de lot, la date de péremption ou le numéro de série. Pour leur représentation, GS1 utilise différents supports de données, notamment les codes à barres EAN-13, GS1-128 et surtout le **GS1 DataMatrix**, particulièrement adapté au secteur médical grâce à sa capacité à stocker un grand volume d'informations sur une surface réduite.

L'utilisation des standards GS1 apporte de nombreux bénéfices au secteur de la santé. Elle permet d'assurer une identification fiable des médicaments, des patients et des lieux de soins, tout en garantissant une traçabilité complète tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Ces standards contribuent à réduire les erreurs médicales en assurant l'administration du bon médicament, à la bonne personne, au bon moment et selon la bonne prescription. Ils jouent également un rôle important dans la lutte contre la contrefaçon des médicaments grâce à l'intégration d'informations telles que le numéro de lot et la date de péremption dans les codes GS1 DataMatrix. En outre, la synchronisation des données entre fabricants, distributeurs, pharmacies et hôpitaux améliore la qualité des informations échangées, optimise la gestion des stocks et réduit les coûts opérationnels. Ainsi, GS1 constitue aujourd'hui un élément essentiel pour renforcer l'interopérabilité, la sécurité et l'efficacité des systèmes de santé numériques [23].

### **2.3 Gouvernance et Cadre Réglementaire des Données de Santé Sensitives**

À l'ère du numérique, les données personnelles occupent une place centrale dans le fonctionnement des systèmes d'information. Les organisations publiques et privées collectent, stockent et traitent quotidiennement de nombreuses informations relatives aux individus afin d'assurer leurs activités et d'améliorer leurs services. Cependant, l'utilisation croissante de ces données soulève des enjeux majeurs en matière de respect de la vie privée, de confidentialité et de sécurité.

La protection des données personnelles vise ainsi à garantir que les informations concernant les individus soient collectées et utilisées de manière licite, transparente et

sécurisée. Elle repose sur un ensemble de principes et de règles destinés à protéger les droits fondamentaux des personnes face aux risques liés à la divulgation, à la perte ou à l'utilisation abusive de leurs données.

Dans le domaine de la santé, cette problématique revêt une importance particulière en raison de la sensibilité des informations médicales. Afin d'assurer une protection adéquate de ces données, plusieurs cadres réglementaires ont été mis en place, notamment le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) au niveau européen et la loi algérienne n°18-07 relative à la protection des personnes physiques dans le traitement des données à caractère personnel.

### **2.3.1 Approche comparative globale**

#### **2.3.1.1 Le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD)**

Le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) est un texte réglementaire adopté par l'Union européenne en avril 2016 et entré en application le 25 mai 2018. Il a été instauré afin de moderniser la protection des données personnelles et d'unifier les règles applicables dans l'ensemble des États membres de l'Union européenne. Face à la transformation numérique des organisations et à l'augmentation constante de la collecte de données, le RGPD vise à garantir un niveau élevé de protection de la vie privée des citoyens tout en facilitant la circulation des données au sein de l'espace européen. Il s'applique à toute organisation publique ou privée qui collecte, traite, stocke ou utilise des données permettant d'identifier directement ou indirectement une personne physique.

Le RGPD repose sur plusieurs principes fondamentaux destinés à encadrer le traitement des données personnelles. Les données doivent être collectées de manière licite, loyale et transparente, pour des finalités précises et légitimes. Elles doivent être limitées aux informations strictement nécessaires, conservées pendant une durée appropriée et protégées contre tout accès non autorisé. Le règlement renforce également les droits des individus sur leurs données personnelles. Ainsi, chaque personne dispose du droit d'accès à ses données, du droit de rectification en cas d'erreur, du droit à l'effacement (« droit à l'oubli »), du droit à la limitation du traitement, du droit d'opposition ainsi que du droit à la portabilité des données. Les organismes sont également tenus d'informer les personnes concernées sur l'utilisation de leurs données et de démontrer leur conformité aux exigences du règlement.

Dans le secteur de la santé, le RGPD revêt une importance particulière car les données médicales sont considérées comme des données sensibles nécessitant une protection renforcée. Les établissements de santé, les médecins, les laboratoires et les plateformes numériques de e-santé doivent mettre en œuvre des mesures techniques et organisationnelles garantissant la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des informations médicales. Le règlement impose notamment la sécurisation des dossiers médicaux électroniques, le contrôle des accès aux données, la traçabilité des traitements ainsi que l'obtention du consentement du patient lorsque cela est nécessaire. En cas de violation de données susceptible de porter atteinte aux droits des personnes, les

organismes ont l'obligation de notifier l'incident aux autorités compétentes. Grâce à ces exigences, le RGPD contribue à renforcer la confiance des patients dans les systèmes numériques de santé et favorise le développement sécurisé des solutions de télémédecine, des dossiers médicaux électroniques et des plateformes d'échange d'informations médicales [10].

### **2.3.1.2 La loi algérienne n° 18-07**

La loi algérienne n° 18-07 du 10 juin 2018 constitue le premier cadre juridique national dédié à la protection des données à caractère personnel. Adoptée dans un contexte marqué par la transformation numérique et l'essor des technologies de l'information, elle vise à encadrer l'utilisation des informations personnelles au sein des systèmes informatiques, des plateformes numériques et des services électroniques. Dans le domaine de la santé, cette législation a pour objectif principal de protéger la vie privée des patients et de garantir un traitement licite, sécurisé et transparent de leurs données médicales, tout en renforçant la confiance dans les services numériques de santé .

La loi n° 18-07 a pour finalité de protéger les patients contre toute utilisation abusive, non autorisée ou frauduleuse de leurs données personnelles. Elle garantit le respect de leur vie privée, de leur dignité ainsi que de leurs droits fondamentaux lors de la collecte et du traitement des informations médicales. Pour atteindre ces objectifs, elle établit un cadre réglementaire applicable à l'ensemble des opérations réalisées sur les données personnelles, notamment leur collecte, leur enregistrement, leur conservation, leur utilisation, leur transmission et leur partage. Elle définit également les obligations des établissements de santé et des organismes responsables du traitement afin d'assurer une gestion responsable, transparente et conforme aux exigences légales.

La loi accorde une importance particulière à la sécurité des systèmes d'information de santé et impose la mise en place de mesures techniques et organisationnelles destinées à protéger les données des patients contre les accès non autorisés, la perte, l'altération ou la divulgation. Les organismes responsables du traitement doivent ainsi garantir la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des informations médicales traitées. Cette législation accompagne également la transformation numérique du secteur de la santé en Algérie en favorisant le développement des dossiers médicaux électroniques, des plateformes de e-santé et des services de télémédecine, tout en assurant une meilleure protection des données personnelles des patients [11].

Critère	RGPD (Union Européenne)	Loi algérienne n°18-07
Objectif principal	Protection des données personnelles et harmonisation européenne	Protection des données personnelles des citoyens algériens
Date d'application	25 mai 2018	10 juin 2018
Consentement	Obligatoire pour certains traitements	Obligatoire pour la majorité des traitements
Droits des personnes	Accès, rectification, effacement, portabilité, opposition	Accès, rectification, opposition et protection de la vie privée
Sécurité des données	Mesures techniques et organisationnelles obligatoires	Mesures de sécurité obligatoires pour les responsables de traitement
Données de santé	Données sensibles bénéficiant d'une protection renforcée	Données sensibles bénéficiant d'une protection renforcée
Organismes concernés	Publics et privés	Publics et privés
Finalité	Traitement limité à un objectif précis	Traitement limité à une finalité légitime et déterminée

TABLEAU 2 : COMPARAISON ENTRE LE RGPD ET LA LOI ALGERIENNE N° 18-07

### 2.3.2 Le cycle de vie de la donnée médicale selon la Loi 18-07 : Une approche orientée e-santé

La loi algérienne n° 18-07 encadre de manière stricte toutes les manipulations subies par les données à caractère personnel. Appliquées au domaine de la santé, ces opérations s'articulent autour de données hautement sensibles qui nécessitent une gouvernance rigoureuse à chaque étape de leur cycle de vie. Afin d'en faciliter la compréhension, les obligations légales peuvent être regroupées en quatre grandes phases cliniques :

- **Phase 1 : L'acquisition et la structuration (Collecte, Enregistrement, Organisation)** Cette première étape formalise l'entrée du patient dans le parcours de soins numériques. Qu'il s'agisse de la collecte des antécédents médicaux, de l'enregistrement des constantes vitales dans une base de données hospitalière ou de la structuration de ces informations au sein d'un dossier médical standardisé, le consentement et la précision des données sont obligatoires.
- **Phase 2 : Le traitement et la valorisation clinique (Adaptation, Extraction, Consultation, Utilisation)** La donnée de santé n'est pas statique. Elle fait l'objet de consultations régulières par le corps médical pour la prise de décision clinique. Elle est également extraite pour des besoins d'analyses spécifiques, ou adaptée (mise à jour d'un diagnostic, modification d'un protocole thérapeutique) afin de refléter fidèlement l'état de santé du patient.

- **Phase 3 : La circulation sécurisée et l'interconnexion (Communication, Rapprochement)** La continuité des soins impose souvent la transmission des données médicales entre professionnels ou établissements (ex: envoi d'une prescription électronique à une pharmacie). La loi 18-07 encadre cette communication ainsi que le rapprochement (ou l'interconnexion) de bases de données distinctes (ex: croiser les données d'un laboratoire et d'un service de radiologie) pour interdire tout profilage ou fuite d'informations non autorisés.
- **Phase 4 : La fin de cycle et la persistance (Conservation, Limitation, Effacement)** Les données médicales doivent être conservées pendant des durées légales strictes. Au-delà de l'utilité directe, la loi impose des mécanismes de limitation (restriction d'accès ou mise en veille des dossiers archivés) avant de procéder, le moment venu, à l'effacement ou à la destruction physique et définitive de la donnée afin de garantir le droit à la protection de la vie privée.

Les interactions granulaires et les définitions juridiques exactes de ces opérations de traitement, telles que définies par le cadre réglementaire algérien, sont cartographiées et synthétisées dans la **Figure 3** ci-dessous.

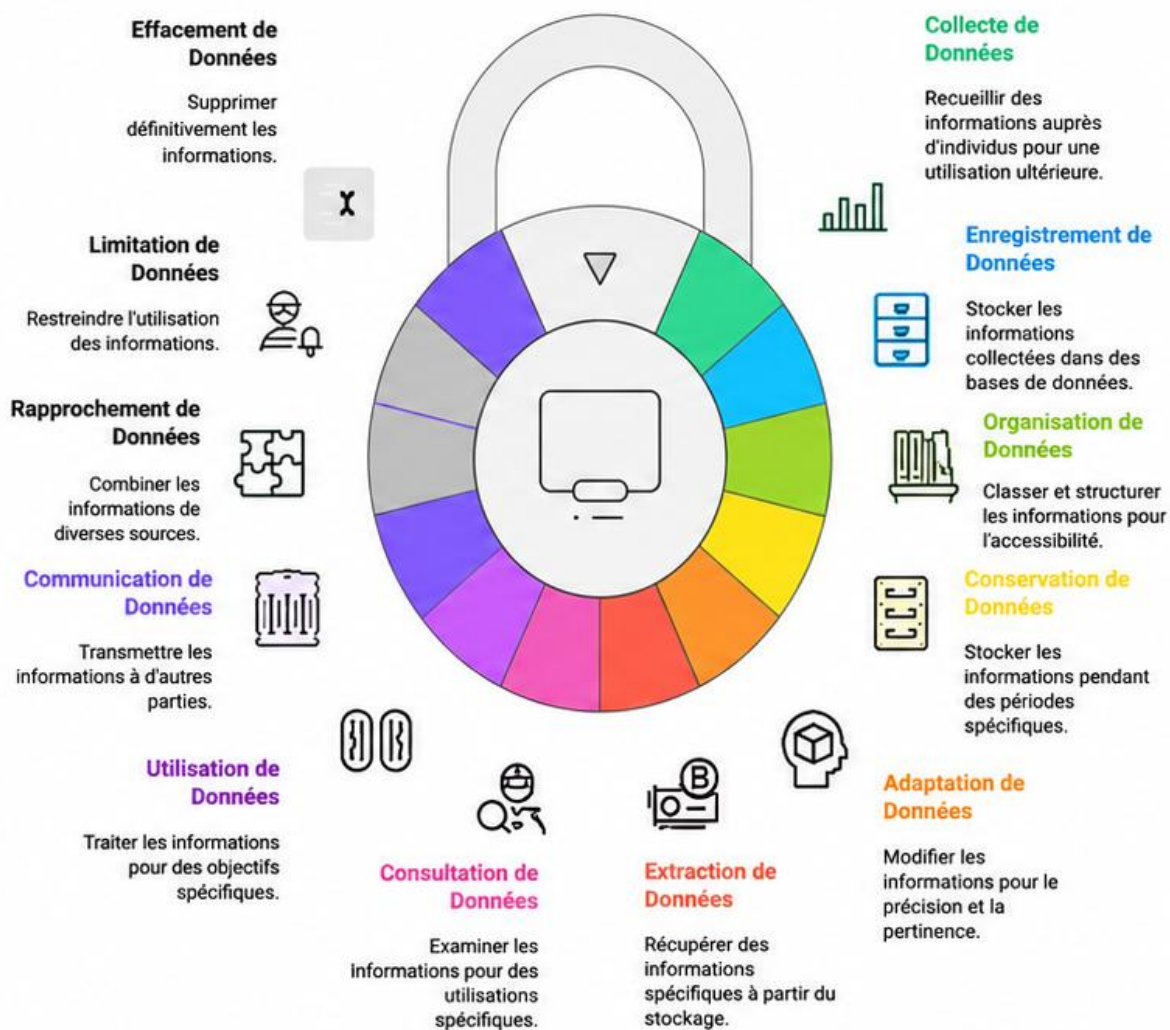


FIGURE 3 : TRAIEMENT DE DONNEES SELON LA LOI 18-07 [12]

## 2.4 Conclusion

L'essor des technologies numériques a profondément transformé les systèmes de santé en favorisant la circulation, le partage et l'exploitation des données médicales à grande échelle. Dans ce contexte, l'interopérabilité apparaît comme un élément essentiel pour garantir une communication efficace entre les différents acteurs et applications du domaine médical. Les standards tels que HL7, FHIR, CI-SIS et GS1 fournissent les mécanismes nécessaires pour assurer un échange structuré, cohérent et sécurisé des informations de santé.

Par ailleurs, la multiplication des données médicales numériques nécessite la mise en place d'un cadre réglementaire rigoureux afin de préserver la confidentialité, l'intégrité et la sécurité des informations personnelles des patients. Le RGPD au niveau européen et la loi algérienne n°18-07 constituent des références majeures en matière de protection

des données personnelles, en particulier des données de santé considérées comme sensibles. Ces réglementations définissent les droits des individus ainsi que les obligations des organismes responsables du traitement des données.

