

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي



Université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen
جامعة أبو بكر بلقايد تلمسان
Faculté des Sciences
كلية العلوم
Département Informatique
قسم اعلام الي



Mémoire de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de master en Informatique
sous l'arrêté ministériel №1275

Option : Génie Logiciel
(GL)

Thème :

L'assistant intelligent du médecin

« SHIFAI »

Réalisé par :

- GHENNOU Abdelhadi
- BENHAMOU Khaled

Soutenu le 08/07/2025 devant le jury :

- Mme. SELADJI Yasmine (Encadrante)
- Mme. REMACI Zeyneb Yasmina (Éxaminatrice)
- Mme. AMRAOUI Asma (Présidente)
- M. FEKHAR (Expert I2E)

Année universitaire : 2024-2025

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et notre reconnaissance à Allah, Le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la patience, la force, le courage et la volonté nécessaires pour mener à bien notre parcours universitaire. C'est par Sa grâce que nous avons pu surmonter les obstacles et parvenir à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons nos plus vifs remerciements à notre chère encadrante, **Mme. SELADJI Yasmine**. Son soutien précieux, sa disponibilité constante et ses conseils avisés ont été un guide essentiel tout au long de la réalisation de ce mémoire. Nous lui sommes extrêmement reconnaissants pour la qualité de son suivi et sa confiance.

Nous tenons également à exprimer notre sincère gratitude à l'ensemble des membres du jury. Nous remercions vivement **Mme. AMRAOUI Asma** pour l'honneur qu'il nous fait en présidant ce jury. Nos remerciements vont également à **M. FEKHAR**, en tant qu'expert I2E, et à **Mme. REMACI Zeyneb Yasmina**, en tant qu'examinatrice, pour avoir consacré leur temps à l'évaluation de ce travail. Leur lecture attentive et leur jugement nous honorent.

Nos remerciements s'étendent à l'ensemble du corps enseignant du département d'Informatique. Leur dévouement et la qualité des savoirs qu'ils nous ont transmis durant nos années de formation ont été le socle de notre réussite.

DÉDICACES

Avant toute chose, je remercie Allah, le Tout-Puissant, de m'avoir accordé la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce projet et pour avoir éclairé mon chemin tout au long de mes études.

J'exprime ma plus profonde gratitude à mes très chers parents, pour leur amour infini, leurs sacrifices et leur soutien inébranlable. Que ce travail soit le fruit de la confiance que vous avez toujours placée en moi.

À mes soeurs, docteurs, dont les conseils avisés et le soutien moral ont été une source d'inspiration et une aide précieuse tout au long de ce projet médical.

Je tiens également à remercier notre encadrante, Mme Seladji Yasmine, pour sa disponibilité, ses conseils précieux et son orientation qui ont été déterminants dans l'avancement de ce mémoire.

À mes amis et à tous ceux qui ont partagé cette aventure universitaire, merci pour votre amitié, votre soutien moral et les moments mémorables qui ont rendu ce parcours plus léger.

Enfin, un grand merci à mon binôme, Khaled. Ta collaboration, ton engagement et ton esprit d'équipe ont été indispensables à la concrétisation du projet SHIFAI. Ce fut un honneur de travailler à tes côtés.

À tous ceux qui me sont chers, je vous dédie cette réussite.

GHENNOU Abdelhadi

DÉDICACES

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude envers Allah, dont la guidance et la miséricorde m'ont accompagné tout au long de ce parcours académique. Sa lumière a éclairé chacune de mes décisions et m'a permis d'atteindre ce moment significatif de ma vie.

À mes merveilleux parents, pour votre amour indéfectible, vos encouragements et les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation. Votre soutien a été mon plus grand moteur.

Je remercie sincèrement notre encadrante, Mme Seladji Yasmine, pour sa confiance, son encadrement rigoureux et ses conseils éclairés qui ont été essentiels à la réussite de ce projet.

À mes amis fidèles, pour leur camaraderie, leur présence constante et tous les moments partagés qui ont rendu ces années d'études inoubliables.

Je tiens à remercier chaleureusement mon binôme, Abdelhadi, pour sa persévérance, ses compétences techniques et son esprit de collaboration. Mener à bien le projet SHIFAI n'aurait pas été possible sans ton implication.

Très sincèrement, je vous suis profondément reconnaissant.

BENHAMOU Khaled

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	1
1 Contexte	1
2 Problématique	2
3 Objectifs et Positionnement du Projet SHIFAI	3
4 Plan du Mémoire	4
 I L'IA AU SERVICE DU DIAGNOSTIC MÉDICAL : DE LA THÉORIE AUX OUTILS	 5
Introduction	5
1 Fondements et Évolution de la Médecine Assistée par Ordinateur	5
1.1 Présentation du domaine de la médecine assistée par ordinateur	6
1.1.1 Définition et enjeux	6
1.1.2 Importance dans le diagnostic médical	6
1.1.3 Objectifs et bénéfices pour les professionnels de santé	7
1.2 Historique et évolution des systèmes d'aide au diagnostic	8
1.2.1 Premiers systèmes experts	8
1.2.2 Passage à l'intelligence artificielle et au machine learning	9
1.2.3 Impact des progrès technologiques	10
2 Technologies et Méthodologies de l'Intelligence Artificielle en Santé	11
2.1 Intelligence artificielle et machine learning appliqués à la santé	11
2.1.1 Concepts clés de l'IA et du ML	11
2.1.2 Applications spécifiques en diagnostic médical	11
2.1.3 Exemples d'algorithmes et méthodes	12
2.2 Technologies clés utilisées dans les assistants intelligents médicaux	14
2.2.1 Traitement du langage naturel (NLP)	14
2.2.2 Deep learning et reconnaissance d'images	14
2.2.3 Outils et frameworks technologiques	14
3 Conclusion	15

II Etude de l'existant	16
Introduction	16
1 Étude de cas des solutions internationales	16
1.1 IBM Watson Health : L'approche B2B	16
1 Présentation et technologies	16
2 Cas d'intégration et réalité du terrain	17
3 Bilan et pertinence pour l'Algérie	17
1.2 Ada Health & Babylon Health : L'approche B2C	18
1 Présentation et technologies	18
2 Cas d'intégration et réalité du terrain	18
3 Bilan et pertinence pour l'Algérie	19
2 Analyse comparative et synthèse pour le contexte algérien	20
2.1 Tableau de synthèse comparative	20
2.2 Défis et opportunités spécifiques au marché algérien	20
3 Étude comparative et sélection des technologies d'IA pour le projet SHIFAI	21
3.1 Analyse comparative des API d'IA pour le diagnostic médical	22
3.2 Conclusion et choix technologique pour le projet SHIFAI	24
4 Conclusion	25
III Analyse et conception du système de SHIFAI	26
Introduction	26
1 Analyse du système de gestion sur la plateforme SHIFAI	26
1.1 Les acteurs de notre projet	26
1.2 Les exigences de notre système	27
1 Exigences fonctionnelles	27
2 Exigences non fonctionnelles	28
2 Conception	28
2.1 Diagrammes de Cas d'Utilisation	29
2.2 Diagramme de classes du système	33
2.3 Diagrammes de Séquence Système	35
3 Conclusion	37
IV Développement et réalisation	39
Introduction	39
1 Outils et technologies utilisés	39
1.1 Technologies de développement (Frontend)	39
1.2 Technologies de développement (Backend)	40
1.3 Technologies d'Intelligence Artificielle (IA)	41
1.4 Plateformes et outils	42
2 Ingénierie des Prompts : Le Dialogue avec l'IA	44
2.1 Prompt Engineering pour l'Aide au Diagnostic (Gemini)	44
2.2 Prompt Engineering pour l'Assistant Vocal (Vapi, OpenAI & ElevenLabs)	45
3 Présentation de l'application SHIFAI	46
3.1 Design fonctionnel et expérience utilisateur dans SHIFAI	46
3.2 Présentation illustrée des fonctionnalités de SHIFAI	49
1 Visiteur	49
2 Utilisateurs (medecins)	50

3	Administrateur	56
4	Évaluation Stratégique et Validation Clinique Initiale du Projet SHIFAI . .	60
4.1	Analyse SWOT	60
4.2	Positionnement sur le Marché	61
5	Analyse comparative des premiers retours d'expérience	62
5.1	Consensus sur la proposition de valeur fondamentale	62
5.2	Convergence des suggestions vers l'intégration du flux de travail . .	62
5.3	Synthèse et orientations pour le développement futur	63
6	Conclusion	64
V	BMC	65
1	Proposition de valeur (Value Proposition)	65
2	Segments de clients (Customer Segment)	66
3	Relation avec les clients (Consumer Relationship)	66
4	Canaux de distribution (Channels)	66
5	Partenaires-clés (Key Partnerships)	67
6	Activités clés (Key Activities)	67
7	Ressources clés (Key resources)	68
8	Charges et coûts (Coste sructure)	68
9	Revenus (Revenue)	69
	Conclusion Générale	71
	Bibliographie	73

TABLE DES FIGURES

I.1	Schéma simplifié d'un système de médecine assistée par ordinateur	7
I.2	Chronologie de l'évolution des systèmes d'aide au diagnostic médical . . .	9
II.1	Exemple d'utilisation de l'explorateur IBM Watson Health TRAUMA . . .	17
II.2	Captures d'écran de l'interface principale de l'application d'aide au diagnostic Ada Health.	18
II.3	Certificat attestant de la présentation de l'étude comparative lors de la conférence GIC 2025.	21
III.1	Use case de la plateforme SHIFAI	29
III.2	Diagramme de classe système	33
III.3	Connexion et Analyse Diagnostique	35
III.4	Inscription et Gestion des Abonnements	36
III.5	Gestion Administrative et Statistiques	37
IV.1	Technologies de développement (Frontend)	40
IV.2	Technologies de développement (Backend/IA)	42
IV.3	design (couleurs/responsivité)	48
IV.4	Pages visiteures	49
IV.5	Pages d'authentification	50
IV.6	Tableau de bord	51
IV.7	Gestions des patients	52
IV.8	AnalyseIA	53
IV.9	Paramètres	54
IV.10	Réclamation et témoignage	55
IV.11	L'assistant vocal	56
IV.12	Tableau de bord(admin)	56
IV.13	Gestion d'utilisateurs	57
IV.14	Gestion des réclamations	58
IV.15	Gestion de contenu	59
IV.16	Retour d'expérience pour SHIFAI 1	63

IV.17	Retour d'expérience pour SHIFAI 2	64
V.1	Business Model Canvas (BMC)	70

LISTE DES TABLEAUX

I.1	Bénéfices clés des systèmes de médecine assistée par ordinateur pour les médecins	8
I.2	Comparaison des systèmes experts classiques et des systèmes modernes d'aide au diagnostic	10
I.3	Comparaison des algorithmes d'intelligence artificielle en santé	13
II.1	Comparaison des assistants intelligents médicaux	19
II.2	Analyse comparative des solutions existantes	20
II.3	Tableau récapitulatif de comparaison des API d'IA Médicale	24
III.1	Cas d'utilisation s'enregistrer/se connecter	30
III.2	Cas d'utilisation pour réaliser une analyse par IA (cas principal	32

ACRONYMES

ANN Artificial Neural Network. 12, 13

API Application Programming Interface. 15, 40–43, 68

BMC Business Model Canvas. , 65–69

CNN Convolutional neural network. 14

ECG Electrocardiogram. 14

IA Intélligence Artificielle. , 6, 9–12, 14, 20, 35, 41, 51, 53, 56, 65, 67, 68, 72

MAO Médecine assistée par ordinateur. 6

ML Machine Learning. 6

NLP Natural Language Processing. , 10, 12–15, 20

RNN Recurrent neural network. 14

RUP Rational Unified Process. 28

UC Use Case (Cas d'utilisation). 29

UML Unified Modeling Language. 26, 28, 71

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1 Contexte

Le XXI^e siècle a consacré l'entrée du secteur de la santé dans une ère de transformation numérique sans précédent. Les technologies de l'information et de la communication ont profondément remodelé les pratiques médicales, de la gestion des dossiers patients à la recherche clinique, en passant par la formation des praticiens. Au coeur de cette révolution se trouve l'Intelligence Artificielle (IA), qui s'est imposée comme un moteur d'innovation majeur, révolutionnant la manière dont les données médicales sont collectées, analysées et interprétées. En particulier, sa capacité à traiter des volumes massifs de données a ouvert des perspectives inédites pour le diagnostic et la prise en charge des patients[1].