Ainsi, l'interopérabilité technique et la conformité réglementaire représentent deux piliers complémentaires de la transformation numérique du secteur de la santé. Leur mise en œuvre permet de développer des systèmes d'information fiables, sécurisés et centrés sur le patient. Ces éléments constituent également une base essentielle pour la conception de solutions innovantes telles que MediConnect Algérie, qui vise à faciliter la gestion intégrée des soins tout en garantissant la protection des données médicales. Ces éléments définissent les droits et les obligations des organismes responsables du traitement des données.

Ainsi, l'interopérabilité technique et la conformité réglementaire représentent deux piliers complémentaires de la transformation numérique du secteur de la santé. Leur mise en œuvre permet de développer des systèmes d'information fiables, sécurisés et centrés sur le patient. Ces éléments constituent également une base essentielle pour la conception de solutions innovantes telles que MediConnect Algérie, qui vise à faciliter la gestion intégrée des soins tout en garantissant la protection des données médicales.

***Chapitre 3 :***  
***Intelligence artificielle pour les risques***  
***médicamenteux***

### 3.1 Introduction

La prescription médicamenteuse constitue une étape essentielle du processus de prise en charge des patients. Elle vise à assurer l'efficacité thérapeutique des traitements tout en garantissant leur sécurité. Cependant, l'administration simultanée de plusieurs médicaments peut entraîner des interactions médicamenteuses (Drug-Drug Interactions – DDI) susceptibles de modifier l'action d'un traitement, de réduire son efficacité ou de provoquer des effets indésirables parfois graves. Ces interactions représentent aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique, particulièrement dans les contextes où l'accès à l'information médicale et aux outils d'aide à la prescription demeure limité.

Face à l'augmentation du nombre de traitements prescrits et à la complexité croissante des situations cliniques, les professionnels de santé doivent disposer de moyens fiables pour identifier rapidement les risques liés aux associations médicamenteuses. Dans ce contexte, les Systèmes d'Aide à la Décision Clinique (SADC) ont été développés afin d'assister les praticiens dans leurs choix thérapeutiques en analysant les prescriptions et en générant des alertes en cas de risque potentiel d'interaction.

Toutefois, les approches traditionnelles fondées sur des règles prédéfinies présentent certaines limites, notamment la fatigue d'alerte, la gestion difficile de grandes quantités de données médicales et le manque de personnalisation des recommandations. L'émergence de l'Intelligence Artificielle (IA), du Machine Learning et du Deep Learning ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour améliorer la détection automatique des interactions médicamenteuses et renforcer la sécurité des prescriptions. Ce chapitre présente les concepts fondamentaux des interactions médicamenteuses, les systèmes d'aide à la décision clinique ainsi que les principales approches basées sur l'IA utilisées pour la prédiction et la prévention des risques médicamenteux.

Objectifs du chapitre :

1. Présenter les fondements pharmacologiques des interactions médicamenteuses
2. Décrire les systèmes d'aide à la décision clinique existants et leurs limites
3. Détailler les approches d'IA pour la détection des interactions

### 3.2 Les Interactions Médicamenteuses : Fondements Théoriques

#### 3.2.1 Définition et Classification

Les interactions médicamenteuses surviennent lorsque deux ou plusieurs substances sont administrées simultanément et interagissent entre elles, modifiant l'efficacité des traitements ou augmentant le risque d'effets indésirables. Elles constituent un enjeu majeur de

sécurité pour les patients, car elles peuvent compromettre l'efficacité du traitement ou favoriser l'apparition de complications [25]. On distingue principalement:

➤ **Interactions Pharmacocinétiques**

Elles modifient la concentration du médicament dans l'organisme selon quatre proces-sus [26] :

1. Absorption: modification de la biodisponibilité
  - Exemple: la tétracycline chélate les ions calcium (produits laitiers), réduisant son absorption
  - Exemple : les antiacides diminuent l'absorption de nombreux médicaments
2. Distribution: modification de la liaison aux protéines plasmatiques
  - Exemple : la warfarine (98% liée aux protéines) et l'aspirine entrent en compétition, augmentant la fraction libre de warfarine et le risque hémorragique
3. Métabolisme : induction ou inhibition enzymatique (notamment CYP450)
  - Inhibition : le jus de pamplemousse inhibe le CYP3A4, augmentant les concentrations de statines
  - Induction : la rifampicine induit le CYP3A4, diminuant l'efficacité des contraceptifs oraux
4. Élimination : compétition au niveau de l'excrétion rénale
  - Exemple : le lithium et les diurétiques thiazidiques

➤ **Interactions Pharmacodynamiques**

Elles affectent les effets des médicaments sur l'organisme [27] :

- Synergie : effet combiné supérieur à la somme (ex : bêta-bloquants + inhibiteurs calciques)
- Antagonisme: un médicament réduit l'effet d'un autre
- Effets additifs: somme des effets individuels (ex : alcool + benzodiazépines)

### 3.2.2 Facteurs de Risque et Enjeux Cliniques

Le tableau 3 présente les principaux facteurs de risque des interactions médicamenteuses.

Facteur	Description	Prévalence
Âge	Patients âgés (polymédication, altération des fonctions organiques)	> 65 ans : 40% prennent $\geq 5$ médicaments
Polymédication	Nombre de médicaments $\geq 5$ augmente le risque	Risque $\times 2$ pour 5-6 médicaments, $\times 10$ pour $\geq 10$
Insuffisance rénale	Modification de l'élimination	30% des patients hospitalisés
Insuffisance hépatique	Modification du métabolisme	20% des patients
Facteurs génétiques	Polymorphismes des enzymes CYP	5-10% de la population

**TABLEAU 3 : FACTEURS DE RISQUE DES INTERACTIONS MÉDICAMENTEUSES**

LE TABLEAU 4 PRÉSENTE DES EXEMPLES D'INTERACTIONS MÉDICAMENTEUSES FRÉQUENTES ET LEURS NIVEAUX DE GRAVITÉ.

Médicament 1	Médicament 2	Niveau de gravité	Effet de l'interaction
Warfarine	Aspirine	Grave	Augmentation importante du risque d'hémorragie et de saignement interne.
Ibuprofène	Prednisone	Modérée à grave	Augmentation du risque d'ulcère gastrique et d'hémorragie digestive.
Simvastatine	Clarithromycine	Grave	Augmentation du risque de toxicité musculaire et de rhabdomyolyse.
Tramadol	Sertraline	Grave	Risque de syndrome sérotoninergique provoquant agitation, fièvre et troubles neurologiques

**TABLEAU 4 : EXEMPLES D'INTERACTIONS MÉDICAMENTEUSES COURANTES**

## 3.2 Systèmes d'Aide à la Décision Clinique (SADC)

### 3.2.1 Définition et Rôle

Les SADC sont des outils numériques conçus pour assister les professionnels de santé dans leurs prises de décisions médicales. Ils s'appuient sur l'analyse de données cliniques, de recommandations médicales et des informations contenues dans les

dossiers des patients afin de fournir des suggestions, des alertes ou des recommandations adaptées à chaque situation clinique [24].

ces systèmes contribuent à améliorer la qualité des soins en aidant les professionnels de santé à diagnostiquer les maladies, choisir les traitements adaptés, assurer le suivi des patients et prévenir les erreurs médicales. Grâce à l'intégration de connaissances médicales et d'algorithmes intelligents, ils facilitent une prise de décision plus rapide et plus fiable. Parmi leurs principales applications figurent les systèmes d'alerte médicamenteuse, capables de détecter automatiquement les interactions médicamenteuses, les contre-indications et les risques potentiels afin de renforcer la sécurité des prescriptions.

### 3.2.2 Applications dans la Détection des Interactions

Les Systèmes d'Aide à la Décision Clinique (SADC) jouent un rôle essentiel dans la détection des interactions médicamenteuses. Intégrés aux systèmes de prescription électronique et aux dossiers médicaux informatisés, ils analysent automatiquement les traitements prescrits en tenant compte des médicaments déjà administrés, des allergies, des contre-indications et des antécédents du patient. Lorsqu'une interaction potentiellement dangereuse est détectée, le système génère une alerte destinée au professionnel de santé afin de prévenir les erreurs thérapeutiques et d'améliorer la sécurité des soins. Les SADC peuvent également fournir des informations complémentaires sur les médicaments, telles que leurs indications, leurs effets indésirables et les alternatives thérapeutiques disponibles.

### 3.2.3 Limites des SADC Traditionnels

Malgré leur utilité, les SADC traditionnels présentent des limitations significatives :

1. Fatigue d'alerte (Alert fatigue) :
  - 70-95% des alertes sont ignorées par les cliniciens
  - Causes : trop d'alertes non pertinentes, manque de contextualisation
  - Conséquence : désensibilisation aux alertes importantes
2. Faux positifs et faux négatifs:
  - Les règles prédéfinies sont rigides
  - Manque de prise en compte des variations individuelles
3. Complexité des données :
  - Difficulté à intégrer des données hétérogènes
  - Incapacité à identifier des interactions complexes ou émergentes
4. Maintenance des connaissances :
  - Mise à jour manuelle des bases de connaissances
  - Retard dans l'intégration de nouvelles découvertes

5. Barrières linguistiques :

- La plupart des bases de connaissances sont en anglais
- Difficulté d'adaptation aux contextes locaux (Algérie)

### 3.3 Détection des Interactions Médicamenteuses par In-telligence Artificielle

La détection des interactions médicamenteuses constitue aujourd'hui une des applications les plus importantes de l'IA dans le domaine de la santé. Contrairement aux systèmes traditionnels basés sur des règles prédéfinies, les méthodes d'IA sont capables d'exploiter de grandes quantités de données médicales et pharmaceutiques pour découvrir des relations complexes entre les médicaments [25].

#### 3.3.1 Approches de Machine Learning

Les approches de Machine Learning apprennent automatiquement à partir de données historiques pour identifier des relations entre les caractéristiques des médicaments et les interactions observées [25].

Caractéristiques utilisées [2] :

**Structure chimique** : représentation des molécules par des descripteurs ou finger prints moléculaires afin d'évaluer leur similarité structurale.

**Propriétés physicochimiques et pharmacologiques** : paramètres tels que le poids moléculaire, la solubilité et le logP influençant le comportement des médicaments dans l'organisme.

**Cibles biologiques** : protéines, enzymes et récepteurs ciblés par les médicaments, utiles pour comprendre leurs mécanismes d'action et leurs interactions.

**Effets secondaires** : réactions indésirables connues pouvant révéler des similitudes fonctionnelles entre médicaments.

**Voies métaboliques** : enzymes impliquées dans le métabolisme des médicaments, notamment le système CYP450, permettant d'identifier les risques d'interactions métaboliques.

Cheng et al. [25] ont proposé un cadre HNAI (Heterogeneous Network-Assisted Inference) qui intègre quatre types de similarités :

- **La similarité phénotypique**, fondée sur les effets secondaires observés chez les patients ;
- **La similarité thérapeutique**, basée sur la classification anatomique, thérapeutique et chimique (ATC) ;
- **La similarité structurale**, obtenue à partir des structures chimiques et des

représentations SMILES (*Simplified Molecular Input Line Entry System*) ;

- **La similarité génomique**, construite à partir des relations entre les médicaments et leurs cibles biologiques.

Algorithmes principaux :

Algorithme	Avantages	Performance (AUC-ROC)
Régression Logistique	Interprétabilité	0,67
SVM	Efficace en haute dimension	0,67
Random Forest	Gère les non-linéarités	0,85-0,94
K-NN	Flexible, sans hypothèse	0,67
Naive Bayes	Rapide, simple	0,67

**TABLEAU 5: PERFORMANCES DES ALGORITHMES DE MACHINE LEARNING POUR LA DETECTION DES DDI**

### 3.3.2 Réseaux de Neurones Profonds (Deep Learning)

Avec l'augmentation du volume des données biomédicales, les réseaux de neurones profonds sont devenus une solution particulièrement adaptée.

#### Avantages:

- Extraction automatique de caractéristiques
- Gestion des relations non-linéaires complexes
- Traitement de données hétérogènes
- Performance : AUC-ROC 0,92-0,97

#### Architectures spécifiques :

1. **CNN (Convolutional Neural Networks)** : analysent les représentations moléculaires afin d'identifier automatiquement des motifs chimiques associés aux interactions médicamenteuses.
2. **NN et LSTM (Recurrent Neural Networks)** : traitent les données séquentielles (protéines, textes biomédicaux, données génomiques) et capturent les dépendances à long terme grâce aux mécanismes de mémoire des LSTM.
3. **Transformers** : utilisent des mécanismes d'attention pour analyser efficacement de grandes quantités de données médicales et extraire des interactions médicamenteuses à partir de la littérature scientifique, des rapports cliniques et des bases biomédicales.

### 3.3.3 Réseaux de Neurones sur Graphes (GNN)

Les GNN représentent l'état de l'art pour la détection des interactions médicamenteuses. Ils représentent les médicaments sous forme de graphes où les nœuds correspondent aux médicaments, protéines ou maladies, et les arêtes aux relations entre ces entités [26]

#### Architectures principales :

1. **GCN (Graph Convolutional Networks)** : agrègent les informations des nœuds voisins pour capturer les relations complexes entre médicaments, protéines et maladies.
2. **GAT (Graph Attention Networks)** : utilisent un mécanisme d'attention pour attribuer plus d'importance aux relations les plus pertinentes et améliorer la précision des prédictions.
3. **GraphSAGE** : échantillonne les voisins d'un nœud afin de réduire le coût de calcul, tout en permettant la prédiction d'interactions impliquant de nouveaux médicaments ou de nouvelles cibles biologiques.

***Chapitre 4 :***  
***Conception et Architecture du Systeme***

## 4.1 Introduction

Cette partie est consacrée à la conception et à l'architecture du système MediConnect. Elle présente la solution proposée pour répondre aux besoins de gestion des dossiers médicaux et de détection des interactions médicamenteuses.

Dans un premier temps, nous décrivons la conception générale du système à travers les différents diagrammes UML permettant de modéliser les acteurs, les fonctionnalités et les interactions de la plateforme. Dans un second temps, nous présentons la conception du module de détection des interactions médicamenteuses ainsi que son architecture et son intégration au sein de la solution. L'objectif est de définir une architecture cohérente, sécurisée et adaptée aux besoins des professionnels de santé.

### Objectifs du chapitre :

- Définir les besoins fonctionnels et non fonctionnels du système MediConnect.
- Modéliser la solution à l'aide des diagrammes UML.
- Présenter l'architecture générale du système et ses différents composants.
- Décrire la conception du module intelligent de détection des interactions médicamenteuses et son intégration dans la plateforme.

## 4.2 Diagramme UML

### 4.2.1 Identification des acteurs

Le système *MediConnect Algérie* implique plusieurs acteurs, chacun jouant un rôle spécifique dans la gestion des soins et des données médicales.

L'**administrateur** est responsable de la gestion globale de la plateforme.

Il assure la création et la gestion des comptes utilisateurs, notamment les médecins de tri et les médecins traitants, ainsi que la supervision du bon fonctionnement du système.

Le **agent médical de tri** joue un rôle essentiel dans la prise en charge initiale des patients. Il est chargé de créer, modifier ou supprimer les dossiers patients, de renseigner les informations médicales de base et d'orienter les patients vers les médecins traitants.

Le **médecin traitant** intervient dans la phase de consultation et de suivi médical. Il consulte les dossiers patients, établit les diagnostics et rédige les prescriptions médicales. Il utilise également le système pour vérifier les interactions médicamenteuses avant de valider une ordonnance.

Enfin, le **patient** constitue l'acteur principal du système. Il bénéficie des services proposés, notamment la gestion de son dossier médical et le suivi de son traitement.

### 4.2.2 Besoins fonctionnels

Les besoins fonctionnels décrivent les services que le système doit fournir afin de répondre aux attentes des utilisateurs.

Le système doit permettre la **gestion des utilisateurs**, incluant la création et l'administration des comptes par l'administrateur. Il doit également assurer la **gestion des patients**, permettant au Agent médical de tri d'ajouter, modifier ou supprimer les informations relatives aux patients.

La plateforme doit offrir un **dossier électronique médical centralisé**, regroupant toutes les informations médicales du patient, telles que les analyses, les imageries médicales et les maladies chroniques.

Le système doit également permettre la **gestion des consultations**, incluant l'enregistrement des diagnostics et des observations médicales.

Une fonctionnalité essentielle est la **gestion des prescriptions médicales**, permettant au médecin traitant de créer des ordonnances et d'y associer des médicaments. Ce module est complété par un système de **détection des interactions médicamenteuses**, qui analyse les médicaments prescrits et alerte le médecin en cas de risque potentiel.

Enfin, le système doit assurer la **traçabilité des actions**, garantissant un suivi précis de toutes les opérations effectuées sur les données médicales.

### 4.2.3 Besoins non fonctionnels

**Les besoins non fonctionnels** définissent les contraintes techniques et les exigences de qualité du système.

**La sécurité** constitue une exigence primordiale, en raison de la sensibilité des données médicales. Le système doit garantir la confidentialité, l'intégrité et la disponibilité des informations, conformément aux réglementations en vigueur.

**La performance** est également un critère important. Le système doit être capable de traiter les requêtes rapidement et d'assurer un temps de réponse optimal, même en cas d'utilisation intensive.

**La fiabilité** du système doit être assurée afin d'éviter toute perte de données ou interruption de service.

L'**ergonomie** joue un rôle clé dans l'adoption de la plateforme. L'interface utilisateur doit être simple, intuitive et adaptée aux besoins des professionnels de santé.

Enfin, le système doit être **évolutif** et **interopérable**, afin de permettre son intégration future avec d'autres systèmes de santé et son adaptation aux évolutions technologiques.

## 4.2.4 Modélisation UML

### 4.2.4.1 diagramme de cas d'utilisation

Le **diagramme de cas d'utilisation** permet de visualiser les interactions entre les différents acteurs et le système. Il met en évidence les principales fonctionnalités, telles que la gestion des patients, la consultation des dossiers médicaux et la création des ordonnances.

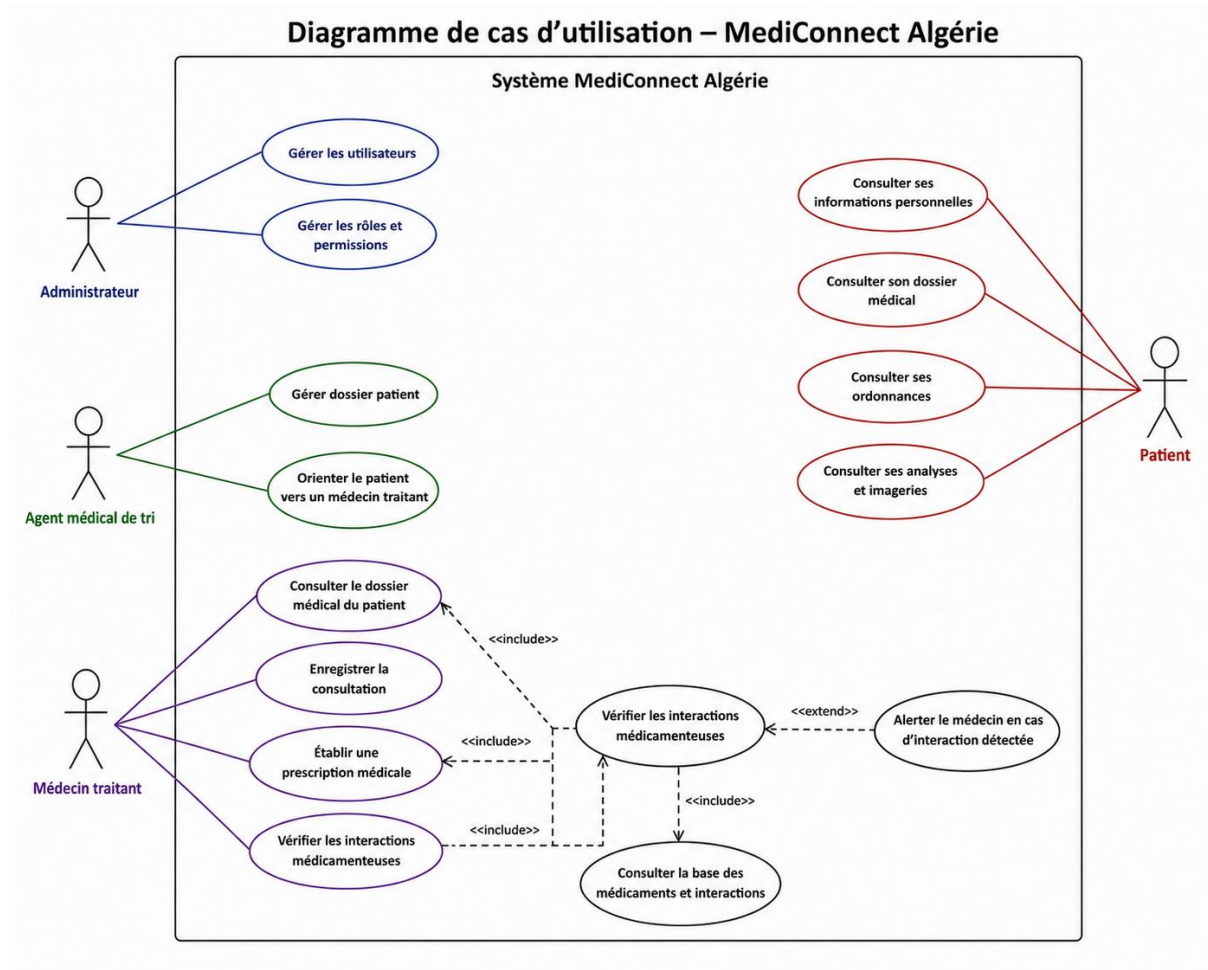


Figure 4 : Diagrammes de cas d'utilisation

#### **4.2.4.2 Diagramme des classes**

Ce diagramme présente les principaux acteurs de la plateforme MediConnect ainsi que leurs responsabilités. La classe abstraite **Utilisateur** regroupe les informations communes à tous les utilisateurs du système. Les classes **Admin**, **Agent Médical de Tri**, **Médecin Traitant** et **Patient** héritent de cette classe et disposent de fonctionnalités spécifiques. Les relations illustrent notamment la gestion des comptes par l'administrateur, l'enregistrement des patients par l'agent médical de tri et le suivi médical assuré par le médecin traitant.

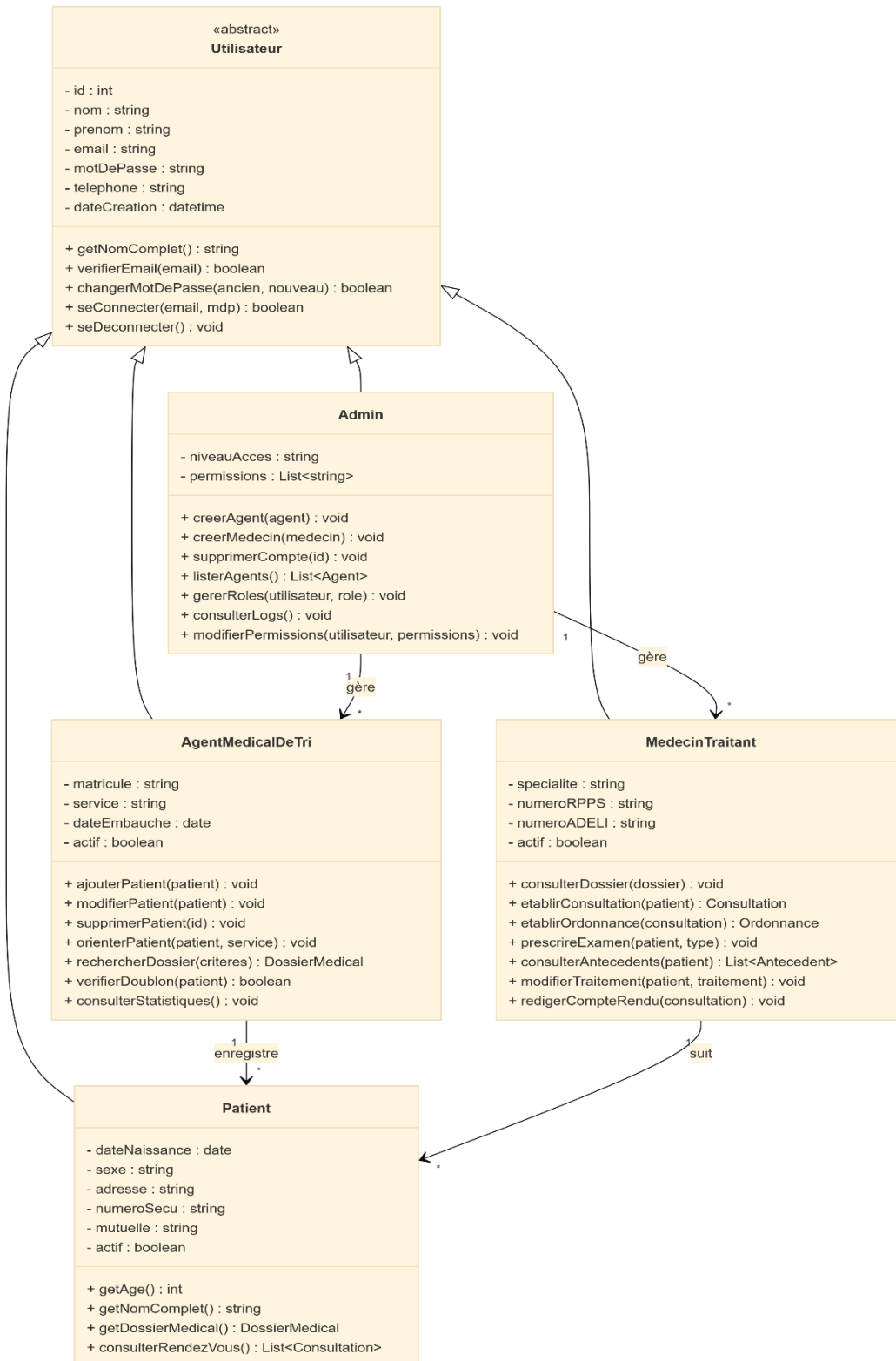


FIGURE 5 : DIAGRAMME DES CLASSES DES UTILISATEURS

Ce diagramme représente la structure du dossier médical électronique au sein de MediConnect. Chaque patient possède un **Dossier Médical** contenant les informations cliniques essentielles telles que les allergies, les facteurs de risque et les antécédents médicaux. Le dossier est associé à plusieurs entités spécialisées, notamment les **Maladies Chroniques**, les **Analyses Sanguines** et les **Examens d’Imagerie Médicale**, permettant une gestion centralisée et complète des données de santé du patient.

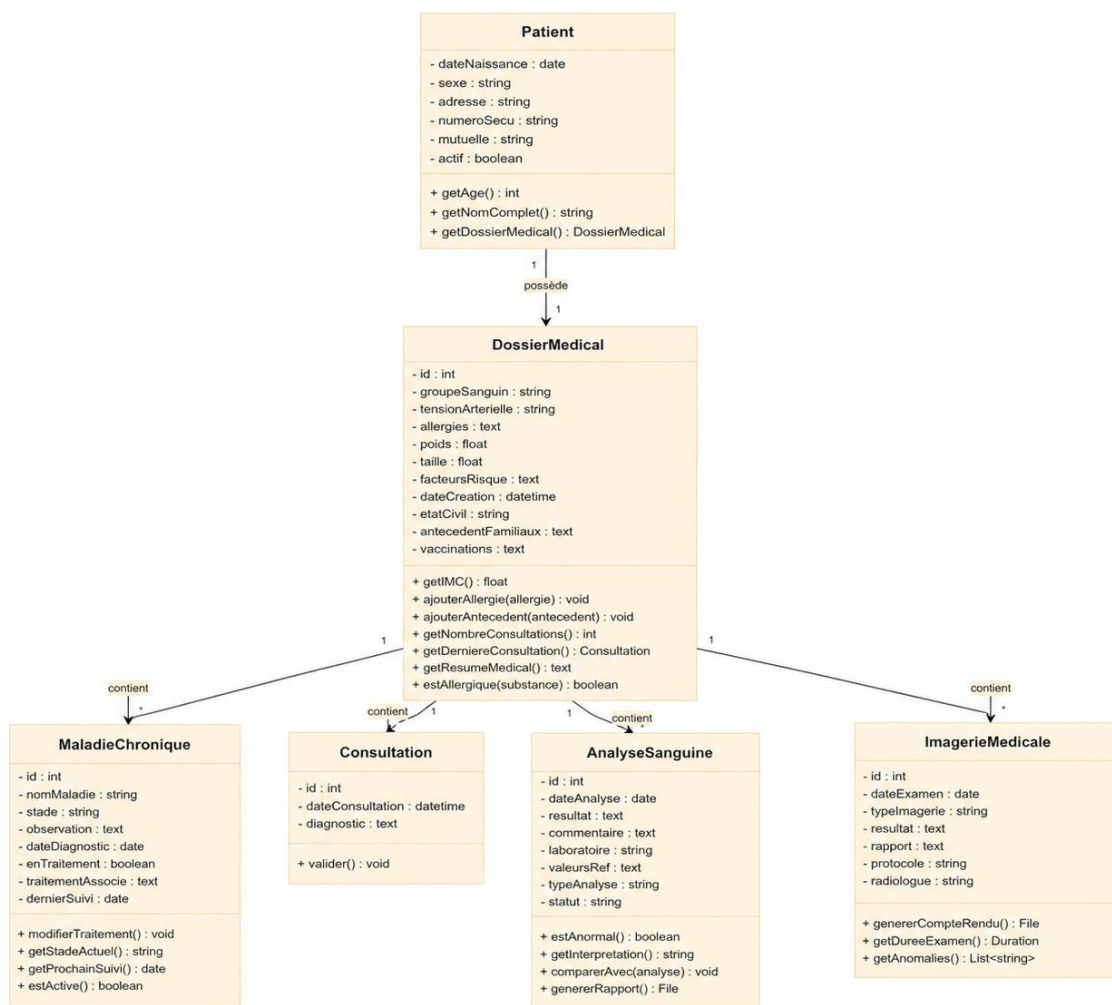


FIGURE 6 : DIAGRAMME DES CLASSES DU DOSSIER MEDICAL ET PATIENT

Ce diagramme décrit le processus de consultation médicale et de prescription. Une **Consultation** aboutit à la création d'une **Ordonnance**, laquelle est composée de plusieurs **Lignes d'Ordonnance** correspondant aux médicaments prescrits. Cette modélisation permet de représenter la relation entre les actes médicaux, les traitements prescrits et les médicaments utilisés dans le cadre du suivi thérapeutique du patient.