Ce domaine, connu sous le nom de Médecine Assistée par Ordinateur (MAO), désigne l'ensemble des méthodes et technologies informatiques conçues pour soutenir les professionnels de santé dans leurs activités cliniques quotidiennes. Les enjeux de la MAO sont multiples et fondamentaux : il s'agit non seulement d'améliorer la qualité globale des soins en réduisant les erreurs médicales, mais aussi d'accélérer les processus de diagnostic, d'optimiser l'allocation des ressources médicales et de faciliter l'accès aux soins dans des régions sous-dotées.

L'évolution de la MAO est intrinsèquement liée aux progrès technologiques. Les premiers systèmes, apparus dans les années 1970, étaient des systèmes experts comme le célèbre MYCIN, développé à l'Université de Stanford pour le diagnostic des infections bactériennes. Ces systèmes reposaient sur des bases de connaissances statiques, où l'expertise humaine était codifiée manuellement sous forme de règles de type "si-alors". Bien qu'ils aient démontré la faisabilité de l'assistance informatique, atteignant parfois des performances supérieures à celles des experts humains dans des domaines très restreints, ils souffraient de limites importantes : une grande rigidité, une maintenance complexe et une incapacité à apprendre de nouvelles données, ce qui a fortement limité leur adoption clinique.

La transition vers l'ère moderne a été marquée par l'avènement du Machine Learning (ML), ou apprentissage automatique, une sous-catégorie de l'IA[2]. Contrairement aux systèmes experts, les algorithmes de ML ne sont pas explicitement programmés pour une

tâche ; ils apprennent de manière autonome en identifiant des motifs (patterns) et des corrélations au sein de vastes ensembles de données. Cette approche a permis de modéliser des relations complexes et non linéaires, jusqu'alors indétectables, dans les données médicales. Plus récemment, l'émergence du Deep Learning (apprentissage profond), qui s'appuie sur des réseaux de neurones artificiels à couches multiples (comme les Convolutional Neural Networks ou CNN), a particulièrement révolutionné l'analyse de données non structurées, comme l'imagerie médicale et le texte libre[3].

Cette évolution fulgurante a été rendue possible par trois piliers technologiques :

La puissance de calcul : Le développement des processeurs graphiques (GPU) et des infrastructures cloud a fourni la capacité nécessaire pour entraîner des modèles d'IA complexes sur des données massives en un temps raisonnable.

Le Big Data en santé : La numérisation massive des dossiers médicaux électroniques (DME) a créé des gisements de données considérables, qui sont le carburant essentiel à l'entraînement des algorithmes d'IA.

Les interfaces avancées : Les progrès en Traitement du Langage Naturel (NLP) ont permis de créer des interactions plus fluides et intuitives entre les médecins et les systèmes intelligents.

Ainsi, les systèmes d'aide au diagnostic actuels sont devenus plus performants, adaptatifs et accessibles, contribuant de manière significative à l'amélioration des pratiques médicales[4].

2 Problématique

Malgré les avancées spectaculaires et la promesse portée par la santé numérique, l'adoption de ces technologies sur le terrain se heurte à des obstacles significatifs. Il subsiste un fossé important entre le potentiel théorique des outils d'IA et leur intégration effective, fluide et bénéfique dans le quotidien des soignants. Cette problématique est particulièrement prégnante dans des contextes locaux spécifiques, comme en Algérie, où plusieurs défis freinent encore cette transition.

Premièrement, les professionnels de santé sont souvent confrontés à une surcharge administrative et informationnelle écrasante. Le volume de données à analyser pour chaque patient (antécédents, résultats de laboratoire, imagerie, littérature scientifique) a explosé, augmentant la charge cognitive et le risque d'erreur. Une part importante des erreurs médicales, parfois aux conséquences graves, est liée à des fautes de diagnostic. Loin d'assister les praticiens, de nombreux outils numériques mal conçus ou non intégrés à leur flux de travail ajoutent une couche de complexité et de frustration, les contraignant à consacrer un temps précieux à la saisie de données plutôt qu'à l'interaction avec le patient.

Deuxièmement, on observe un déficit d'outils adaptés aux réalités locales. La majorité des solutions d'IA médicale sont développées par de grands acteurs internationaux comme IBM, Google ou Microsoft. Ces plateformes, bien que puissantes, présentent plusieurs inconvénients[5] :

Un coût élevé : Le modèle économique de solutions comme IBM Watson Health les rend souvent inaccessibles pour des structures de taille modeste ou des praticiens indépendants.

Une intégration complexe : Leur implémentation dans les systèmes informatiques hospitaliers existants est un défi technique et logistique majeur.

Un manque de personnalisation : Elles sont souvent calibrées pour les systèmes de santé occidentaux et ne répondent pas toujours aux spécificités linguistiques, réglementaires ou cliniques des pratiques médicales en Algérie.

Un manque de transparence : Les modèles de Deep Learning sont souvent perçus comme des "boîtes noires", ce qui constitue un obstacle majeur à la confiance et à l'adoption par les médecins, qui ont besoin de comprendre le raisonnement derrière une suggestion diagnostique.

Enfin, la sécurité et la confidentialité des données de santé représentent un enjeu capital et un frein majeur à l'adoption. La manipulation d'informations aussi sensibles requiert des architectures robustes et une conformité stricte avec les normes de protection des données (comme le RGPD ou la loi HIPAA), un aspect qui doit être au cœur de la conception pour gagner la confiance des médecins et des patients.

Dans ce contexte, une question fondamentale se pose : comment concevoir une solution intelligente capable d'assister efficacement les professionnels de santé dans leur processus de diagnostic, tout en simplifiant la gestion des dossiers patients, de manière intuitive, rapide et parfaitement sécurisée ?

3 Objectifs et Positionnement du Projet SHIFAI

Pour répondre à cette problématique complexe, le projet présenté dans ce mémoire a pour objectif principal la conception et le développement de SHIFAI, une application web d'assistance médicale intelligente. Ce système, entièrement réalisé par un binôme d'étudiants dans le cadre du projet de fin d'études du Master en Informatique à l'Université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, a été pensé pour apporter une solution concrète, ciblée et pragmatique aux défis identifiés.

Les objectifs spécifiques de SHIFAI sont les suivants :

Fournir un outil d'aide au diagnostic avancé et spécialisé : L'objectif premier est de s'appuyer sur l'intégration de modèles d'Intelligence Artificielle pour analyser une variété de documents médicaux (comptes rendus PDF, images PNG, etc.). Le but n'est pas de remplacer le jugement du médecin, mais de le compléter en proposant un diagnostic structuré et des hypothèses classées par ordre de pertinence, exclusivement à l'usage des professionnels de santé pour affiner leur analyse.

Simplifier et centraliser la gestion des patients : Le projet intègre une interface complète pour la gestion des patients et de leurs dossiers médicaux. Cette interface a été conçue pour être particulièrement intuitive, rapide et accessible, permettant aux médecins de créer, consulter, modifier et suivre l'historique de chaque patient sans effort.

Garantir une sécurité et une confidentialité maximales : Conscient de la sensibilité des données manipulées, SHIFAI a été architecturalement conçu pour ne pas stocker les documents sources (bruts) téléversés par les médecins. Seules les analyses structurées et les résultats sont conservés, garantissant ainsi un respect total de la confidentialité et répondant à une exigence non fonctionnelle essentielle du système.

Optimiser l'expérience utilisateur pour le praticien : L'ensemble de l'application privilégie l'efficacité et la facilité d'utilisation. L'interface se veut moderne, épurée et responsive, avec des fonctionnalités comme un thème sombre pour les environnements peu éclairés. L'objectif est de s'intégrer harmonieusement dans le flux de travail des médecins pour répondre à leurs besoins concrets, sans ajouter de charge cognitive superflue.

En somme, SHIFAI se positionne comme une solution locale, innovante et sécurisée, visant à combler le fossé entre le potentiel de l'IA et les besoins réels des médecins sur le terrain. Ce projet illustre la manière dont une application bien conçue, centrée sur l'utilisateur et exploitant judicieusement les technologies modernes, peut apporter une valeur ajoutée significative à la pratique médicale quotidienne.

4 Plan du Mémoire

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres afin de présenter de manière logique et détaillée notre démarche, de l'analyse du domaine à la réalisation pratique de la solution :

- **Chapitre 1 : Introduction au domaine et revue des solutions existantes**
Il présente le domaine de la médecine assistée par IA, les avancées technologiques, les approches actuelles et les opportunités encore inexploitées.
- **Chapitre 2 : Étude de l'existant**
Ce chapitre analyse les solutions déjà présentes sur le marché mondial.
- **Chapitre 3 : Analyse et conception du système SHIFAI**
On y décrit les besoins fonctionnels et non fonctionnels, les utilisateurs ciblés, ainsi que les modèles de conception (UML) utilisés pour structurer le système.
- **Chapitre 4 : Développement et réalisation**
Il détaille l'architecture logicielle, les technologies employées et présente les interfaces principales de l'application.
- **Chapitre 5 : Business Model Canvas (BMC)**
Ce chapitre expose la proposition de valeur de SHIFAI, les segments de clients visés, la structure des coûts et les sources de revenus envisagées.

CHAPITRE

I

L'IA AU SERVICE DU DIAGNOSTIC MÉDICAL : DE LA THÉORIE AUX OUTILS

Introduction

Ce chapitre présente un panorama complet de la médecine assistée par ordinateur (MAO), un domaine visant à améliorer la pratique clinique grâce aux technologies informatiques. Nous commencerons par définir ses concepts, ses enjeux et son importance capitale dans le processus de diagnostic. Ensuite, nous retracerons son parcours historique, des premiers systèmes experts des années 1970 à la transition vers l'intelligence artificielle moderne. La seconde partie du chapitre plongera au cœur des mécanismes techniques, en détaillant les algorithmes de machine learning et les technologies clés, comme le traitement du langage naturel et le deep learning, qui sont à la base des assistants diagnostiques actuels.

1 Fondements et Évolution de la Médecine Assistée par Ordinateur

Cette première section a pour objectif de poser les bases de la médecine assistée par ordinateur. Nous aborderons sa définition, ses enjeux fondamentaux, ainsi que son rôle crucial dans le diagnostic médical. Dans un second temps, nous retracerons son parcours historique pour comprendre l'évolution qui a mené aux systèmes d'aujourd'hui.

1.1 Présentation du domaine de la médecine assistée par ordinateur

1 Définition et enjeux

Médecine assistée par ordinateur (MAO) désigne l'ensemble des méthodes et technologies informatiques destinées à soutenir les professionnels de santé dans leurs activités cliniques, notamment le diagnostic, le traitement, la gestion et le suivi des patients. Elle s'appuie sur des systèmes capables de traiter, analyser et interpréter des données médicales complexes afin d'améliorer la prise de décision médicale[6]. Ces systèmes peuvent aller de simples bases de données et systèmes de gestion de dossiers médicaux électroniques à des systèmes experts sophistiqués utilisant l'intelligence artificielle (Intelligence Artificielle (IA)) et le Machine Learning (ML)[7].