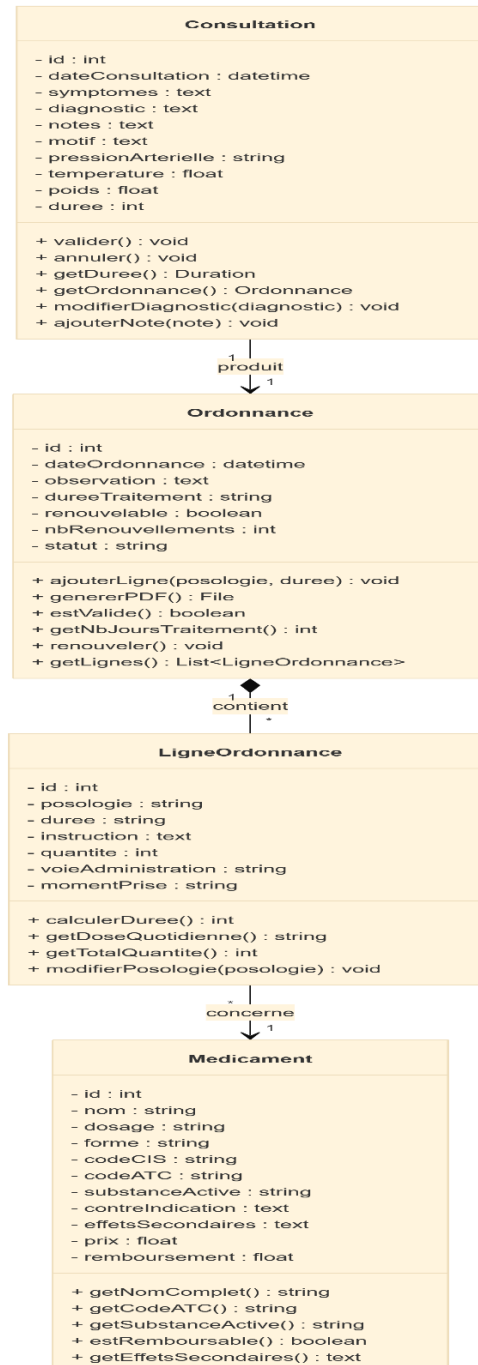


FIGURE 7 :DIAGRAMME DES CLASSES DES CONSULTATIONS ET DES ORDONNANCES

Ce diagramme présente l'architecture du module intelligent de détection des interactions médicamenteuses. Il s'appuie sur une **Base d'Interactions** contenant un ensemble de **Règles d'Interaction** décrivant les incompatibilités entre médicaments. Lors de l'analyse d'une ordonnance, le système génère des **Interactions Médicamenteuses** et des **Alertes** permettant au médecin d'identifier les risques potentiels et d'adapter sa prescription afin d'améliorer la sécurité du patient.

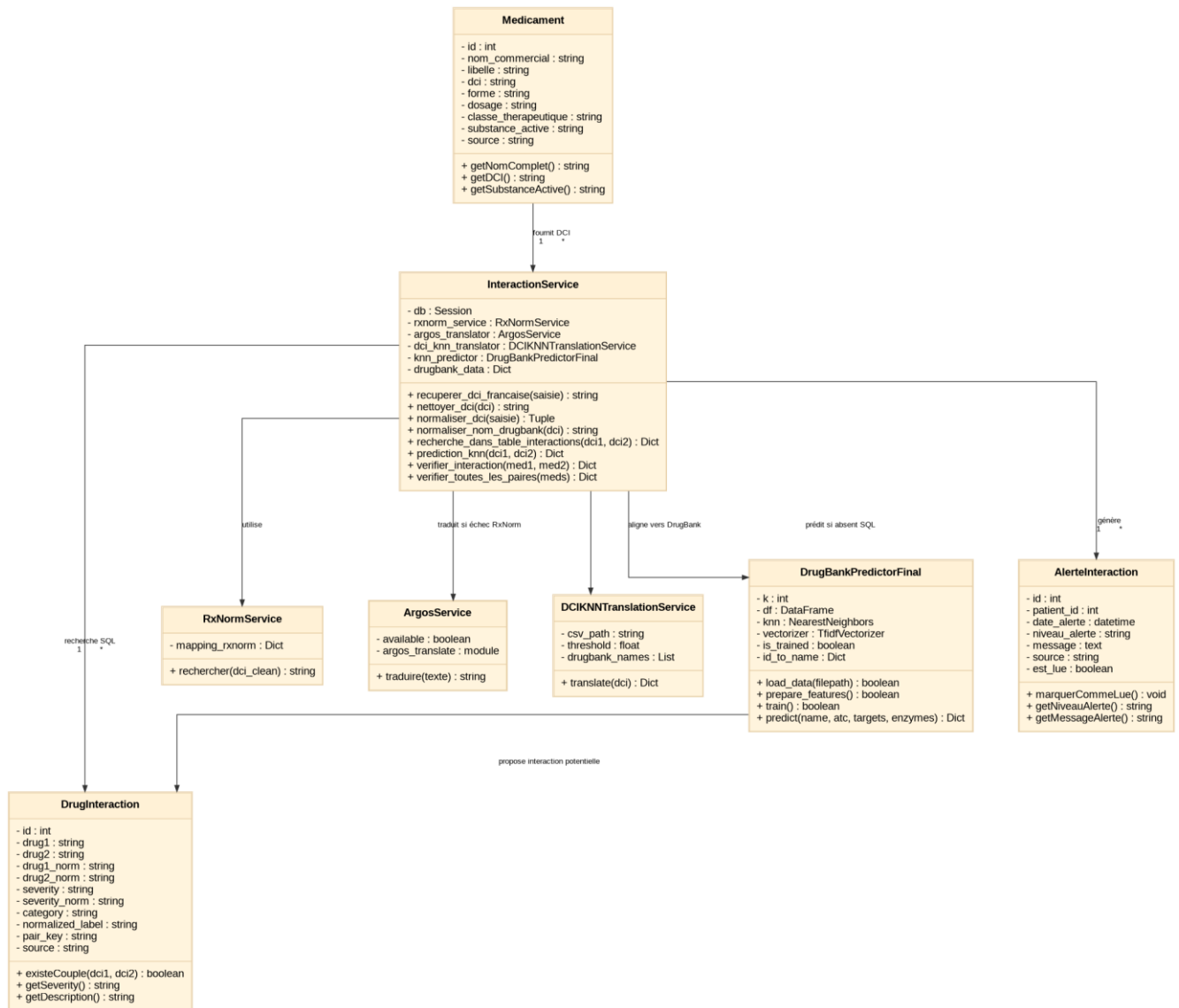


FIGURE 8 : DIAGRAMME DES CLASSES DU MODULE DE DETECTION DES INTERACTIONS MEDICAMENTEUSES

Ce diagramme modélise la gestion des rendez-vous médicaux dans MediConnect. La classe **RendezVous** est liée au **Patient**, au **Médecin Traitant** ainsi qu'au **Planning** du praticien. Le système génère automatiquement des **Notifications** afin d'informer les utilisateurs des confirmations, modifications ou annulations de rendez-vous. La classe **Suivi Médical** permet également d'assurer la continuité des soins grâce à l'organisation des consultations futures et des recommandations médicales.

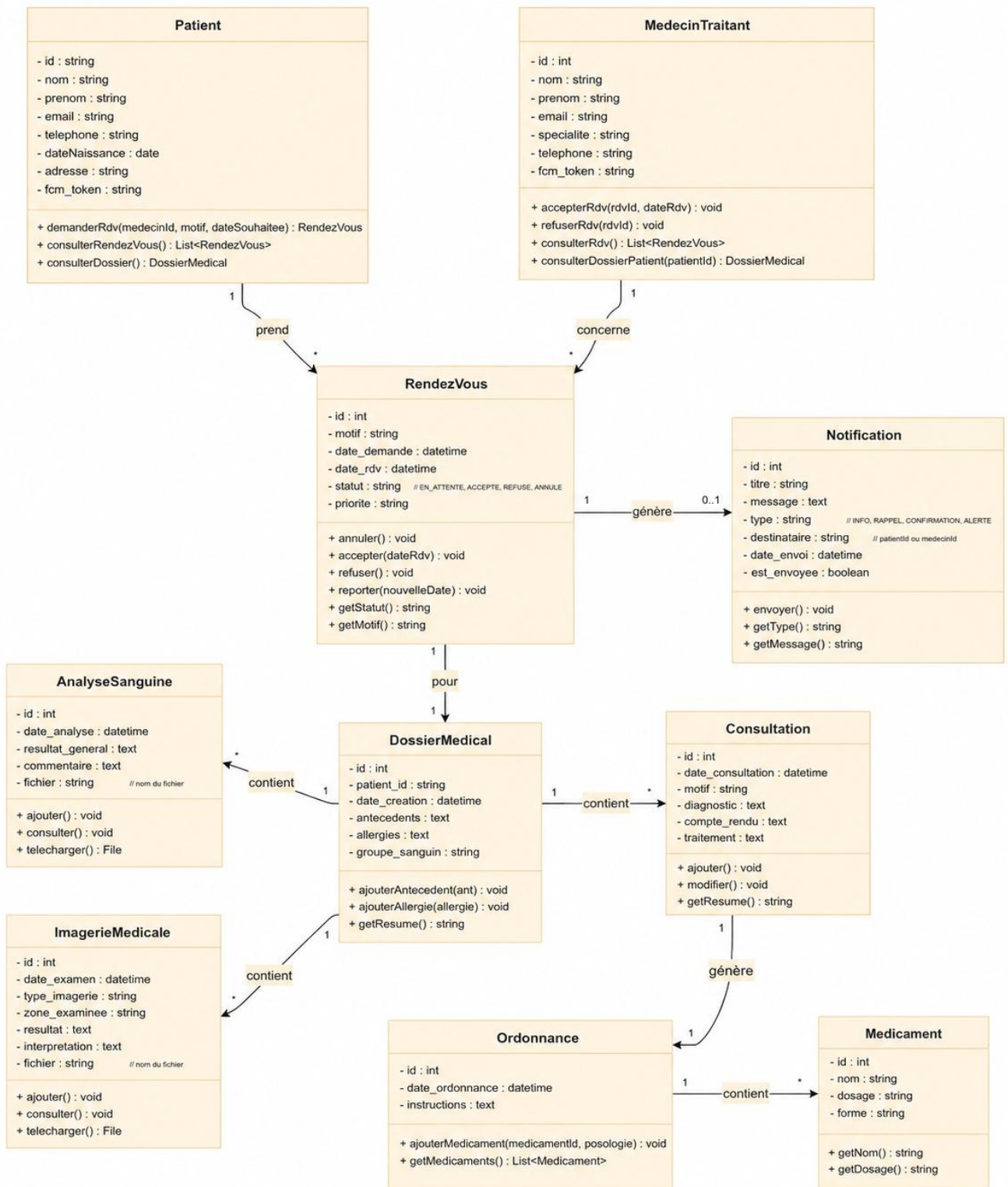


FIGURE 9 : DIAGRAMME DES CLASSES DE GESTION DES RENDEZ-VOUS

### 4.2.4.3 diagramme de séquence

Ce diagramme de séquence présente le processus de prescription médicale dans MediConnect. Le médecin saisit une ordonnance, qui est analysée automatiquement par le module de détection des interactions médicamenteuses. Le système vérifie les éventuels risques, affiche une alerte ou une validation, puis enregistre l'ordonnance validée dans la base de données afin de garantir la sécurité des prescriptions.

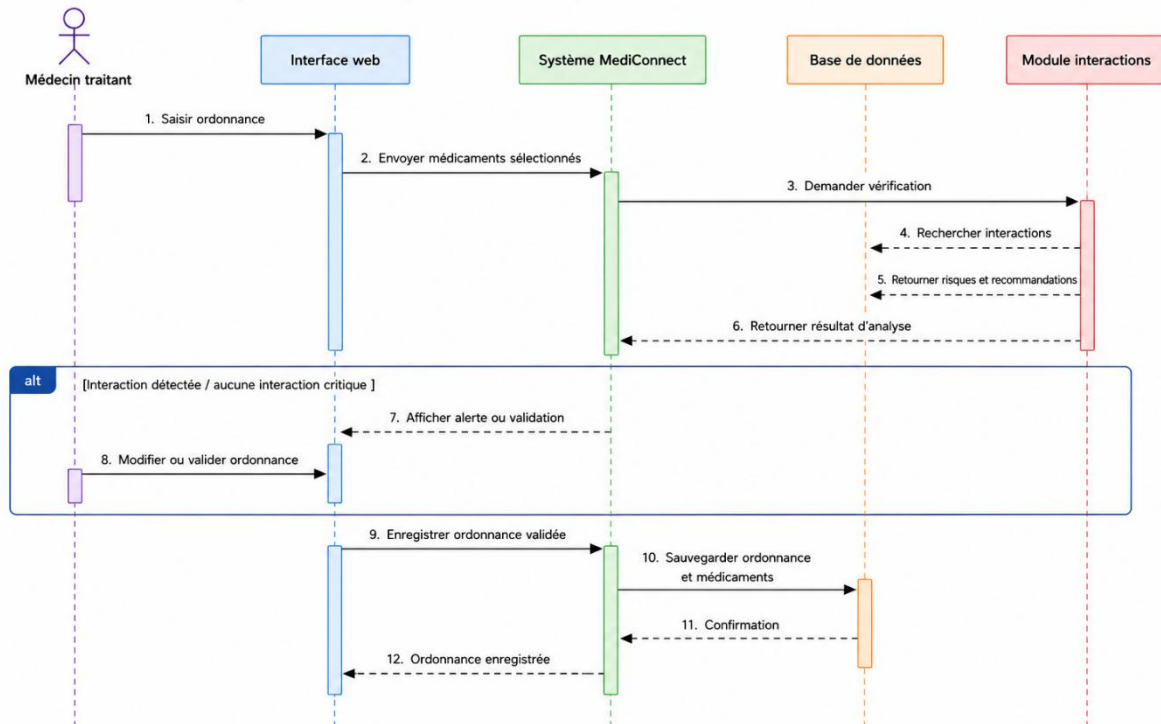


FIGURE 10 : DIAGRAMMES DE SEQUENCE PRESCRIPTIONS AVEC VERIFICATION DES INTERACTION

Ce diagramme illustre le processus de gestion des comptes utilisateurs par l'administrateur. Après authentification, l'administrateur peut créer un nouveau compte utilisateur (médecin ou agent médical de tri). Les informations sont transmises au système puis enregistrées dans la base de données avant l'affichage d'une confirmation.