Les enjeux majeurs de la MAO sont multiples :

- Améliorer la qualité des soins en réduisant les erreurs médicales souvent dues à des limitations humaines comme la surcharge d'information ou la fatigue.
- Accélérer le diagnostic pour des prises en charge plus rapides, cruciales notamment en situations d'urgence.
- Optimiser les ressources médicales en déchargeant les professionnels de tâches répétitives ou chronophages.
- Permettre un accès aux soins dans des zones à faible densité médicale grâce à des systèmes automatisés.
- Faciliter la recherche médicale par l'analyse de grandes quantités de données[2].

2 Importance dans le diagnostic médical

Le diagnostic médical est une étape critique et souvent complexe qui requiert la synthèse de nombreuses informations : symptômes, antécédents, résultats d'examens, etc. La médecine assistée par ordinateur joue un rôle fondamental pour aider les médecins à [8] :

- Réduire les erreurs diagnostiques, qui représentent une part importante des risques pour les patients.
- Gérer la complexité croissante des données : l'explosion des connaissances médicales rend difficile la maîtrise exhaustive par un professionnel.
- Soutenir les décisions dans des situations d'incertitude en fournissant des probabilités et des suggestions fondées sur l'analyse des données.
- Standardiser les diagnostics en proposant des critères objectifs basés sur des règles ou des modèles appris.

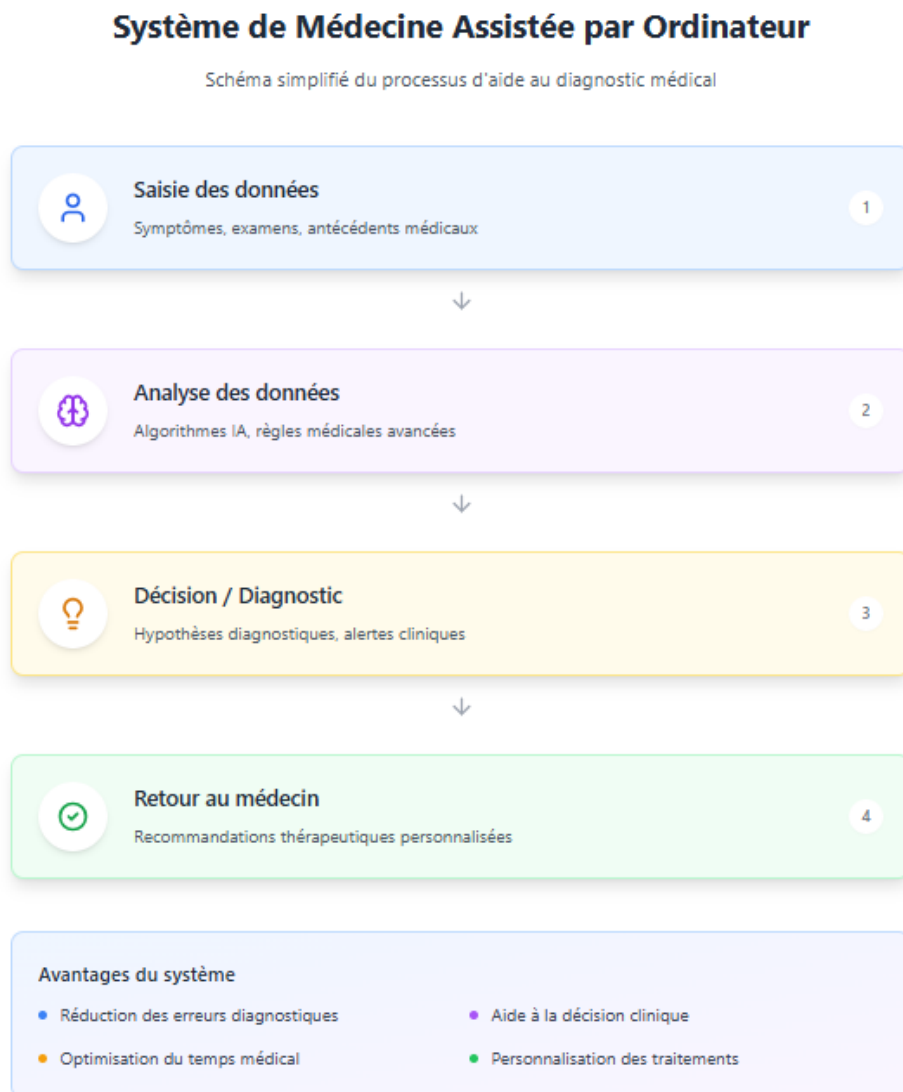


FIG. I.1 : Schéma simplifié d'un système de médecine assistée par ordinateur

Ce schéma illustre le fonctionnement basique d'un système d'aide au diagnostic : il reçoit les données cliniques, les analyse via des méthodes automatisées, puis produit des suggestions utiles au médecin.

3 Objectifs et bénéfices pour les professionnels de santé

Une étude menée par [Kohn et al., 2000] montre que les erreurs médicales sont la troisième cause de mortalité dans certains pays, et une part importante de ces erreurs sont liées à des fautes de diagnostic.[9]

L'objectif principal des systèmes de médecine assistée par ordinateur est de fournir un outil complémentaire au médecin, qui ne remplace pas le jugement clinique mais le complète. Les bénéfices sont :

- Gain de temps : l'outil automatise la collecte, l'organisation et la synthèse d'informations médicales.

- Aide à la décision : en proposant des diagnostics probables, des recommandations de traitement, ou des alertes sur des contre-indications.
- Formation continue : certains systèmes intègrent des fonctions pédagogiques, en expliquant les bases de leurs recommandations.
- Réduction de la charge cognitive : en diminuant la pression liée à la prise de décision rapide et à la gestion de volumes importants d'information.
- Amélioration de la coordination des soins : grâce à une meilleure gestion des données partagées entre professionnels.

Bénéfices	Description	Impact
Gain de temps	Automatisation de la collecte et de la synthèse d'infos	“Moins de charge de travail, plus de patients pris en charge”
Amélioration de la précision	Réduction des erreurs diagnostiques	Soins plus sûrs et efficaces
Aide à la décision	Suggestions basées sur des données et modèles	“Meilleure prise de décision, gestion des cas complexes”
Coordination des soins	Partage sécurisé des données entre professionnels	Fluidité dans le parcours patient

TAB. I.1 : Bénéfices clés des systèmes de médecine assistée par ordinateur pour les médecins

Ce tableau présente les quatre principaux bénéfices des systèmes de MAO. Chaque avantage, comme le gain de temps ou l'amélioration de la précision, est expliqué par sa fonction (ex : automatisation) et son impact final (ex : soins plus sûrs). Il démontre ainsi la valeur ajoutée de ces outils dans la pratique médicale quotidienne.

1.2 Historique et évolution des systèmes d'aide au diagnostic

1 Premiers systèmes experts

Les premiers systèmes d'aide au diagnostic médical sont apparus dans les années 1970, à l'époque où l'informatique médicale commençait à se structurer. Ces systèmes, appelés systèmes experts, reposaient sur des bases de connaissances codifiées manuellement sous forme de règles « si-alors », issues de l'expertise humaine. Le système MYCIN, développé au Stanford Research Institute, est l'un des exemples les plus célèbres. Il était destiné au diagnostic et au traitement des infections bactériennes et utilisait un moteur d'inférence pour évaluer les symptômes et recommander des traitements. MYCIN a démontré que l'informatique pouvait égaler voire dépasser la précision des médecins dans certains cas spécifiques. Cependant, ces systèmes présentaient plusieurs limites : ils étaient rigides,

difficiles à maintenir et à mettre à jour, et incapables d'apprendre à partir de nouvelles données. Leur domaine d'application était souvent très restreint et leur adoption clinique limitée [10].

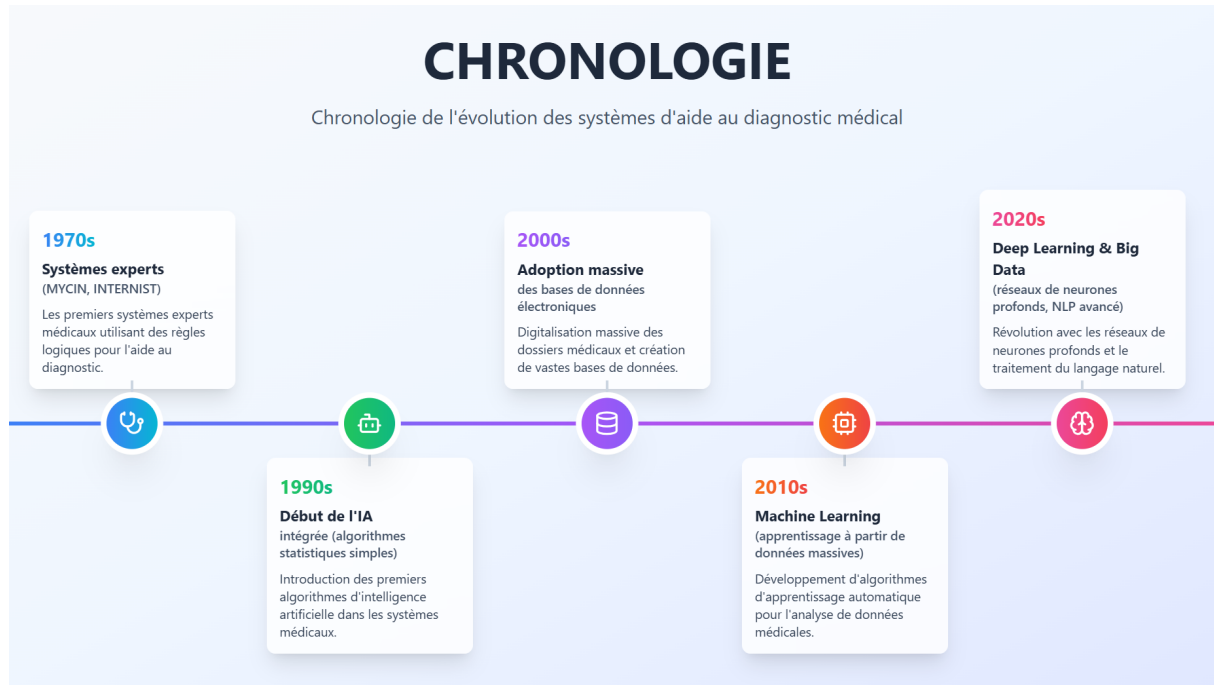


FIG. I.2 : Chronologie de l'évolution des systèmes d'aide au diagnostic médical

Cette chronologie illustre les étapes clés de l'évolution des systèmes d'aide au diagnostic médical. Elle montre la progression depuis les premiers systèmes experts des années 1970, basés sur des règles, jusqu'aux approches modernes de deep learning des années 2020. L'infographie souligne le rôle pivot de la digitalisation massive des données dans les années 2000, qui a permis l'essor de l'apprentissage automatique.

2 Passage à l'intelligence artificielle et au machine learning

Avec l'augmentation de la puissance de calcul et la disponibilité croissante des données médicales, la fin du XXe siècle et le début du XXIe ont vu une transition vers des systèmes plus intelligents, capables d'apprendre et d'évoluer[11]. L'intelligence artificielle (IA), et plus spécifiquement le machine learning (ML), ont permis de dépasser les limites des systèmes experts classiques. Au lieu de coder manuellement des règles, les algorithmes apprennent directement à partir de données d'entraînement, ce qui permet de modéliser des relations complexes et non linéaires dans les données médicales. Cette évolution a notamment permis de développer des outils capables de traiter de grandes quantités d'informations hétérogènes, comme les images médicales, les données textuelles, ou les signaux biologiques. Les réseaux de neurones profonds, en particulier, ont révolutionné le domaine grâce à leur capacité à extraire automatiquement des caractéristiques pertinentes, améliorant considérablement la performance des systèmes d'aide au diagnostic.