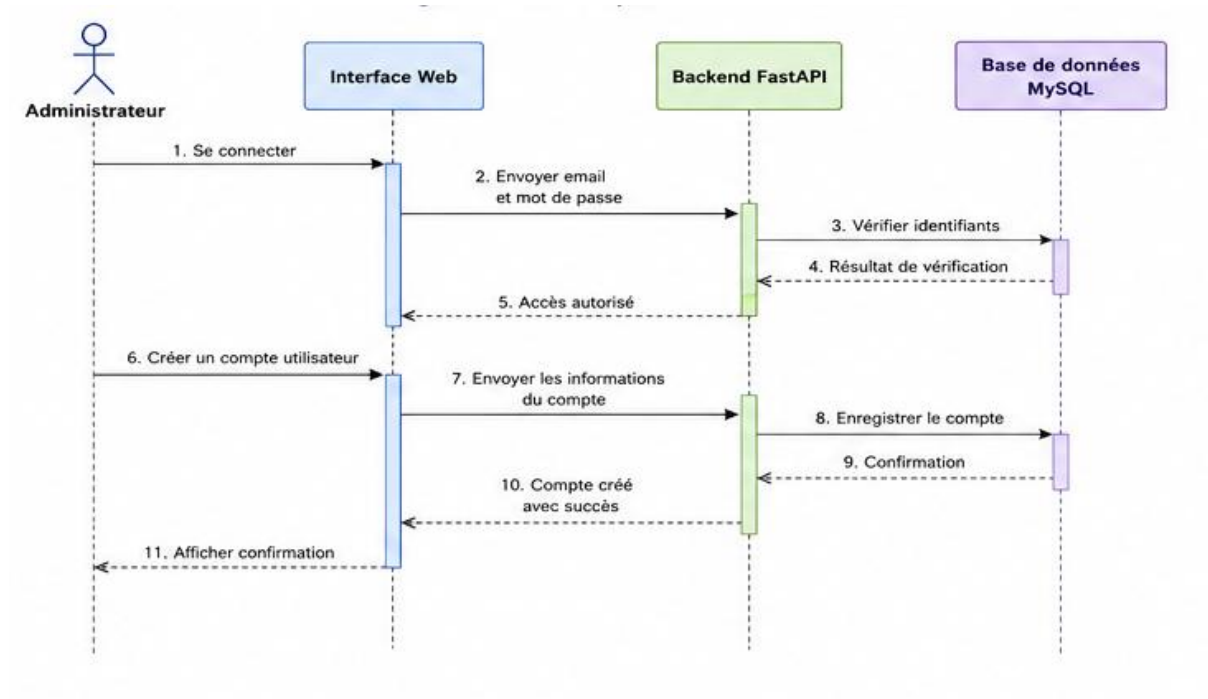


FIGURE 11 DIAGRAMMES DE SEQUENCE ADMINISTRATEUR

Ce diagramme présente les principales opérations réalisées par l'agent médical de tri. Après connexion, il enregistre un nouveau patient, crée son dossier médical initial puis l'oriente vers le médecin traitant. Les informations sont sauvegardées dans la base de données afin d'assurer la continuité de la prise en charge.

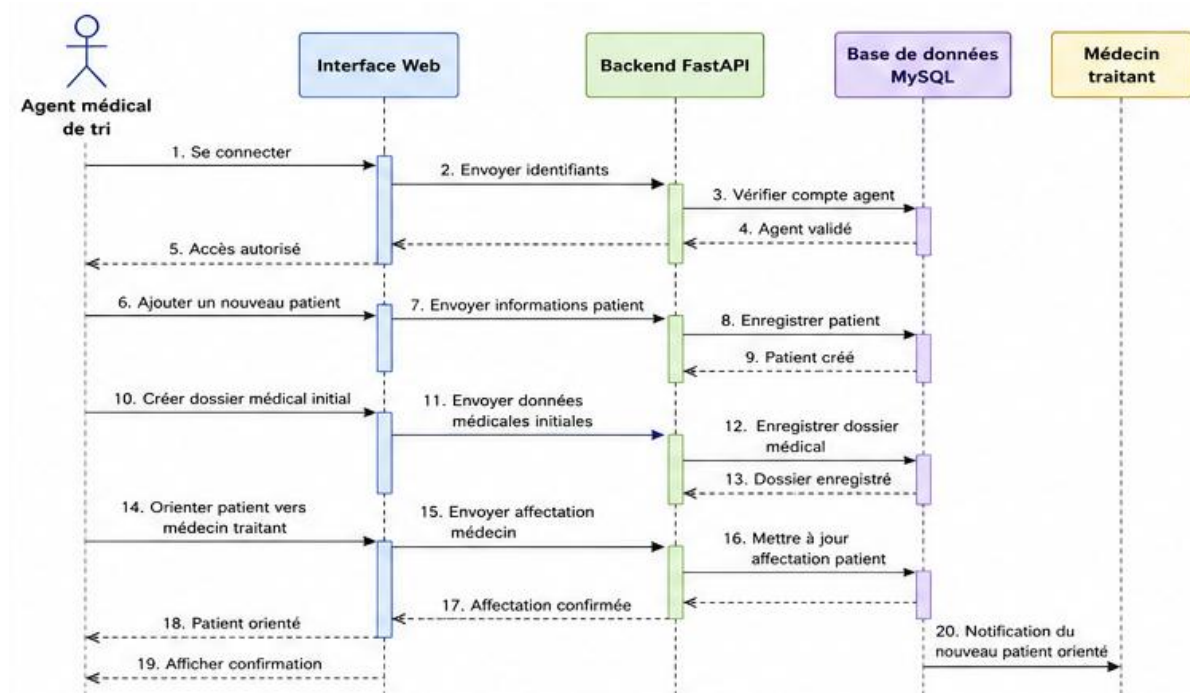


FIGURE 12 :DIAGRAMME DE SEQUENCE – AGENT MEDICAL DE TRI

Ce diagramme décrit le déroulement d'une consultation médicale. Le médecin consulte le dossier du patient, établit une prescription et déclenche la vérification des interactions médicamenteuses via le module intelligent. Selon le résultat de l'analyse, l'ordonnance est modifiée ou validée avant son enregistrement dans la base de données.

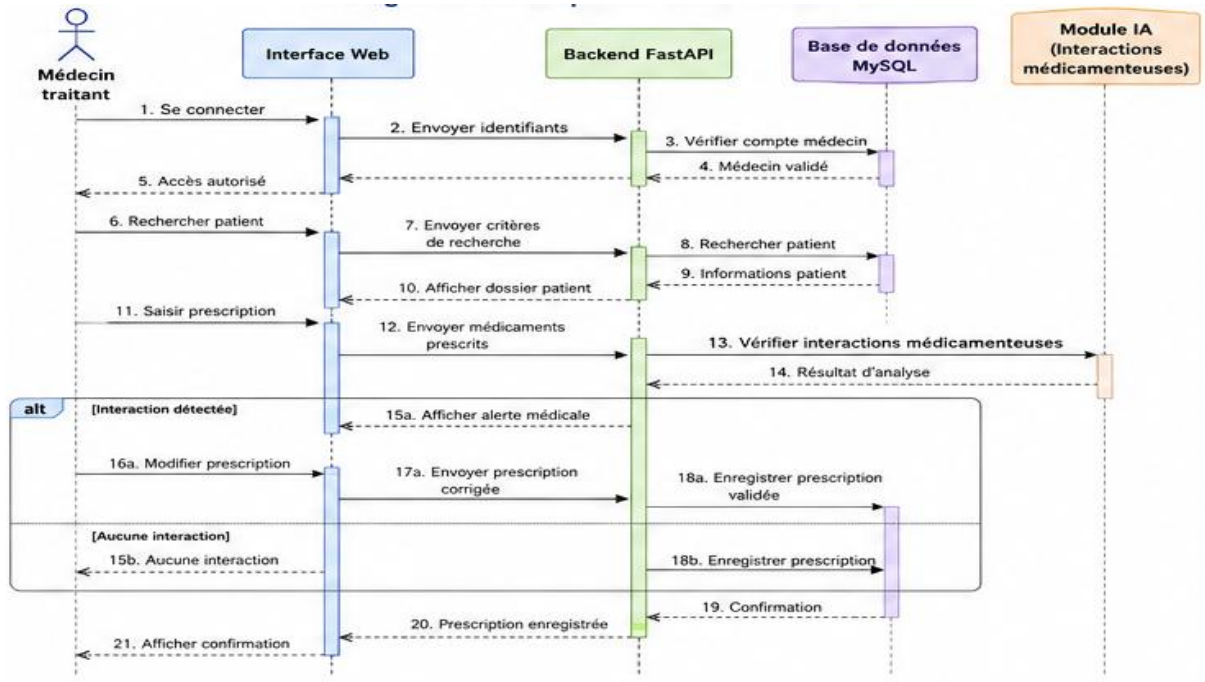


FIGURE 13 : DIAGRAMME DE SEQUENCE – MEDECIN TRAITANT

Ce diagramme représente les interactions du patient avec l'application mobile. Le patient peut se connecter, demander un rendez-vous, recevoir une notification de confirmation et consulter son historique médical. Ces opérations permettent d'améliorer l'accès aux informations médicales et le suivi des soins.

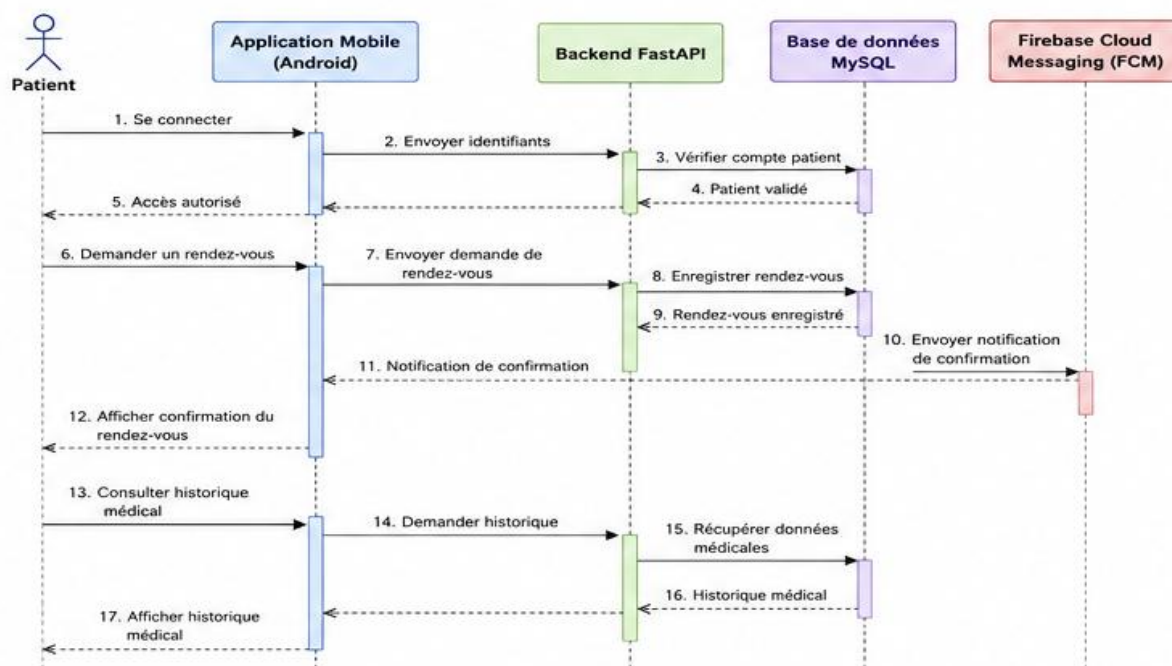


FIGURE 14 : DIAGRAMME DE SEQUENCE – PATIENT

### 4.3 Conception du Module de Détection des Interactions Médicamenteuses

Ce module s'articule autour de deux tâches fonctionnelles majeures, exploitant des référentiels linguistiques et scientifiques distincts : l'intégration prédictive d'une nouvelle molécule via la base internationale DTGQBonk, et la vérification en temps réel d'une ordonnance croisant la base clinique locale (en français) et la table des interactions (en anglais).

#### 4.3.1 Processus Globaux de Traitement (Workflows)

Le système segmente sa logique décisionnelle en deux scénarios distincts selon la nature de la tâche requise par l'utilisateur :

Tâche 1 : Introduction d'une nouvelle DCI (Mode Prédictif via DrugBank)

Lorsqu'un administrateur ou un chercheur souhaite intégrer une molécule active non répertoriée dans le système, le moteur s'appuie sur le référentiel international DTGQBonk. Un algorithme  $K$ -NN multi-dimensionnel (vectoriel) compare la nouvelle molécule aux structures existantes. L'objectif est de prédire et de générer son profil d'interactions potentiel avant de l'insérer définitivement dans la table des interactions en anglais.

Le formalisme graphique de ce processus prédictif est modélisé par la figure 15.