Critères	Systèmes experts	Systèmes modernes
Mode de fonctionnement	Règles codées manuellement	Apprentissage automatique sur données
Capacité d'adaptation	Faible	Élevée
Domaine d'application	Spécialisé, limité	Large, multidisciplinaire
Maintenance	Complexe, coûteuse	Évolutive avec nouveaux jeux de données
Précision	Bonne dans un domaine restreint	Très bonne, dépend de la qualité des données
Interaction utilisateur	Interfaces basiques	Interfaces avancées (NLP, visualisation)

TAB. I.2 : Comparaison des systèmes experts classiques et des systèmes modernes d'aide au diagnostic

Ce tableau met en opposition les systèmes d'aide au diagnostic classiques (systèmes experts) et les approches modernes basées sur l'intelligence artificielle. Il compare les deux générations selon des critères clés comme le mode de fonctionnement, la capacité d'adaptation et la maintenance. La comparaison souligne la supériorité des systèmes modernes, qui remplacent les règles manuelles rigides par un apprentissage automatique flexible et évolutif.

3 Impact des progrès technologiques

Les progrès technologiques ont été déterminants dans l'évolution des systèmes d'aide au diagnostic :

- Puissance de calcul : Le développement des processeurs graphiques (GPU) et des architectures cloud a permis de traiter en temps réel des volumes massifs de données[3].
- Big Data : L'accumulation de bases de données médicales électroniques, issues d'hôpitaux et de centres de recherche, a fourni le carburant nécessaire à l'entraînement des algorithmes d'IA[12].
- Interfaces utilisateur avancées : Le développement d'interfaces plus intuitives, souvent basées sur le traitement du langage naturel (NLP), facilite l'interaction entre médecins et systèmes intelligents[1].
- Normes et réglementation : L'émergence de normes pour la sécurité et la confidentialité des données de santé a favorisé une adoption plus large et responsable de ces technologies[13].

Grâce à ces avancées, les systèmes d'aide au diagnostic actuels sont plus performants, adaptatifs et accessibles, contribuant de manière significative à l'amélioration des pratiques médicales.

2 Technologies et Méthodologies de l'Intelligence Artificielle en Santé

Après avoir vu l'historique, nous allons maintenant détailler le fonctionnement interne des systèmes d'aide au diagnostic modernes. Cette partie est consacrée aux méthodologies de l'intelligence artificielle et du machine learning. Elle explore les concepts de base, leurs applications, ainsi que les technologies et les frameworks logiciels qui soutiennent ces innovations.

2.1 Intelligence artificielle et machine learning appliqués à la santé

1 Concepts clés de l'IA et du ML

L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui vise à créer des systèmes capables d'effectuer des tâches qui requièrent normalement l'intelligence humaine, comme le raisonnement, la reconnaissance de formes, la compréhension du langage naturel ou la prise de décision. L'IA englobe plusieurs techniques, dont le machine learning (ML), qui est une sous-catégorie consistant à apprendre automatiquement des modèles à partir de données sans être explicitement programmé pour chaque tâche. Le machine learning se base sur des algorithmes capables d'identifier des patterns dans les données et d'en déduire des règles générales. Il existe plusieurs types d'apprentissage : supervisé (où les données sont étiquetées), non supervisé (où les données ne sont pas étiquetées), et par renforcement (où un agent apprend par essais et erreurs). Le deep learning, une branche du ML, utilise des réseaux de neurones profonds (multi-couches) pour modéliser des relations complexes. Cette technique est particulièrement efficace pour traiter des données non structurées telles que des images, des sons ou du texte[14].

2 Applications spécifiques en diagnostic médical

L'IA et le ML ont révolutionné le diagnostic médical en permettant d'analyser rapidement des volumes importants de données hétérogènes, souvent difficilement exploitables par un humain seul. Parmi les applications clés, on trouve :

- Analyse d'imagerie médicale : détection de tumeurs, anomalies sur radiographies, IRM, scanners grâce au deep learning. Par exemple, l'identification précoce de cancers du sein ou du poumon.
- Diagnostic assisté par les symptômes : systèmes capables d'interpréter des descriptions textuelles ou orales des symptômes pour suggérer des diagnostics probables.
- Prédiction des risques : évaluation du risque de maladies chroniques ou complications en analysant les données historiques et génétiques des patients[15].
- Aide à la décision thérapeutique : recommandations personnalisées basées sur des modèles prédictifs.

Ces applications améliorent la rapidité et la précision du diagnostic, facilitent la médecine personnalisée et contribuent à des soins plus adaptés.

3 Exemples d'algorithmes et méthodes

Plusieurs algorithmes et méthodes sont couramment utilisés dans les systèmes d'IA pour la santé :

- Arbres de décision : modélisent des choix successifs basés sur les caractéristiques des patients[16].
- Forêts aléatoires (Random Forests) : ensembles d'arbres de décision pour améliorer la robustesse[17].
- Support Vector Machines (SVM) : classifient les données en maximisant la marge entre catégories[18].
- Réseaux de neurones artificiels (Artificial Neural Network (ANN)) : imitent le fonctionnement des neurones biologiques, avec des couches multiples dans le deep learning[19].
- K-means, clustering : techniques non supervisées pour regrouper des données similaires[20].
- Traitement du langage naturel (NLP) : extraction d'information à partir de textes médicaux, transcription de notes cliniques, dialogue interactif[21].
- Apprentissage par renforcement : optimisation des stratégies dans des contextes dynamiques, comme la gestion de traitements[22].

Ces méthodes sont souvent combinées pour créer des systèmes hybrides capables de traiter différents types de données et de fournir des résultats fiables.

Algorithme	Description	Avantages	Limites	Applications typiques
Arbres de décision	Modèles hiérarchiques de règles de décision	Facile à comprendre et à interpréter	Sensible au sur-apprentissage	Classification de maladies, diagnostics simples
Forêts aléatoires	Ensemble d'arbres de décision pour robustesse	Bonne précision, résistant au bruit	Moins interprétable	Prédiction de risques, classification
Support Vector Machines	Trouve la meilleure séparation entre classes	Efficace pour petits jeux de données	Complexe pour données très volumineuses	Détection de maladies, imagerie médicale
Réseaux de neurones (ANN)	Modèle inspiré du cerveau humain	Capable de modéliser relations complexes	Boîte noire, nécessite beaucoup de données	Imagerie médicale, NLP, prédiction
Deep Learning	Réseaux de neurones profonds avec couches multiples	Très performant sur données non structurées	Exigeant en calcul et données	Reconnaissance d'images, diagnostics complexes
K-means (clustering)	Regroupement non supervisé de données	Simple et rapide	Difficulté à choisir le nombre de clusters	Segmentation de patients, analyse exploratoire
Traitement du langage naturel (NLP)	Analyse du texte et du langage oral	Permet interaction naturelle	Complexité du langage médical	Analyse des notes cliniques, assistants vocaux

TAB. I.3 : Comparaison des algorithmes d'intelligence artificielle en santé

Ce tableau comparatif présente une sélection des principaux algorithmes d'intelligence artificielle utilisés dans le secteur de la santé. Pour chaque méthode, de l'arbre de décision au deep learning, il détaille sa description, ses avantages, ses limites ainsi que ses applications typiques. L'objectif est de fournir un aperçu clair des outils disponibles et de leurs caractéristiques respectives pour les tâches médicales[23].

2.2 Technologies clés utilisées dans les assistants intelligents médicaux

1 Traitement du langage naturel (NLP)

Le traitement automatique du langage naturel (NLP) est une technologie essentielle dans les assistants intelligents, car une grande partie des informations médicales provient de descriptions en langage naturel, que ce soit les symptômes exprimés par les patients ou les notes cliniques rédigées par les médecins. Le NLP permet de comprendre, d'extraire et de structurer ces données textuelles pour qu'elles soient exploitables par les algorithmes. Les tâches courantes du NLP en santé comprennent :

- La reconnaissance des entités médicales (maladies, symptômes, médicaments)
- L'analyse des relations entre ces entités
- La classification des documents médicaux
- La génération automatique de rapports ou réponses dialoguées
- La détection d'ambiguïtés et la gestion du contexte médical spécifique.

Le NLP utilise des techniques variées, allant des approches statistiques classiques aux modèles de langage basés sur les réseaux de neurones profonds, comme les modèles transformer (ex : BERT, GPT)[24].

2 Deep learning et reconnaissance d'images

Le deep learning est une branche du machine learning qui utilise des réseaux de neurones artificiels profonds. Il est particulièrement performant pour la reconnaissance d'images médicales (radiographies, IRM, scanners), permettant de détecter automatiquement des anomalies, comme des tumeurs ou des fractures, avec une précision comparable à celle des experts humains[25]. Les architectures fréquemment utilisées incluent :

- Les réseaux convolutifs (Convolutional neural network (CNN)) pour l'analyse d'images
- Les réseaux récurrents (Recurrent neural network (RNN)) pour le traitement de séquences temporelles (ex : Electrocardiogram (ECG))
- Les modèles hybrides combinant plusieurs types de réseaux.

Ces techniques permettent aussi d'améliorer le diagnostic en combinant plusieurs sources de données multimodales (images, texte, données biologiques).

3 Outils et frameworks technologiques

Le développement des assistants intelligents s'appuie sur des outils et frameworks logiciels puissants, facilitant l'implémentation des algorithmes IA :

- TensorFlow[**tensorflow**] et PyTorch[26] : bibliothèques open-source pour le deep learning, offrant flexibilité et performance.
- scikit-learn[27] : bibliothèque Python pour la machine learning traditionnel.

- spaCy[28] et NLTK[29] : outils dédiés au NLP, permettant le prétraitement et l'analyse linguistique.
- Keras[30] : Application Programming Interface (API) haut niveau pour construire et entraîner rapidement des réseaux de neurones.
- Docker[31] et Kubernetes[32] : pour le déploiement et la gestion scalable des applications en production.
- FHIR (Fast Healthcare Interoperability Resources)[33] : norme facilitant l'échange sécurisé des données médicales entre systèmes.

Ces technologies accélèrent le développement, améliorent la maintenance et facilitent l'intégration dans les infrastructures de santé existantes.

3 Conclusion

Le contexte médical actuel, marqué par la complexité croissante des données et la nécessité d'un diagnostic rapide et précis, fait de la médecine assistée par ordinateur un domaine essentiel. Les avancées en intelligence artificielle, notamment le machine learning et le traitement du langage naturel, ont permis le développement d'assistants intelligents offrant un réel soutien aux professionnels de santé. Cependant, malgré ces progrès, plusieurs limites subsistent dans les solutions existantes, ouvrant la voie à des systèmes plus adaptés, fiables et intégrés[34]. Ce constat justifie pleinement l'ambition du projet SHIFAI, visant à proposer un assistant intelligent innovant au service du diagnostic médical.

CHAPITRE

II

ETUDE DE L'EXISTANT

Introduction

Ce chapitre propose une analyse critique et approfondie de l'état de l'art des assistants intelligents pour le diagnostic médical, une étape indispensable pour valider la pertinence et l'originalité de notre projet. L'objectif est de dépasser une simple description pour comprendre les dynamiques du marché, les stratégies des acteurs clés et les retours d'expérience des utilisateurs, qu'ils soient patients ou professionnels de santé. Nous examinerons donc en détail plusieurs solutions leaders, en évaluant non seulement leurs capacités techniques, mais aussi leurs forces et faiblesses en contexte réel. Cette étude comparative mettra en lumière les lacunes fonctionnelles, les défis d'intégration et les verrous technologiques actuels. C'est sur la base de ce constat que nous pourrons ensuite définir un positionnement clair et une feuille de route pertinente pour le développement de SHIFAI.

1 Étude de cas des solutions internationales

Pour établir une base de comparaison, nous analysons ici trois archétypes de solutions qui dominent le marché mondial, en évaluant leurs promesses technologiques et la réalité de leur déploiement sur le terrain.