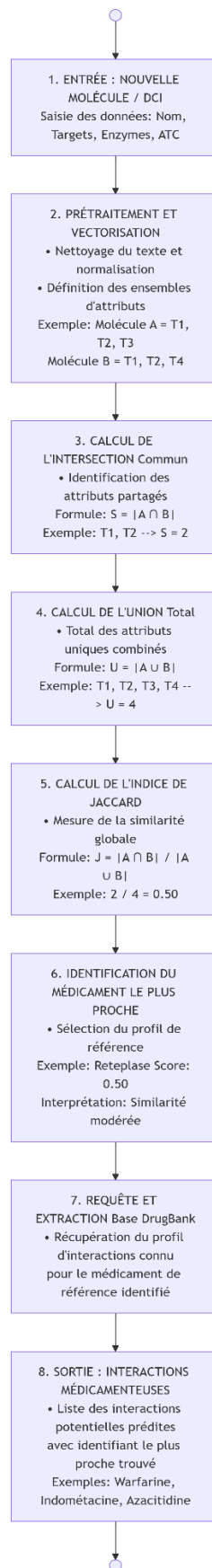


Figure 15: Diagramme d'activité d'intégration et prédiction via Drug-Bank

## Tâche 2 : Analyse et Sécurisation de l'Ordonnance (Mode Temps Réel)

Lors de la consultation, le médecin sélectionne les médicaments en français depuis la base locale de description. L'objectif strict est d'aboutir à une ordonnance validée sans interaction. La table des interactions étant stockée en anglais, le système déploie le pipeline en cascade suivant :

1. **Standardisation via l'API RxNorm** : Le système interroge l'API pour traduire et faire correspondre la DCI française au standard international en anglais. Si le concept est trouvé, la vérification est immédiatement exécutée par une requête SQL directe sur la table locale des interactions.
2. **Traduction et Alignement par Similarité** : En cas d'échec de RxNorm (DCI locale spécifique ou anomalie de saisie), le système applique une traduction auto-matique vers l'anglais ( $T_{en}$ ). Un algorithme de comparaison par similarité (indice de Jaccard) compare la DCI traduite avec toutes les DCI de la table des interactions. Le système sélectionne le plus proche voisin dont la similarité dépasse 80%.
3. **Verdict de l'Ordonnance** : Une fois les DCI résolues en anglais, la requête SQL recherche les conflits. Si une interaction est détectée, une alerte bloque la validation et invite le médecin à modifier sa prescription. Si aucune interaction n'est trouvée, l'ordonnance est certifiée sécurisée et validée.

Le diagramme d'activité de la figure 17 illustre ce pipeline en cascade avec la nouvelle logique de sélection par seuil de similarité.

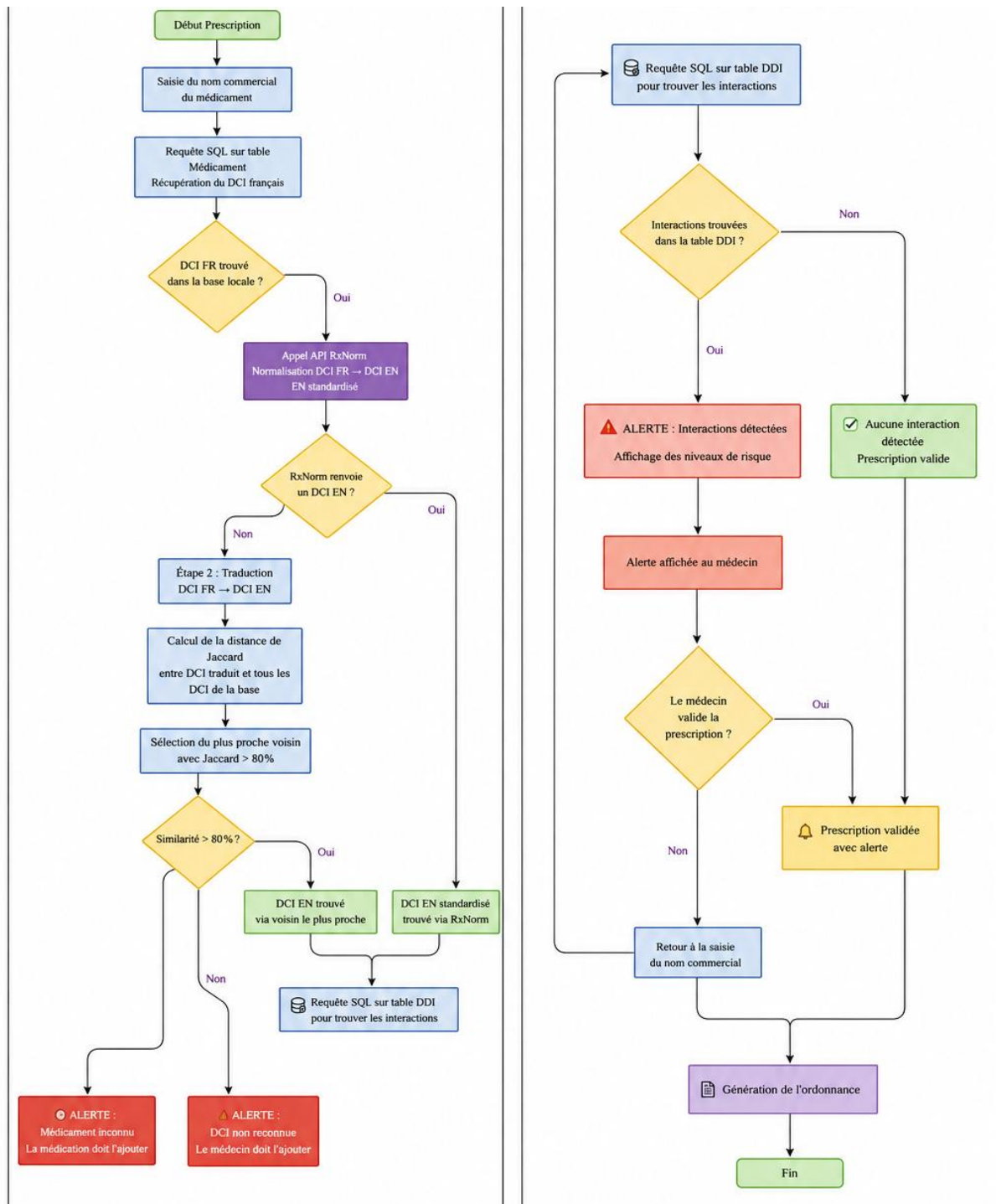


FIGURE 16 : DIAGRAMME D'ACTIVITE

### 4.3.2 Spécification Algorithmique du Moteur de Décision

Formalisation de la Tàche 1 : Prédiction par  $K$ -NN via DrugBank

Pour une nouvelle molécule absente du système, le mécanisme extrait ses descripteurs depuis DTGQB0nk pour former le vecteur  $\mathbf{V}(M_{neu})$ . La similarité est calculée par rapport aux molécules  $r$  de la base

$$Voisins(M_{neu}) = \arg \max_{r \in R}^k Sim(V(M_{neu}), V(r)) \quad (1.1)$$

Le profil d'interactions généré en anglais est ensuite injecté dans la table locales. Formalisation de la Tàche 2 : Aligement Linguistique par Seuil de Similarité

La DCI saisie en français doit correspondre à une entrée de la table des interactions en anglais. Si RxNorm échoue à fournir le  $R_{CUI}$ , la chaîne traduite  $T_{en}$  est comparée avec toutes les entrées  $r$  de la table des interactions en utilisant l'indice de Jaccard (bi-grammes) :

$$J(T_{en}, r) = \frac{|N - gram(T_{en}) \cap N - gram(r)|}{|N - gram(T_{en}) \cup N - gram(r)|} \quad (1.2)$$

Le système sélectionne le plus proche voisin selon la règle suivante :

$$DCI_{retenu} = \begin{cases} r_{\max} & \text{si } \max_{r \in R} J(T_{en}, r) \geq 0.8 \\ \text{Échec} & \text{sinon} \end{cases} \quad (1.3)$$

Où  $r_{\max}$  est l'entrée de la table ayant la similarité maximale avec  $T_{en}$ . Si cette similarité maximale est inférieure à 80%, le système signale un médicament inconnu.

Une fois les DCI de l'ordonnance alignées sur le référentiel anglais, le moteur vérifie la non-existence d'un couple  $(DCI_A, DCI_B)$  dans la table des interactions

$$Interaction(DCI_A, DCI_B) = \begin{cases} 1 & \text{si présent dans la table (Alerte/Modification)} \\ 0 & \text{si absent (Validation de l'ordonnance)} \end{cases} \quad (1.4)$$

### 4.3.3 Scénario de Validation et Analyse des Résultats

433 Afin d'évaluer le bon fonctionnement du module de détection des interactions médicamenteuses, plusieurs scénarios de prescription ont été simulés à partir de médicaments couramment utilisés dans la pratique clinique. Chaque ordonnance est analysée automatiquement par le système qui vérifie l'existence d'éventuelles interactions entre les médicaments prescrits. Lorsque les molécules sont correctement identifiées, le moteur de décision interroge la base des interactions et génère un résultat indiquant soit l'absence de risque, soit la présence d'une interaction nécessitant une attention particulière.

Les tests réalisés montrent que le système est capable de détecter efficacement les interactions connues et de produire des alertes en temps réel avant la validation définitive de l'ordonnance. Dans les cas où une DCI n'est pas directement reconnue, le mécanisme de traduction et de recherche par similarité permet d'identifier le médicament correspondant avec un niveau de confiance élevé. Cette approche contribue à réduire les erreurs liées aux différences de nomenclature et améliore la robustesse du processus de vérification.

L'analyse des résultats obtenus confirme ainsi la pertinence de l'architecture proposée. Le système assure une validation rapide des prescriptions tout en renforçant la sécurité thérapeutique du patient. L'intégration des mécanismes de prédiction, de traduction et de détection des interactions permet d'offrir une aide à la décision fiable pour les professionnels de santé et de limiter les risques associés aux prescriptions médicamenteuses complexes.

Le tableau 6 synthétise l'articulation de ces référentiels selon le contexte d'utilisation.

Contexte / Tâche	Source de Données	Langue	Objectif Système
1. Nouvelle Molécule	DrugBank (Kaggle)	Anglais	Prédire et enrichir la table
2. Prescription (Saisie)	Base Clinique Locale	Français	Confort d'utilisation médecin
2. Prescription (Moteur)	Table des Interactions	Anglais	Vérifier et valider l'ordonnance

TABLEAU 6 : SYNTHÈSE DE L'EXPLOITATION DES BASES DE DONNÉES ET DES LANGUES SELON LA TÂCHE

***Chapitre 5 :***  
***Implémentation***

Ce chapitre constitue la phase finale du projet MediConnect. Il présente la mise en œuvre pratique de la solution proposée ainsi que les technologies utilisées pour son développement. L'objectif principal de cette étape est de transformer les modèles conceptuels et architecturaux définis précédemment en une application fonctionnelle répondant aux besoins identifiés lors de l'analyse.

Dans un premier temps, nous présentons les différents outils logiciels utilisés durant le développement du système. Ensuite, nous décrivons les technologies et les langages de programmation ayant permis la réalisation de la plateforme. Enfin, nous illustrons les principales interfaces de l'application ainsi que les fonctionnalités développées pour chaque acteur du système.

### Objectifs du chapitre :

- Présenter les outils matériels et logiciels utilisés pour le développement de la plateforme.
- Décrire les technologies retenues pour la réalisation du système.
- Expliquer les différentes étapes d'implémentation des modules de MediConnect.
- Illustrer les principales interfaces développées et le fonctionnement du module de détection des interactions médicamenteuses.

### 5.1 Les outils utilisés

#### 5.1.1 PyCharm

PyCharm est un environnement de développement intégré (IDE) développé par JetBrains et spécialement conçu pour le langage Python. Il fournit un ensemble d'outils avancés permettant de simplifier le développement d'applications web, d'intelligence artificielle et de science des données.

Dans le cadre du projet MediConnect, PyCharm a été utilisé pour développer l'ensemble du backend de l'application basé sur le framework FastAPI.

#### 5.1.2 Android Studio

Android Studio est l'environnement de développement officiel pour la création d'applications Android. Développé par Google, il fournit un ensemble complet d'outils permettant de concevoir, développer, tester et déployer des applications mobiles performantes.

Dans le cadre du projet MediConnect, Android Studio a été utilisé pour le développement de l'application mobile destinée aux patients et aux professionnels de santé. Cet environnement offre plusieurs fonctionnalités facilitant le développement mobile, notamment :

- Un éditeur de code intelligent avec complétion automatique ;
- Un émulateur Android intégré pour les tests ;
- Des outils de débogage avancés ;
- La gestion des dépendances et bibliothèques ;
- L'intégration avec les services Google ;
- Le suivi des performances de l'application

### 3.2 Les outils de développement

#### 3.2.1 Le langage Python

Python est un langage de programmation de haut niveau reconnu pour sa simplicité, sa lisibilité et sa grande communauté de développeurs. Il est largement utilisé dans le développement web, l'intelligence artificielle, l'analyse de données et les systèmes d'information de santé.

Dans le projet MediConnect, Python a été choisi comme langage principal pour le développement du backend.

#### 3.2.2 FastAPI

FastAPI est un framework moderne de développement d'API REST basé sur Python. Il est conçu pour offrir de hautes performances tout en simplifiant le développement des services web.

Dans MediConnect, FastAPI est utilisé pour :

- La gestion des utilisateurs ;
- L'authentification et l'autorisation ;
- La gestion des dossiers médicaux ;
- La gestion des consultations ;
- La génération des prescriptions médicales ;
- La communication avec la base de données.

#### 3.2.3 HTML, CSS et JavaScript

Les technologies HTML, CSS et JavaScript ont été utilisées pour développer l'interface utilisateur de la plateforme.

- **HTML** permet de structurer les pages web ;
- **CSS** assure la mise en forme et le design de l'interface ;
- **JavaScript** apporte l'interactivité et la communication dynamique avec le serveur. .

### 3.2.4 MySQL

MySQL est un système de gestion de bases de données relationnelles largement utilisé dans les applications web.