1.1 IBM Watson Health : L'approche B2B

1 Présentation et technologies

Watson Health représente l'approche *top-down* de l'IA médicale, ciblant les grands établissements hospitaliers (B2B) avec la promesse d'analyser des volumes de données surhumains (publications, DME, données génomiques) grâce à un puissant moteur NLP et deep learning de pointe. Son application phare, « Watson for Oncology », vise à fournir des recommandations de traitement personnalisées [35].

2 Cas d'intégration et réalité du terrain

L'application la plus emblématique de Watson a été en oncologie, où il promettait d'aider les médecins à choisir le meilleur traitement en analysant le profil du patient par rapport à toute la littérature médicale existante. Cependant, les retours d'expérience, notamment le célèbre cas du *MD Anderson Cancer Center*, ont mis en lumière des défis majeurs :

- **Interopérabilité** : Des difficultés techniques extrêmes pour s'intégrer à des systèmes hospitaliers hétérogènes et vieillissants.
- **Qualité des données** : Le principe « Garbage in, garbage out » s'est appliqué ; la performance de Watson était directement limitée par la qualité et la standardisation des données des DME.
- **Adoption par les médecins** : Une forte résistance au changement et un manque de confiance envers les recommandations d'une « boîte noire », perçue comme un concurrent plutôt qu'un assistant.

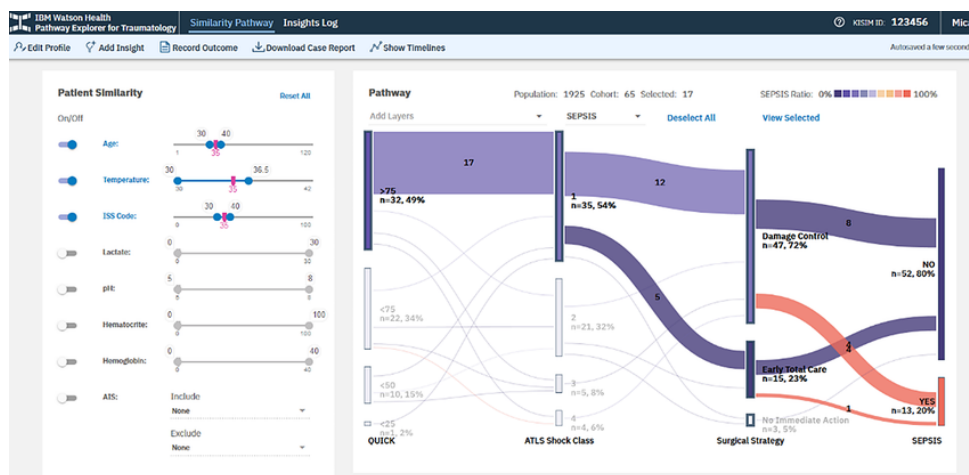


FIG. II.1 : Exemple d'utilisation de l'explorateur IBM Watson Health TRAUMA

Schéma fonctionnel de l'interface de l'explorateur IBM Watson Health TRAUMA, montrant les étapes de sélection du patient, de choix du traitement et de visualisation des pronostics[36].

3 Bilan et pertinence pour l'Algérie

Conclusion pour l'Algérie : Le modèle Watson est actuellement **inadapté et irréaliste** pour une application à large échelle en Algérie. Ses avantages potentiels sont éclipsés par des obstacles rédhibitoires.

- **Avantages théoriques** : Dans un cadre très limité (un ou deux centres d'excellence nationaux), il pourrait aider à combler le fossé avec les standards internationaux de recherche.
- **Obstacles majeurs** :

- *Le prérequis des données* : Le système de santé algérien souffre d'un manque criant de DME standardisés. Sans ce « carburant », Watson est inopérant.
- *Coût et infrastructure* : Le coût de licence et d'implémentation est hors de portée pour la majorité des établissements publics.
- *Risque d'une médecine à deux vitesses* : Son déploiement créerait une fracture sanitaire énorme entre une élite et le reste du pays.

1.2 Ada Health & Babylon Health : L'approche B2C

1 Présentation et technologies

À l'opposé de Watson, des acteurs comme Ada Health et Babylon Health ciblent le grand public (B2C). Leur objectif est de servir de « porte d'entrée » numérique au système de santé via des chatbots d'évaluation de symptômes. Ils utilisent des moteurs d'inférence (souvent des réseaux bayésiens) et du NLP. Babylon se distingue par son modèle *phygital* (physique + digital), combinant le chatbot à une plateforme de téléconsultation [37],[38].

2 Cas d'intégration et réalité du terrain

Leur succès en Europe repose sur leur capacité à offrir un premier niveau de triage 24/7, désengorgeant les cabinets de généralistes et les urgences. Le partenariat de Babylon avec le service de santé britannique (NHS) est emblématique de cette stratégie, malgré des controverses sur la sélection des patients et la privatisation des soins.

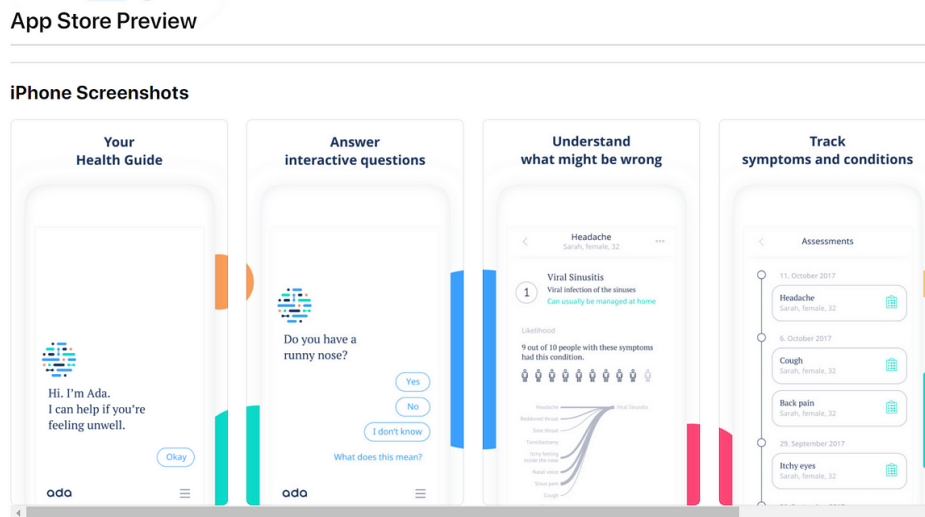


FIG. II.2 : Captures d'écran de l'interface principale de l'application d'aide au diagnostic Ada Health.

Cette figure présente quatre captures d'écran de l'application mobile Ada Health, illustrant son parcours utilisateur. Le processus va de l'accueil par le chatbot (1) au questionnaire interactif sur les symptômes (2), puis à la présentation d'une évaluation des causes possibles (3) et enfin au suivi de l'historique des consultations (4)[39].

3 Bilan et pertinence pour l'Algérie

Conclusion pour l'Algérie : Le modèle B2C présente un **potentiel très élevé** mais nécessite des adaptations profondes pour être viable.

- **Avantages potentiels :**

- *Lutte contre les déserts médicaux :* Un outil de triage pourrait fournir un conseil de premier niveau crucial dans les zones à faible densité médicale.
- *Désengorgement des urgences :* Les services d'urgence algériens étant chroniquement surchargés, un triage efficace pourrait optimiser les ressources.
- *Accessibilité :* Le taux de pénétration des smartphones en Algérie rend ces solutions technologiquement accessibles.

- **Obstacles majeurs :**

- *Le goulet d'étranglement de l'infrastructure :* L'application peut recommander de « voir un médecin », mais le patient se heurte ensuite aux réalités du système de santé (délais, manque de spécialistes).
- *Confiance et régulation :* L'acceptation d'un diagnostic par une machine et l'absence de cadre réglementaire clair en Algérie pour ces outils sont des freins importants.

Assistant	Fonctionnalités principales	Avantages	Limitations
IBM Watson Health	Analyse avancée de données médicales, recommandations thérapeutiques, intégration avec dossiers patients	Puissance de calcul élevée, accès à une base de connaissances étendue	Coût élevé, complexité d'intégration, dépendance aux données
Ada Health	Questionnaire interactif, diagnostic préliminaire, interface mobile conviviale	Facile d'utilisation, accessible au grand public	Moins adapté aux cas complexes, précision variable
Babylon Health	Téléconsultations, chatbot médical, suivi personnalisé	Accessibilité 24/7, interaction en temps réel	Dépendance à la connexion internet, limites dans le diagnostic automatique

TAB. II.1 : Comparaison des assistants intelligents médicaux

Ce tableau récapitule notre étude de cas en mettant en contraste les trois archétypes de solutions sur le marché : la plateforme B2B de haute complexité (IBM Watson), l'application de triage grand public (Ada Health) et le service hybride de téléconsultation

(Babylon Health). La comparaison de leurs fonctionnalités, avantages et limites respectifs illustre clairement les différents compromis stratégiques et technologiques du secteur.

2 Analyse comparative et synthèse pour le contexte algérien

2.1 Tableau de synthèse comparative

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques des principales solutions étudiées, mettant en lumière le clivage entre les approches B2B (haute complexité, forte intégration) et B2C (grande accessibilité, faible intégration clinique)[40].

Applica- tion	Public cible	Fonctionnali- tés clés	Intégra- tion clinique	Technologies utilisées	Limites principales
IBM Watson Health	Profession- nels	Diagnostic complexe, traitement personnalisé	Forte mais complexe	NLP, Deep learning, Big Data	Coût, intégration, précision variable
Ada Health	Grand public	Questionnaire interactif, diagnostics préliminaires	Faible	NLP, modèles probabilistes	Précision, gestion cas complexes
Babylon Health	Grand public + pros	Chatbot + téléconsultations	Moyenne	NLP, IA pour triage	Fiabilité chatbot, réglementation

TAB. II.2 : Analyse comparative des solutions existantes

Pour conclure ce panorama, le tableau ci-dessus récapitule notre étude de l'état de l'art en comparant les solutions selon plusieurs axes stratégiques et techniques. Il met en lumière la manière dont le public cible (professionnels ou grand public) influence directement les fonctionnalités, le niveau d'intégration et les choix technologiques de chaque plateforme. Cette analyse transversale expose clairement les forces, les faiblesses et le positionnement distinct de chaque modèle étudié.

2.2 Défis et opportunités spécifiques au marché algérien

L'analyse des solutions internationales à travers le prisme algérien met en lumière des enjeux spécifiques qui définissent les conditions de réussite d'un projet local.

1. **L'opportunité du « Mobile-First »** : Contrairement aux pays occidentaux héritant de systèmes informatiques hospitaliers lourds, l'Algérie a l'opportunité de « sauter une étape » (*leapfrogging*) en développant directement des solutions centrées sur le mobile, qui correspond mieux aux usages de la population.
2. **Le besoin critique de systèmes de triage** : Plus que des outils d'aide au diagnostic pour cas complexes, le besoin le plus pressant en Algérie se situe au niveau du

trriage et de l'orientation des patients pour optimiser l'usage des ressources médicales rares et centralisées.

3. **Le défi de la donnée, un enjeu de souveraineté** : Le manque de DME standardisés est le principal frein technique. La création de telles bases de données est un projet d'infrastructure nationale qui soulève des questions de souveraineté : où et comment héberger les données de santé des citoyens algériens de manière sécurisée ?
4. **La nécessité de l'IA « frugale » et explicable** : Les modèles lourds et coûteux étant inadaptés, le marché algérien est propice au développement de solutions d'IA *frugales* : des modèles plus légers, moins gourmands en données et en puissance de calcul, et surtout explicables pour gagner la confiance des médecins locaux.