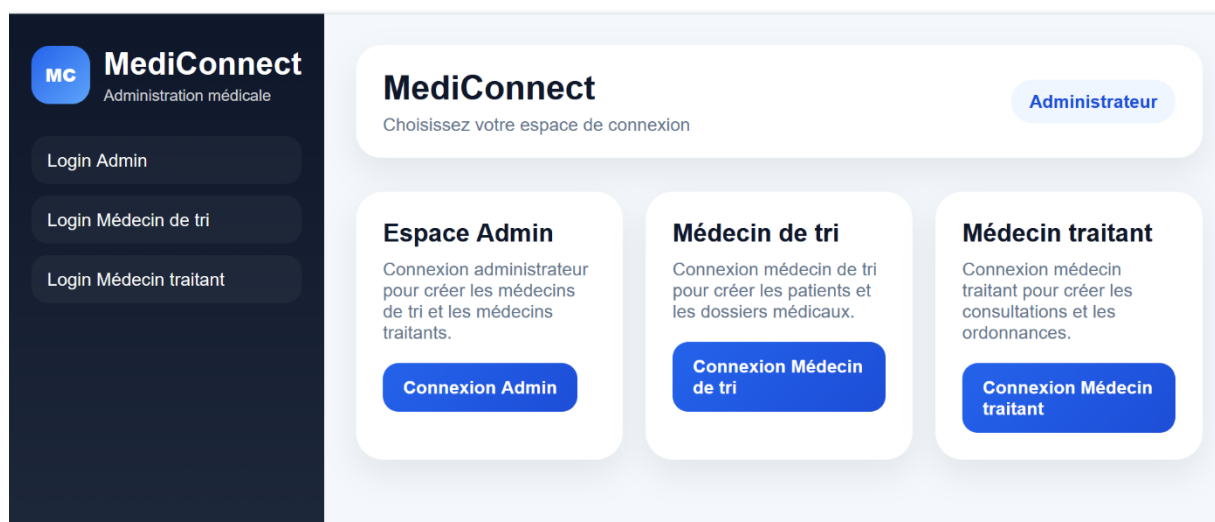
Pour MediConnect, MySQL assure le stockage sécurisé des informations médicales telles que :

- Les dossiers patients ;
- Les consultations ;
- Les prescriptions ;
- Les analyses médicales ;
- Les rapports médicaux ;
- Les images médicales.

### 3.3 Présentation des interfaces réalisées

Cette section présente les principales interfaces développées dans le cadre de MediConnect. Chaque interface a été conçue pour répondre aux besoins spécifiques des différents acteurs du système : administrateur, agent médical de tri, médecin traitant et patient.

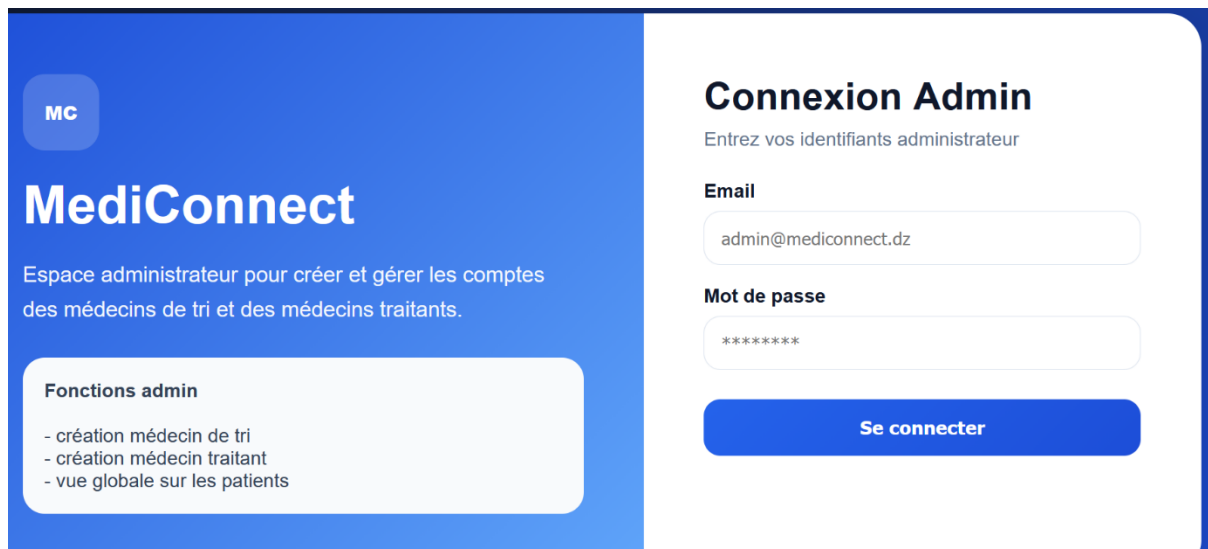
Les captures d'écran suivantes illustrent les fonctionnalités principales de l'application, notamment la gestion des dossiers médicaux, la consultation des informations patients, la création des prescriptions médicales et la détection intelligente des interactions médicamenteuses.



**FIGURE 17: INTERFACE D'ACCUEIL**

Cette interface constitue le point d'entrée de l'application MediConnect. Elle permet aux différents acteurs du système (administrateur, agent médical de tri et médecin

traitant) d'accéder à leur espace de travail respectif via un mécanisme d'authentification dédié.



**MC**

# MediConnect

Espace administrateur pour créer et gérer les comptes des médecins de tri et des médecins traitants.

**Fonctions admin**

- création médecin de tri
- création médecin traitant
- vue globale sur les patients

## Connexion Admin

Entrez vos identifiants administrateur

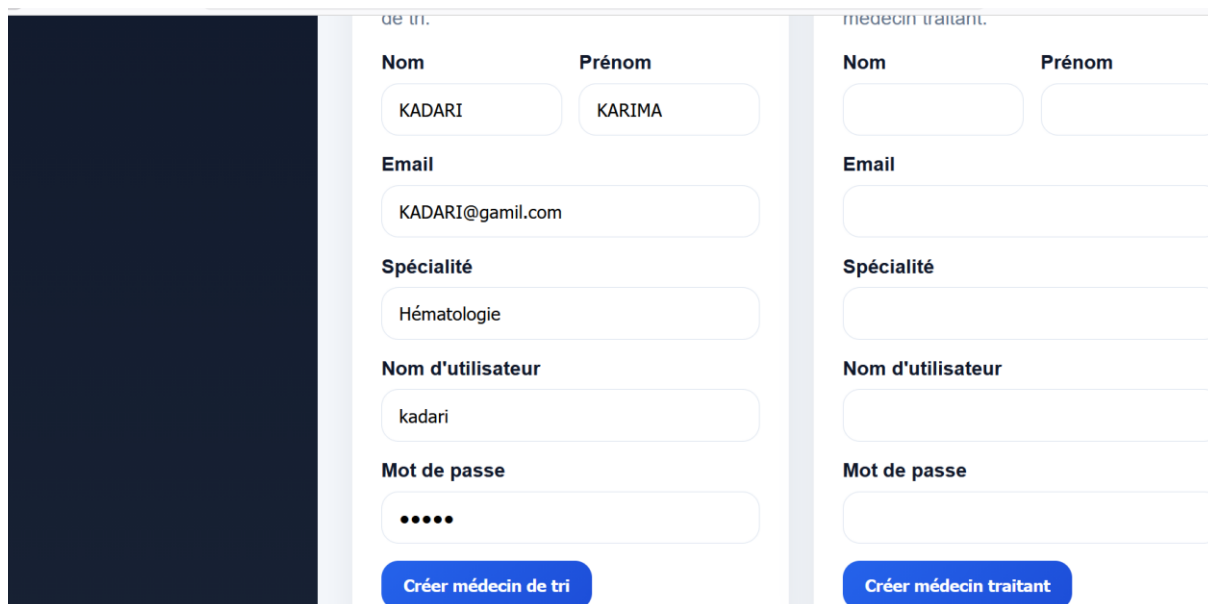
**Email**

**Mot de passe**

**Se connecter**

*Figure 18: Connexion Admin*

Cette interface permet à l'administrateur de s'authentifier afin d'accéder aux fonctionnalités de gestion du système. Après connexion, il peut créer et gérer les comptes des agents médicaux de tri et des médecins traitants.



de tri.		medecin traitant.	
Nom	Prénom	Nom	Prénom
<input type="text" value="KADARI"/>	<input type="text" value="KARIMA"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<b>Email</b>		<b>Email</b>	
<input type="text" value="KADARI@gamil.com"/>		<input type="text"/>	
<b>Spécialité</b>		<b>Spécialité</b>	
<input type="text" value="Hématologie"/>		<input type="text"/>	
<b>Nom d'utilisateur</b>		<b>Nom d'utilisateur</b>	
<input type="text" value="kadari"/>		<input type="text"/>	
<b>Mot de passe</b>		<b>Mot de passe</b>	
<input type="password" value="••••"/>		<input type="password"/>	
<b>Créer médecin de tri</b>		<b>Créer médecin traitant</b>	

FIGURE 19: INTERFACE DE GESTION DES COMPTES MEDICAUX PAR L'ADMINISTRATEUR

Cette interface permet à l'administrateur de créer et de gérer les comptes des agents médicaux de tri et des médecins traitants en renseignant leurs informations professionnelles et leurs identifiants d'accès.

### Créer un dossier médical

Associer un dossier au patient

**ID patient**

**Groupe sanguin**

**Tension artérielle**

**Allergies**

**Créer dossier médical**

**Patients enregistrés**

FIGURE 20: INTERFACE DE CREATION DU DOSSIER MEDICAL PAR L'AGENT MEDICAL DE TRI

Cette interface permet à l'agent médical de tri de créer le dossier médical initial du patient en enregistrant les informations essentielles telles que le groupe sanguin, la tension artérielle et les allergies.

**Patient**

Ait Yacine ▼ Date : 19/06/2026

**Traitements prescrits**

ASPEC Dosage ▼

WARFARIN Dosage ▼

**ALERTE INTERACTION MÉDICAMENTEUSE**

1 interaction(s) détectée(s)

ASPEC → WARFARIN

Niveau : Élevée

bleeding\_risk

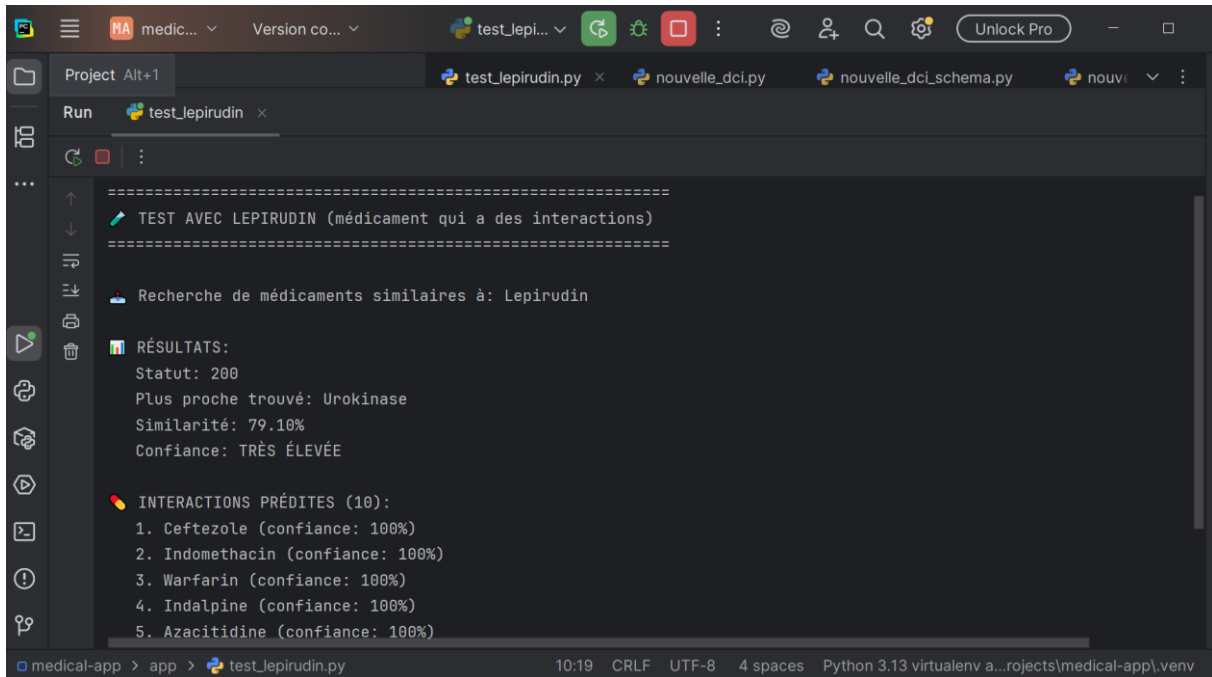
Source : SQL drug\_interactions

**Imprimer l'ordonnance** **Enregistrer la prescription**

FIGURE 21: INTERFACE DE DETECTION DES INTERACTIONS MEDICAMENTEUSES

## Chapitre 5 : Implémentation

Cette interface illustre le module intelligent de vérification des prescriptions. Lorsqu'une interaction médicamenteuse est détectée entre deux médicaments prescrits, une alerte est générée afin d'informer le médecin du niveau de risque associé avant la validation de l'ordonnance



```
=====
TEST AVEC LEPIRUDIN (médicament qui a des interactions)
=====

Recherche de médicaments similaires à: Lepirudin

RÉSULTATS:
Statut: 200
Plus proche trouvé: Urokinase
Similarité: 79.10%
Confiance: TRÈS ÉLEVÉE

INTERACTIONS PRÉDITES (10):
1. Ceftezole (confiance: 100%)
2. Indomethacin (confiance: 100%)
3. Warfarin (confiance: 100%)
4. Indalpine (confiance: 100%)
5. Azacitidine (confiance: 100%)

medical-app > app > test_lepirudin.py 10:19 CRLF UTF-8 4 spaces Python 3.13 virtualenv a...rojects\medical-app\venv
```

**FIGURE 22: TEST DU MODULE DE PREDICTION DES INTERACTIONS MEDICAMENTEUSES POUR UN NOUVEAU DCI (LEPIRUDIN)**

Cette figure présente le résultat du test du module de prédiction des interactions médicamenteuses. À partir du médicament Lepirudin, le système identifie le médicament le plus similaire (Urokinase) et prédit les interactions potentielles associées avec un niveau de confiance élevé.

## Conclusion Générale

---

### Conclusion Générale

La transformation numérique du secteur de la santé représente aujourd'hui un levier essentiel pour améliorer la qualité des soins, optimiser la gestion des informations médicales et renforcer la coordination entre les différents acteurs du domaine médical. Dans ce contexte, ce mémoire a porté sur la conception et la réalisation de **MediConnect Algérie**, une plateforme médicale intelligente destinée à faciliter la gestion intégrée des soins au sein des établissements de santé. L'étude réalisée a permis d'analyser les concepts fondamentaux de la e-santé, les systèmes de santé connectés, les normes d'interopérabilité ainsi que les technologies d'intelligence artificielle appliquées à la sécurité des prescriptions médicales.

Les différentes phases du projet ont conduit à l'identification des besoins fonctionnels et non fonctionnels du système, à la conception d'une architecture adaptée au contexte algérien et au développement des principaux modules de la plateforme. MediConnect intègre notamment un dossier médical électronique, un système de gestion des consultations et des prescriptions ainsi qu'un module intelligent de détection des interactions médicamenteuses. Les résultats obtenus montrent que la solution proposée permet d'améliorer l'accès aux données médicales, de faciliter la coordination clinique et de contribuer à la réduction des risques liés aux erreurs de prescription.