3 Étude comparative et sélection des technologies d'IA pour le projet SHIFAI

L'analyse comparative présentée dans cette section s'appuie sur une étude de fond préalablement menée par l'un des membres de notre équipe, Ghennou Abdelhadi. Ce travail de recherche a fait l'objet d'une présentation intitulée « Assessing the Effectiveness of AI Models in Medical Diagnosis : A Comparative Study » lors de la 9^{ème} Conférence Annuelle sur les Enjeux Mondiaux (9th Annual Global Issues Conference). Organisée par l'Université de Caroline de l'Est (East Carolina University) le 11 avril 2025, cette conférence a permis de valider la rigueur de l'analyse. Ce chapitre détaille donc les résultats de cette étude afin de sélectionner le socle technologique le plus pertinent pour le projet SHIFAI.



FIG. II.3 : Certificat attestant de la présentation de l'étude comparative lors de la conférence GIC 2025.

3.1 Analyse comparative des API d'IA pour le diagnostic médical

1. Google Gemini

Avantages

Multimodalité : Capable de traiter du texte, des images (y compris des scans médicaux), de l'audio et des vidéos[41].

Personnalisation possible via Vertex AI pour affiner les modèles selon vos besoins médicaux.

Intégration facile avec Google Cloud Healthcare API.

Supporte le raisonnement avancé et le NLP (Traitement du Langage Naturel) pour comprendre les résumés médicaux.

Inconvénients

Pas spécifiquement conçu pour le médical (contrairement aux API spécialisées).

Risque de non-conformité HIPAA/RGPD si utilisé sans précautions.

Nécessite une configuration avancée pour être adapté à un diagnostic médical fiable.

2. Google Healthcare Natural Language API

Avantages

API spécialisée pour extraire des entités médicales (maladies, médicaments, traitements...).

Interopérabilité avec Google Cloud Healthcare pour stocker les données médicales de façon sécurisée.

Meilleure conformité HIPAA/RGPD que Gemini[42].

Inconvénients

Moins flexible que Gemini (uniquement pour le NLP médical, ne traite pas d'images ou d'audio).

Ne propose pas de diagnostic, uniquement l'extraction d'informations.

3. Amazon Comprehend Medical

Avantages

API spécialisée pour analyser et comprendre les documents médicaux[43].

Compatible avec AWS pour stockage et traitement sécurisé des données.

Certifié HIPAA, donc sécurisé pour le domaine médical.

Inconvénients

Moins personnalisable que Gemini (basé sur des modèles pré-entraînés).

Ne propose pas d'analyse multimodale (uniquement texte).

4. IBM Watson Health

Avantages

API avancée pour analyse cognitive des textes médicaux.

Capable de croiser des données médicales avec des bases de données de recherche.

Sécurisé et conforme HIPAA[44].

Inconvénients

Coût élevé comparé aux autres solutions.

Intégration complexe pour les petites applications.

5. Microsoft Azure Health Bot

Avantages

API axée sur l'interaction médicale et l'aide au diagnostic.

Compatible avec les dossiers médicaux électroniques (EHR).

Conforme HIPAA/GDPR et sécurisé[45].

Inconvénients

Ne permet pas une analyse complète de bilans médicaux complexes (plus orienté chatbot médical).

API	NLP Médical (Text)	Analyse Multimodale (Images, Audio)	Prédiction / Diagnostic	Sécurisé HIPAA/ RGPD	Personnalisation
Google Gemini	Oui	Oui	Partiel*	Non garanti	Très flexible
Google Healthcare NLP	Oui	Non	Non	Oui	Limité
Amazon Comprehend Medical	Oui	Non	Non	Oui	Pré-entraîné
IBM Watson Health	Oui	Non	Oui	Oui	Personnalisable
Microsoft Azure Health Bot	Oui	Non	Basique	Oui	Pré-configuré

TAB. II.3 : Tableau récapitulatif de comparaison des API d'IA Médicale

Ce tableau récapitule notre analyse comparative des API d'IA médicale. Il évalue chaque solution sur cinq axes majeurs, incluant ses capacités d'analyse, son potentiel diagnostique, sa sécurité et sa flexibilité. Il offre ainsi une vue d'ensemble claire des avantages et des inconvénients de chaque option technologique étudiée.

3.2 Conclusion et choix technologique pour le projet SHIFAI

À l'issue de cette analyse comparative, le modèle Google Gemini se distingue comme la technologie de base la plus prometteuse et la plus adaptée pour le développement initial du projet SHIFAI. Ce choix stratégique est principalement motivé par ses atouts décisifs en matière de multimodalité et de flexibilité. La capacité de traiter nativement du texte, des images et d'autres types de données, combinée à la personnalisation avancée via Vertex AI, offre le socle le plus puissant pour construire un assistant de diagnostic véritablement intelligent et évolutif.

Nous sommes conscients des limites de Gemini, notamment son caractère non spécialisé et les enjeux de conformité réglementaire. Ces aspects ne sont pas des freins rédhibitoires, mais des défis d'ingénierie et de configuration que le projet devra adresser rigoureusement lors de la phase de développement, en mettant en place les garde-fous techniques et procéduraux nécessaires pour garantir la fiabilité et la sécurité.

Il est important de souligner que ce choix représente un point de départ pragmatique et non une architecture figée. Pour l'avenir, nous envisageons une architecture hybride et modulaire où le moteur de raisonnement basé sur Gemini pourrait être complété par des API spécialisées, comme Google Healthcare NLP, pour des tâches ciblées comme l'extraction d'entités médicales. Cette approche permettra, à terme, de combiner la puissance d'un modèle généraliste avec la robustesse des outils spécialisés, assurant ainsi l'évolutivité et la performance à long terme de SHIFAI.

4 Conclusion

Ce chapitre a mené une étude approfondie de l'état de l'art des assistants médicaux intelligents, non seulement pour comprendre le marché mondial mais aussi pour évaluer sa pertinence dans le contexte algérien. L'analyse des solutions internationales comme IBM Watson ou Ada Health a révélé une dichotomie claire : les systèmes B2B complexes sont puissants mais inadaptés à notre infrastructure, tandis que les approches B2C mobiles montrent un immense potentiel pour le triage et l'amélioration de l'accès aux soins, à condition d'une adaptation linguistique et culturelle. Cette étude a souligné que le besoin local prioritaire n'est pas le diagnostic de cas rares, mais l'orientation efficace des patients. En se basant sur une recherche comparative des technologies d'IA, validée académiquement, une décision stratégique a été prise pour le projet SHIFAI. Nous avons opté pour une architecture hybride, combinant la flexibilité et la puissance multimodale d'un modèle généraliste comme Google Gemini pour le raisonnement, avec la fiabilité d'API spécialisées pour le traitement initial des données. Ce choix pragmatique et modulaire offre un socle robuste pour le développement initial, tout en garantissant la capacité de SHIFAI à évoluer vers des implémentations plus complexes à l'avenir.

CHAPITRE

III

ANALYSE ET CONCEPTION DU SYSTÈME DE SHIFAI

Introduction

Après avoir étudié l'existant, nous avons identifié les fonctionnalités de notre système, ce qui nous a permis d'établir les spécifications des besoins et de définir les exigences fonctionnelles et non fonctionnelles pour mettre en place un système efficace de gestion des activités sur la plateforme SHIFAI. Dans ce chapitre, nous pouvons ensuite passer à la conception de notre système, qui nous aidera à organiser notre processus de gestion des utilisateurs, des dossiers patients, des diagnostics et des réclamations de manière optimale. Pour cela, nous avons choisi de recourir à la conception Unified Modeling Language (UML) pour élaborer des diagrammes pertinents en vue de la création de notre application web.

1 Analyse du système de gestion sur la plateforme SHIFAI

1.1 Les acteurs de notre projet

Dans notre analyse et conception de ce système, nous distinguons principalement 3 acteurs :

- **Visiteur** : Utilisateur non authentifié qui peut consulter la landing page de la plateforme pour obtenir des informations de base.
- **L'Administrateur** : Responsable de la gestion globale du système, avec des droits d'administration sur les utilisateurs, les abonnements, les contenus de la landing page, les statistiques, ainsi que la gestion des feedbacks et réclamations.

- **Médecin** : Utilisateur connecté qui gère les dossiers patients, crée et modifie des dossiers, analyse les données et génère des diagnostics, consulte l'historique des diagnostics, ajoute des antécédents médicaux, examens cliniques et documents médicaux, et consulte les résultats.

1.2 Les exigences de notre système

1 Exigences fonctionnelles

Gestion des utilisateurs et accès :

- Le visiteur peut consulter la landing page sans authentification.
- Le système doit permettre l'enregistrement et la connexion des utilisateurs (médecins et administrateurs) avec confirmation par email.
- Le médecin peut modifier les informations du compte (numéro, adresse, ...ect).
- L'administrateur peut gérer les comptes utilisateurs (création, modification, suppression).
- L'administrateur peut gérer les abonnements des utilisateurs.
- L'administrateur peut accéder aux statistiques d'utilisation de la plateforme.
- L'administrateur peut gérer le contenu de la landing page.
- L'administrateur peut traiter les feedbacks et réclamations envoyés par les utilisateurs.

Gestion des dossiers médicaux :

- Le médecin peut créer, modifier et supprimer les dossiers patients.
- Le médecin peut analyser les données des patients et générer des diagnostics.
- Le médecin peut consulter l'historique des diagnostics pour chaque patient.
- Le médecin peut ajouter des antécédents médicaux, examens cliniques aux dossiers patients.
- Le médecin peut consulter les résultats des examens et diagnostics.
- Le médecin peut faire un diagnostic basé sur les données et antécédents médicaux.

Gestion des témoignages et réclamations :

- Le médecin peut faire un témoignage.
- Le médecin peut envoyer des remarques ou réclamations au administrateurs de SHIFAI.
- L'administrateur peut traiter ces réclamations et témoignages.

2 Exigences non fonctionnelles

- **Disponibilité** : Le système doit être accessible 24/7 pour les médecins et administrateurs.
- **Sécurité** : L'authentification doit être sécurisée avec une confirmation par email pour éviter les accès non autorisés.
- **Fiabilité** : Les données médicales doivent être sauvegardées et protégées contre les pertes et erreurs.
- **Utilisabilité** : L'interface doit être claire, intuitive et adaptée aux besoins spécifiques des médecins et administrateurs.
- **Confidentialité** : Les données médicales des patients doivent être strictement protégées conformément aux réglementations en vigueur[46].

2 Conception

Pour créer notre application, nous avons suivi la méthode Rational Unified Process (RUP) (Rational Unified Process), une méthode itérative et incrémentale qui cadre le développement logiciel en cycles précis. Nous avons utilisé UML pour modéliser notre système, notamment à travers des diagrammes de cas d'utilisation, qui représentent clairement les interactions entre les acteurs (visiteur, médecin, administrateur) et les différentes fonctionnalités du système[47]. Cette approche nous permet de structurer efficacement les besoins et d'assurer une conception robuste et évolutive de la plateforme SHIFAI.

Pour assurer une modélisation complète et précise de notre système, nous avons choisi ces trois diagrammes UML complémentaires, chacun répondant à un aspect clé du développement et de la compréhension du système :

- Le **diagramme de cas d'utilisation** offre une vue d'ensemble fonctionnelle du système du point de vue des utilisateurs. Il facilite la communication entre les parties prenantes, notamment les développeurs, les utilisateurs finaux et les gestionnaires de projet, en illustrant clairement les besoins et les attentes en termes d'interactions avec le système.
- Le **diagramme de classes** permet de détailler la structure statique du système. En représentant les différentes classes, leurs attributs, méthodes et les relations qui les lient (association, héritage, agrégation, composition), ce diagramme sert de base à la conception technique et au développement orienté objet. Il clarifie l'architecture logicielle et guide la mise en œuvre.
- Le **diagramme de séquence** apporte une vision dynamique des interactions entre les acteurs et les composants du système. Il illustre le déroulement temporel des échanges d'informations lors de l'exécution d'un scénario particulier, mettant en évidence les messages échangés, les appels de méthodes et les réponses. Ce diagramme est essentiel pour comprendre et valider le comportement du système face à différents cas d'utilisation.

Ces outils de modélisation UML sont essentiels pour garantir une conception cohérente, évolutive et adaptée aux exigences fonctionnelles et non fonctionnelles de notre plateforme.

Ils facilitent aussi la maintenance et l'évolution future du système en fournissant une documentation claire et standardisée.

2.1 Diagrammes de Cas d'Utilisation

Pour définir clairement les fonctionnalités de SHIFAI et les interactions avec ses utilisateurs, nous avons d'abord modélisé les besoins à l'aide d'un diagramme de cas d'utilisation. Cet outil nous a été essentiel pour valider notre compréhension des exigences avec notre encadrante et pour structurer le développement.

Un diagramme de cas d'utilisation met en lumière les échanges entre un système informatique et les divers acteurs qui y interviennent. Ces acteurs peuvent être humains ou machines, et utilisent des cas d'utilisation spécifiques pour accomplir des tâches ou obtenir certains résultats via le système. Le diagramme montre donc les liens entre les acteurs et les cas d'utilisation, ainsi que la manière dont le système répond à chacune de ces interactions. Les cas d'utilisation ont pour rôle de décrire comment les utilisateurs interagissent avec le système, en se concentrant sur les tâches réalisées et les résultats attendus. Ils permettent ainsi d'organiser les besoins des utilisateurs et les objectifs du système, en offrant une description claire et détaillée des fonctionnalités à fournir. En résumé, les Use Case (Cas d'utilisation) (UC) donnent une vue d'ensemble des interactions possibles entre les utilisateurs et le système, facilitant la compréhension des exigences et des contraintes à considérer lors de la conception et du développement du système.

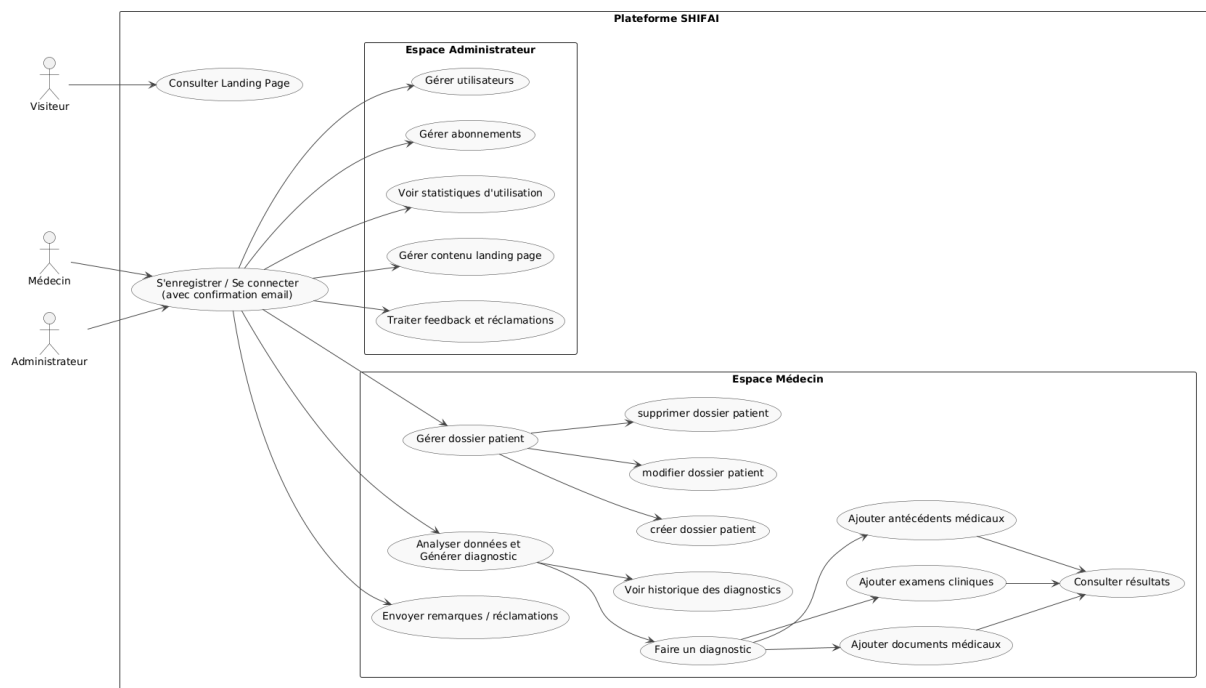


FIG. III.1 : Use case de la plateforme SHIFAI

Élément	Description
Acteurs	Visiteur, administrateur, médecin
Préconditions	• L'utilisateur dispose d'une connexion internet. • L'utilisateur n'est pas encore connecté. • L'utilisateur possède une adresse email valide.
Post-conditions	• L'utilisateur est authentifié et connecté. • Le compte est activé après confirmation par email. • Accès aux fonctionnalités selon le rôle.
Scénario nominal	1. L'utilisateur accède à la page d'inscription/connexion. 2. Remplissage du formulaire ou saisie des identifiants. 3. Envoi du mail de confirmation (inscription). 4. L'utilisateur clique sur le lien de confirmation. 5. Activation du compte. 6. Connexion réussie. 7. Affichage de l'espace utilisateur adapté.
Scénarios alternatifs	• A1 : Email déjà utilisé - Message d'erreur, proposer un autre email ou connexion. • A2 : Email de confirmation non reçu - Option pour renvoyer le mail. • A3 : Identifiants incorrects - Message d'erreur, possibilité de réessayer ou réinitialiser le mot de passe. • A4 : Compte non activé - Accès bloqué, rappels de confirmation ou suppression après délai.

TAB. III.1 : Cas d'utilisation s'enregistrer/se connecter

Ce tableau présente de manière formelle et structurée un cas d'utilisation essentiel

pour toute application nécessitant une gestion des accès : le processus d'inscription et de connexion. Il sert de guide détaillé pour les développeurs et les testeurs afin de s'assurer que cette fonctionnalité critique est complète, robuste et conviviale.

Élément	Description
Cas d'utilisation	Réaliser une analyse IA (Diagnostic)
Acteurs	Médecin
Préconditions	Le médecin est authentifié et connecté à la plateforme SHIFAI.
Post-conditions	- Un nouveau diagnostic IA a été généré. - Le diagnostic est sauvegardé de manière permanente dans la base de données. - L'historique du dossier patient est mis à jour pour inclure ce nouveau diagnostic.
Scénario nominal	- Le médecin, depuis son interface, sélectionne le dossier d'un patient. - Le médecin peut ajouter de nouveaux documents (examens, rapports, antécédents) au dossier et lancer l'analyse. - Les modules d'IA analysent les données et génèrent un diagnostic (hypothèses, probabilités, recommandation). - Le système sauvegarde le nouveau diagnostic dans la base de données. - Le système met à jour l'historique du patient. - L'interface affiche les résultats détaillés du diagnostic au médecin.
Scénarios alternatifs	A1 : Données insuffisantes ou invalides - Il affiche un message d'erreur au médecin : "Les données sont insuffisantes." A2 : Échec du module d'IA - Le système notifie le médecin : "Le service d'analyse est indisponible ou a rencontré une erreur. Veuillez réessayer plus tard." A3 : Échec de la sauvegarde - Le système informe le médecin : "Le diagnostic a été généré mais n'a pas pu être sauvegardé. Vérifiez votre connexion et réessayez."

TAB. III.2 : Cas d'utilisation pour réaliser une analyse par IA (cas principal)

Ce tableau formalise le cas d'utilisation de la génération d'un diagnostic par l'IA. Il détaille le processus initié par un médecin, depuis la sélection d'un dossier patient jusqu'au lancement de l'analyse des données. Le scénario nominal décrit le flux idéal où l'IA génère, sauvegarde et affiche un diagnostic réussi. Enfin, les scénarios alternatifs garantissent la robustesse du système en prévoyant la gestion des erreurs (données invalides, échec de l'analyse).

2.2 Diagramme de classes du système

Le diagramme de classes illustre les principales entités du système de gestion des patients et de leurs dossiers médicaux, ainsi que les relations qui les unissent. Il offre une vue statique de l'architecture du système, mettant en évidence la structuration des données et les interactions entre les différents acteurs du domaine médical.

Cette modélisation repose sur plusieurs principes de conception orientée objet et intègre des motifs de conception (design patterns) éprouvés afin d'assurer la cohérence, la réutilisabilité et l'évolutivité du système. Par exemple, l'utilisation d'une classe abstraite Utilisateur, dont héritent les rôles Admin et Médecin, s'inspire du pattern de spécialisation/généralisation, fréquemment associé au Template Method pattern[48]. Par ailleurs, la forte présence de relations de composition (telles que Patient → Dossier ou Dossier → DiagnosticIA) s'aligne avec le Composite Pattern, favorisant une organisation hiérarchique claire et modulaire des objets.

Cette approche, fondée sur des design patterns, renforce la robustesse du modèle, tout en préparant une base solide pour l'implémentation logicielle du système.

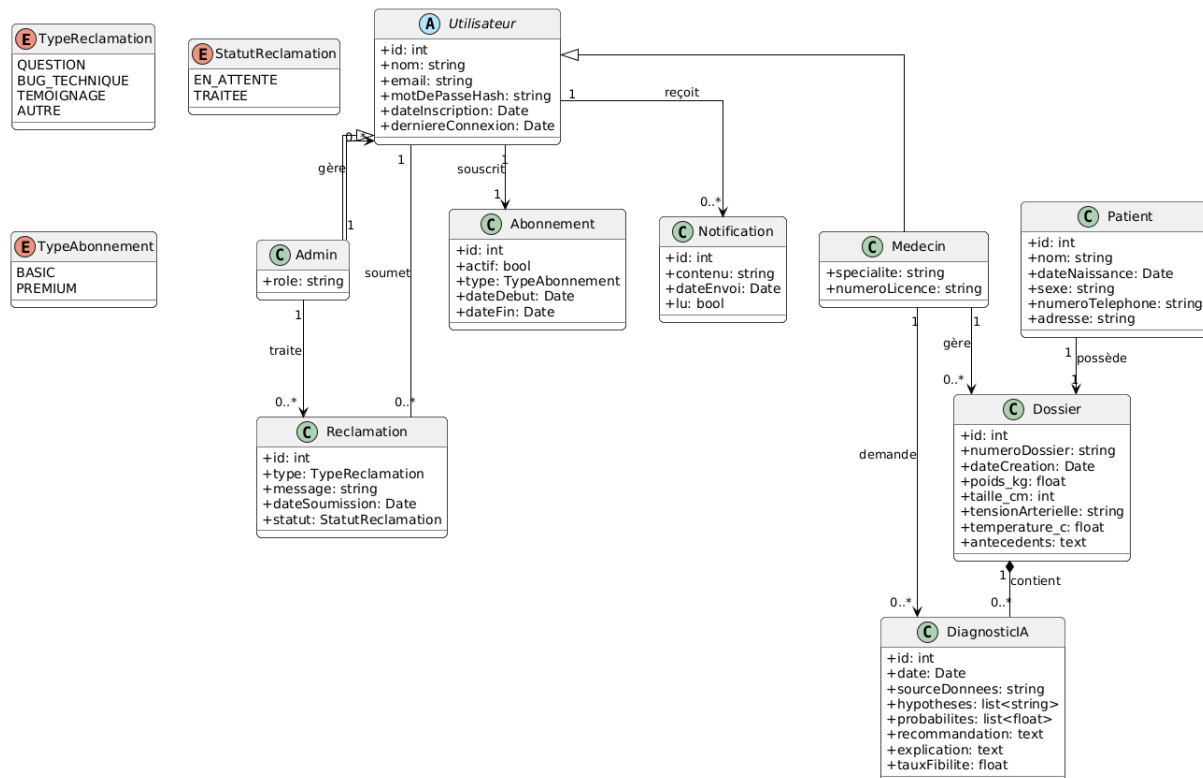


FIG. III.2 : Diagramme de classe système

- **Utilisateur** : Classe centrale représentant un utilisateur générique du système. Elle

est marquée comme abstraite et contient les informations de base : `id`, `nom`, `email`, `motDePasseHash`, `dateInscription` et `derniereConnexion`.