Cependant, comme tout projet de recherche et de développement, certaines limites subsistent. La plateforme a été développée dans un cadre académique et son évaluation repose principalement sur des simulations de déploiement. De plus, le module de détection des interactions médicamenteuses s'appuie sur une base de connaissances limitée aux données disponibles durant la phase de développement. Certaines fonctionnalités avancées, telles que la téléconsultation, l'intégration avec des systèmes hospitaliers externes ou l'exploitation de données médicales à grande échelle, n'ont pas été implémentées dans cette première version de la solution. Par ailleurs, le déploiement réel d'un tel système dépend de plusieurs facteurs, notamment la disponibilité des infrastructures numériques, le respect des exigences réglementaires et l'adoption des outils numériques par les professionnels de santé.

Malgré ces limitations, MediConnect constitue une base solide pour de futures évolutions. Des améliorations pourront être apportées à travers l'intégration de technologies avancées d'intelligence artificielle, l'utilisation des standards d'interopérabilité HL7 et FHIR, le développement de services de téléconsultation et l'intégration de dispositifs médicaux connectés. À long terme, la plateforme pourrait évoluer vers un système de santé numérique à plus grande échelle capable de connecter différents établissements médicaux et de contribuer à la modernisation du secteur de la santé en Algérie. Ainsi, ce projet démontre le potentiel des technologies numériques pour améliorer la prise en charge des patients et constitue une contribution à la transformation digitale des services de santé.

# Références

- [1] Agence du Numérique en Santé. (s.d.). *Télémédecine*. sur [esante.gouv.fr](http://esante.gouv.fr).
- [2] LAHCHEM Kasmia, KACI Yacine, "Télémédecine et introduction des TIC comme outil de développement du système sanitaire en Algérie", *Revue d'économie et de développement humain*, Vol. 15, N°2, 2020, pp. 181-200.
- [3] World Health Organization (WHO). *Telemedicine: Opportunities and Developments in Member States: Report on the Second Global Survey on eHealth*. Global Observatory for eHealth Series, Volume 2, Geneva, 2010. Available at: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/digital-health-documents/global-observatory-on-digital-health/usa\\_support\\_tele.pdf](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/digital-health-documents/global-observatory-on-digital-health/usa_support_tele.pdf) .
- [4] Dossier électronique médical en Algérie, Scribd, <https://fr.scribd.com/document/834512143/1-Dossier-elec-WPS-Office>
- [5] Doctolib, Site officiel de Doctolib, <https://www.doctolib.fr>.
- [6] OpenMRS, OpenMRS Official Website, <https://openmrs.org>.
- [7] OSCAR EMR, OSCAR EMR Official Website, <https://oscarcanada.org>.
- [8] Chakray Consulting, Utilisez HL7 FHIR pour l'échange d'informations cliniques et l'intégration avec Apache Camel, <https://chakray.com/fr/utilisez-hl7-fhir-pour-lechange-dinformations-cliniques-et-lintegration-avec-apache-camel>.
- [9] Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, Le règlement général sur la protection des données (RGPD), <https://www.economie.gouv.fr/entreprises/gerer-son-entreprise-au-quotidien/assurer-sa-cybersecurite-et-la-protection-de-ses/le>.
- [10] Vie publique, RGPD : de quoi s'agit-il ?, <https://www.vie-publique.fr/eclairage/19588-rgpd-reglement-general-sur-la-protection-des-donnees-de-quoi-sagit-il>.
- [11] République Algérienne Démocratique et Populaire, Loi n°18-07 du 10 juin 2018 relative à la protection des personnes physiques dans le traitement des données à caractère personnel, *Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire (JORADP)*, n°34, 10 juin 2018. Disponible sur : <https://www.joradp.dz/FTP/jo-francais/2018/F2018034.pdf>.
- [12] Intervalle Technologies, Loi 18-07 : les défis de la protection des données personnelles en Algérie, <https://intervalle-technologies.com/blog/loi-18-07-protection-donnees-personnelles/>.
- [13] COLLOMP Rémy, PIBAROT Marie-Laure, Le risque médicamenteux, *Actualité et Dossier en Santé Publique (ADSP)*, n°79, juin 2012, pp. 33-34.
- [14] INSERM, *Intelligence artificielle et santé*, disponible sur : <https://www.inserm.fr/dossier/intelligence-artificielle-et-sante/> .

## Références

---

- [15] Télécom Paris Alumni, *Intelligence artificielle : la nouvelle ère de la prescription médicamenteuse*, disponible sur : <https://www.telecom-paris-alumni.fr/fr/revue/article/intelligence-artificielle-la-nouvelle-ere-de-la-prescription-medicamenteuse/4021>.
- [16] Synapse Medicine, *Solutions d'aide à la prescription et à la détection des interactions médicamenteuses*, disponible sur : <https://synapse-medicine.com/fr>.
- [17] CompuGroup Medical France, *Intelligence artificielle et médecine : comment l'utiliser pour optimiser votre pratique*, disponible sur : [https://www.cgm.com/fra\\_fr/magazine/articles/2026/intelligence-artificielle-et-medecine-comment-lutiliser-pour-optimiser-votre-pratique.html](https://www.cgm.com/fra_fr/magazine/articles/2026/intelligence-artificielle-et-medecine-comment-lutiliser-pour-optimiser-votre-pratique.html).
- [18] HODEL, Markus ; GENNÉ, Daniel. *Antibiothérapie : interactions médicamenteuses et alimentaires*. Revue Médicale Suisse, 2009, vol. 5, n° 220, p. 1979-1984. Disponible sur : Revue Médicale Suisse – Antibiothérapie : interactions médicamenteuses et alimentaires
- [19] IBM, Qu'est-ce que l'interopérabilité dans le secteur de la santé ?, IBM Think, <https://www.ibm.com/fr-fr/think/topics/interoperability-in-healthcare>.
- [20] Agence du Numérique en Santé (ANS), Doctrine du Numérique en Santé 2025 – Interopérabilité, <https://esante.gouv.fr/doctrine/interoperabilite>.
- [21] Light IT Global, HL7 Integration: A Complete Guide for Healthcare Providers, <https://light-it.net/blog/hl7-integration-a-complete-guide-for-healthcare-providers/>.
- [22] TURMEL David, Interopérabilité en santé : FHIR, HL7, CI-SIS — par où commencer, Yes We Dev, 11 mars 2026, <https://yeswedev.bzh/blog/interoperabilite-sante-fhir-hl7-cisis/>,
- [23] GS1 Algeria, Les Standards GS1 pour les soins de santé, GS1 Algeria, 2015, Centre Commercial et d'Affaires ALQODS, Chéraga, Alger.
- [24] Agence des médicaments du Canada (CDA-AMC). (s.d.). Utilisation appropriée : Interventions et systèmes d'aide à la décision clinique. sur CDA-AMC.
- [25] Cheng F, Zhao Z. Machine learning-based prediction of drug-drug interactions by integrating drug phenotypic, therapeutic, chemical, and genomic properties. *J Am Med Inform Assoc.* 2014 ;21(e2) :e278-e286. doi :10.1136/amiajnl-2013-002512.
- [26] Udrescu M, Ardelean SM, Udrescu L. The curse and blessing of abundance - the evolution of drug interaction databases and their impact on drug network analysis. *GigaScience.* 2022 ;11 :giad011. doi :10.1093/gigascience/giad011.
- [27] Padhi B, Liu R, Yang Y, et al. Using multiple drug similarity networks to promote adverse drug event detection. *Heliyon.* 2024 ;10(24) :e40932. doi :10.1016/j.heliyon.2024.e40932.
- [28] Knox C, Law V, Jewison T, et al. DrugBank S.0 : a comprehensive resource for 'Omics' research on drugs. *Nucleic Acids Research.* 2011 ;39(Database) :D1035-D1041.

## Références

---

doi :10.1093/nar/gkq1126.

[29] Wang L, Liu D, Tong T. Chinese drug name entity recognition in web. Journal of Anshan Institute of Iron and Steel Tech. 2015 ;2 :127-130+154.

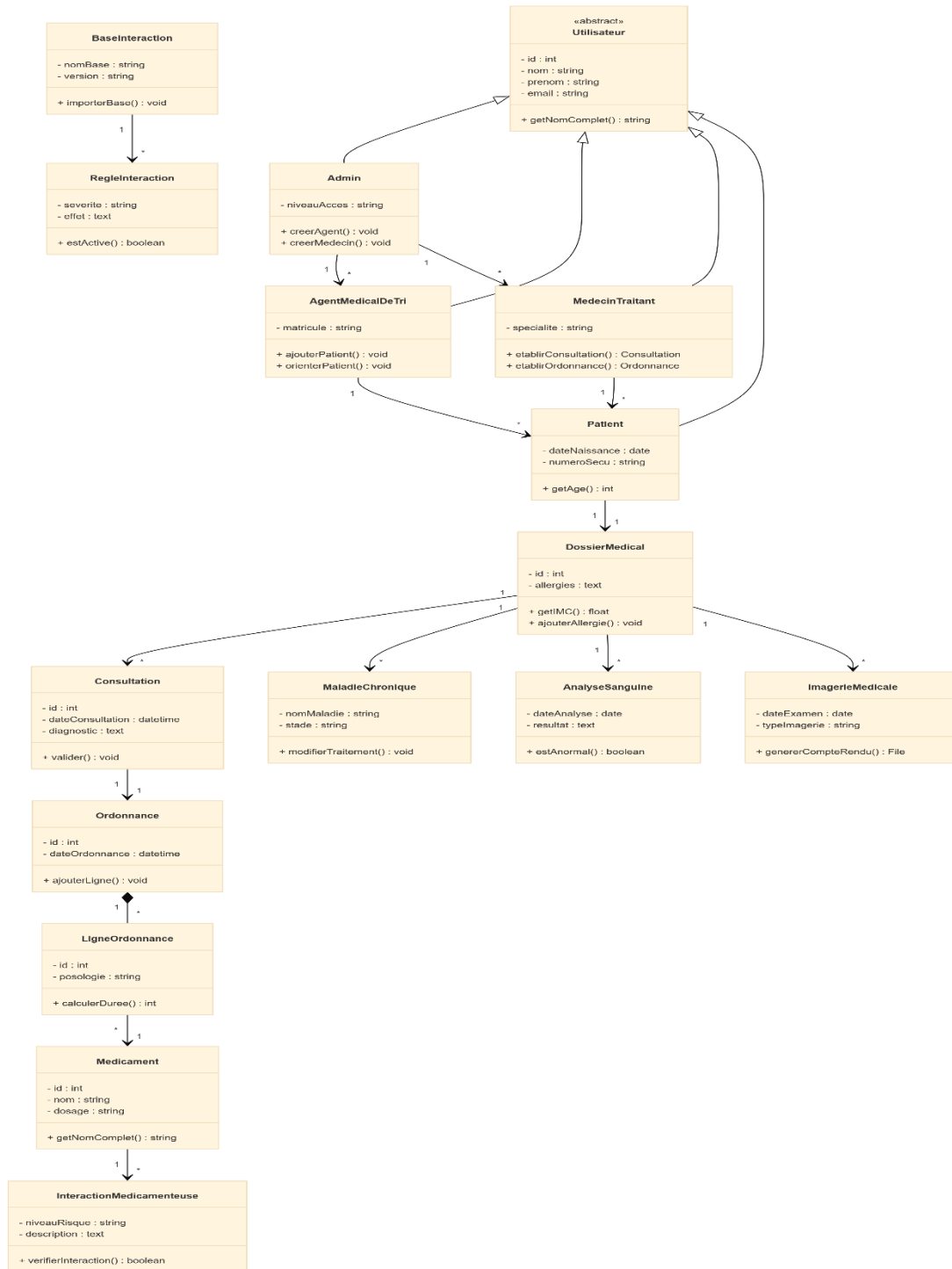
[30] Levenshtein VI. Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals. Soviet Physics Doklady. 1966 ;10(8) :707-710.

[31] Federal Aviation Administration. Automated Medication Name Correction for Air Traffic Controller Drug Testing. FAA Technical Report. 2021.

[32] Medicines and Healthcare products Regulatory Agency. *Miconazole (Daktarin): over-the-counter oral gel contraindicated in patients taking warfarin*. Drug Safety Update. 2017. Reported fatal bleeding events associated with the warfarin–miconazole interaction

## Annexe

Ce diagramme représente l'architecture conceptuelle de MediConnect en illustrant les principales classes du système ainsi que les relations existant entre les acteurs, le dossier médical, les consultations, les ordonnances et les interactions médicamenteuses.



## ملخص

في إطار التحول الرقمي لقطاع الرعاية الصحية في الجزائر، تُقدم هذه الأطروحة تصميم وتطبيق منصة MediConnect الجزائرية، وهي منصة طبية ذكية مُخصصة للإدارة المتكاملة للرعاية الصحية في المرافق الصحية. يهدف هذا الحل إلى تحسين التنسيق بين مختلف الجهات المعنية (المرضى، الأطباء، الإدارة) من خلال توفير نظام مركزي يشمل إدارة السجلات الطبية الإلكترونية ودعم وصف الأدوية عبر وحدة كشف التفاعلات الدوائية. تعتمد المنصة على الويب والهواتف المحمولة، وتدمج التقنيات الحديثة والآليات الذكية لتحسين جودة الرعاية واتخاذ القرارات الطبية. الكلمات المفتاحية: الصحة الرقمية، السجل الطبي الإلكتروني، المنصة الذكية، التفاعلات الدوائية، تطبيق الويب، تطبيق الهاتف المحمول، تنسيق الرعاية.

## Abstract

Within the framework of the digital transformation of the healthcare sector in Algeria, this thesis presents the design and implementation of MediConnect Algeria, an intelligent medical platform dedicated to the integrated management of care within healthcare facilities.

The solution aims to improve coordination between the various stakeholders (patients, physicians, administration) by offering a centralized system that includes electronic medical record management and prescription support through a drug interaction detection module.

The platform is based on a web and mobile architecture, integrating modern technologies and intelligent mechanisms to optimize the quality of care and medical decision-making.

**Keywords:** digital health, electronic medical record, intelligent platform, drug interactions, web application, mobile application, care coordination

## Résumé

Dans le cadre de la transformation numérique du secteur de la santé en Algérie, ce mémoire présente la conception et la réalisation de *MediConnect Algérie*, une plateforme médicale intelligente dédiée à la gestion intégrée des soins au sein des établissements de santé.

La solution vise à améliorer la coordination entre les différents acteurs (patients, médecins, administration) en proposant un système centralisé incluant la gestion du dossier médical électronique et l'assistance à la prescription grâce à un module de détection des interactions médicamenteuses.

La plateforme repose sur une architecture web et mobile, intégrant des technologies modernes et des mécanismes intelligents pour optimiser la qualité des soins et la prise de décision médicale.

**Mots clés :** santé numérique, dossier médical électronique, plateforme intelligente, interactions médicamenteuses, application web, application mobile, coordination des soins.