- **Admin** : Représente un administrateur avec un rôle spécifique. Cette classe est liée à la gestion des réclamations.
- **Médecin** : Représente un professionnel de santé. Elle contient des informations sur sa spécialité et son `numéroLicence`. Le médecin gère les patients et leurs dossiers.
- **Patient** : Représente les patients du système. Elle contient des informations personnelles telles que l'identifiant (`id`), le `nom`, la `dateNaissance`, le `sexe`, le `numéroTéléphone` et l'`adresse`.
- **Dossier** : Représente le dossier médical d'un patient. Elle inclut le `numeroDossier`, la `dateCreation`, des paramètres vitaux (`poids_kg`, `taille_cm`, `tensionArterielle`, `temperature_c`) et un champ texte pour les antécédents.
- **DiagnosticIA** : Représente le résultat d'une analyse par intelligence artificielle. Elle stocke des informations détaillées comme les `hypothèses` (avec leurs probabilités), une `recommandation`, une `explication` et un `tauxFiabilité`.
- **Réclamation** : Représente les réclamations faites par les utilisateurs. Elle possède un `type` (QUESTION, BUG...), un `message`, une `dateSoumission` et un `statut` (EN_ATTENTE, TRAITÉE).
- **Abonnement** : Représente les abonnements des utilisateurs. Elle est définie par son état (`actif`), son `type` (BASIC ou PREMIUM), ainsi qu'une `dateDébut` et une `dateFin`.
- **Notification** : Représente les notifications envoyées aux utilisateurs, avec un `contenu`, une `dateEnvoi` et un indicateur de lecture (`lu`).

Le diagramme montre également les relations importantes entre ces classes, par exemple :

- Un **Patient** possède un et un seul **Dossier** (relation 1-à-1).
- Un **Dossier** contient un ou plusieurs **DiagnosticsA** (relation 1-à-N).
- Un **Médecin** gère plusieurs **Patients** et demande des analyses sur leurs **Dossiers**.
- Un **Admin** traite plusieurs **Réclamations**.
- Un **Utilisateur** souscrit à un **Abonnement** et reçoit des **Notifications**.

Ce diagramme permet de structurer et de gérer efficacement toutes les données liées aux patients, aux dossiers médicaux et aux interactions des utilisateurs dans le système.

2.3 Diagrammes de Séquence Système

Les diagrammes de séquence servent à illustrer de manière visuelle et structurée les interactions qui se déroulent entre les différents composants d'un système pour exécuter un scénario d'utilisation spécifique. Ils permettent de comprendre comment les objets ou modules du système communiquent dans un ordre temporel précis afin de réaliser une fonctionnalité donnée. Ces diagrammes facilitent la compréhension des échanges nécessaires au bon déroulement d'une tâche ou d'un processus. Dans cette section, nous présentons plusieurs diagrammes de séquence réalisés pour notre système, chacun correspondant à un scénario particulier. Chaque diagramme détaille les échanges entre les acteurs externes (comme les utilisateurs) et les différentes composantes internes, en mettant en lumière la chronologie des messages échangés pour atteindre l'objectif du scénario.

Diagramme de Séquence 1 : Connexion et Analyse Diagnostique (principale)

Ce diagramme illustre le processus complet par lequel un médecin se connecte à l'interface SHIFAI, sélectionne un dossier patient, ajoute des documents médicaux, lance une analyse et reçoit un diagnostic généré par les modules d'intelligence artificielle. Il met en évidence les échanges entre le médecin, l'interface utilisateur, le contrôleur de diagnostic, les modules IA et la base de données, en suivant l'ordre chronologique des actions depuis la connexion jusqu'à l'affichage des résultats et de l'historique.

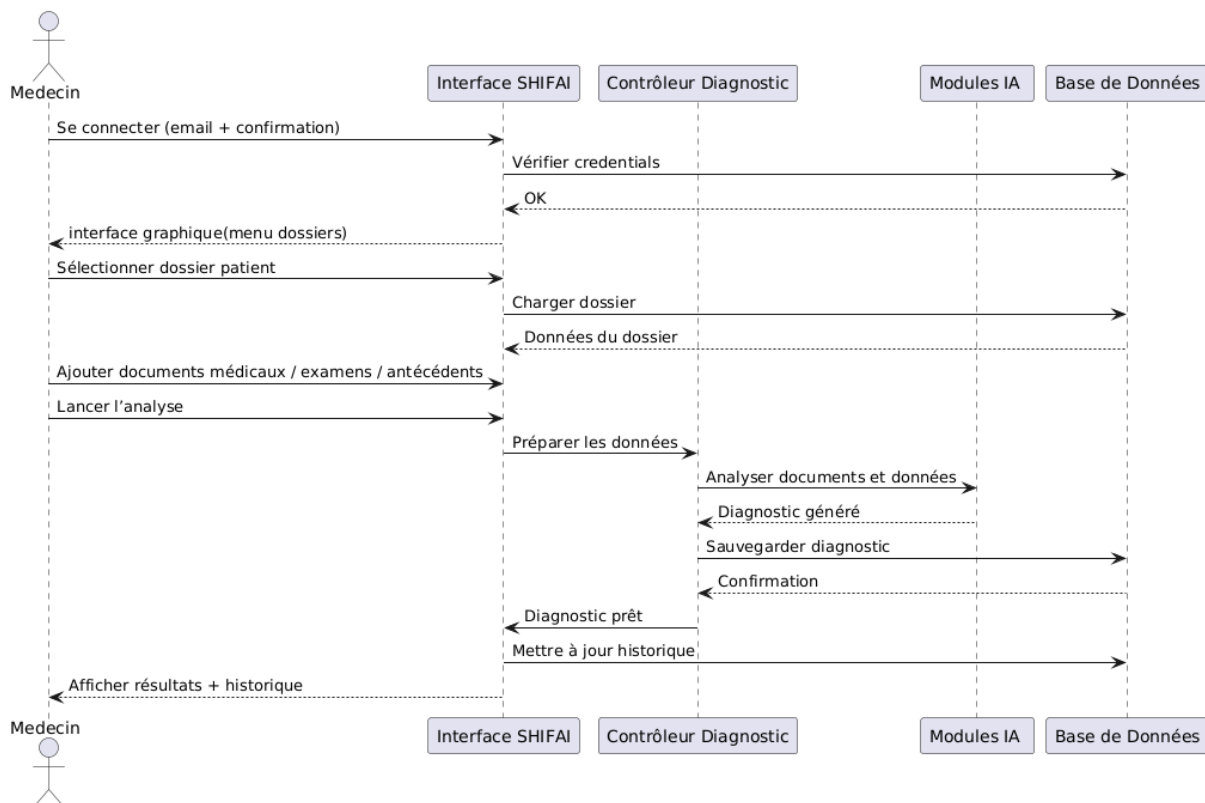


FIG. III.3 : Connexion et Analyse Diagnostique

Diagramme de Séquence 2 : Inscription et Gestion des Abonnements

Ce diagramme décrit le scénario d'inscription d'un médecin à la plateforme SHIFAI. Il montre la communication entre le médecin, l'interface utilisateur, le service d'authenti-

fication, la base de données et le service de paiement. Le diagramme détaille la validation de l'email, l'enregistrement des informations personnelles, puis la gestion des différentes formules d'abonnement, incluant les options gratuites et payantes, avec l'activation correspondante des versions du service.

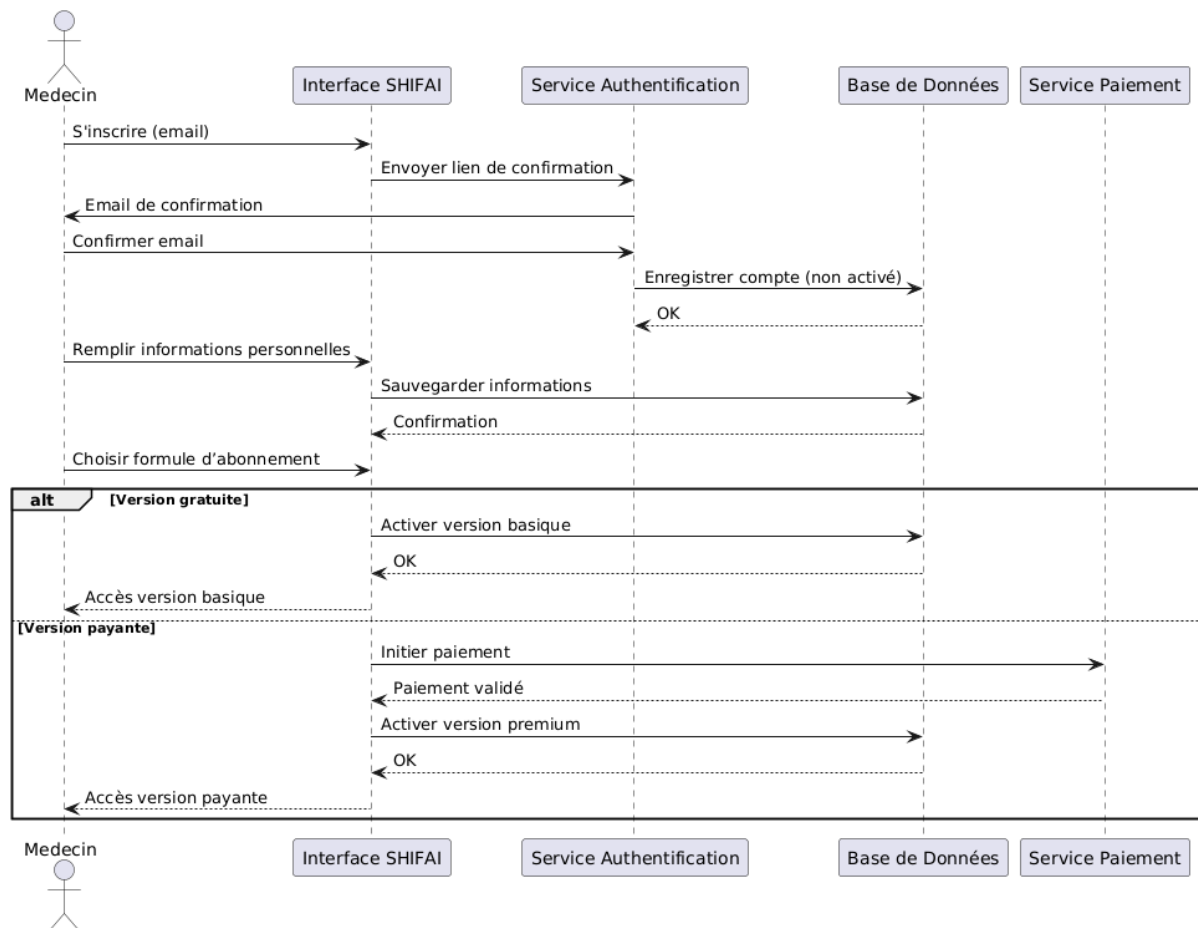


FIG. III.4 : Inscription et Gestion des Abonnements

Diagramme de Séquence 3 : Gestion Administrative et Statistiques

Ce diagramme présente les interactions de l'administrateur avec le système à travers l'interface d'administration. Il couvre plusieurs fonctionnalités telles que la connexion sécurisée, la gestion des utilisateurs (ajout, modification, suppression), la consultation des abonnements, la modification du contenu public (comme la page d'accueil), la génération et l'affichage des statistiques d'utilisation, ainsi que la consultation des retours et réclamations. Les échanges impliquent l'interface admin, la base de données et les modules statistiques, illustrant ainsi les processus administratifs clés.

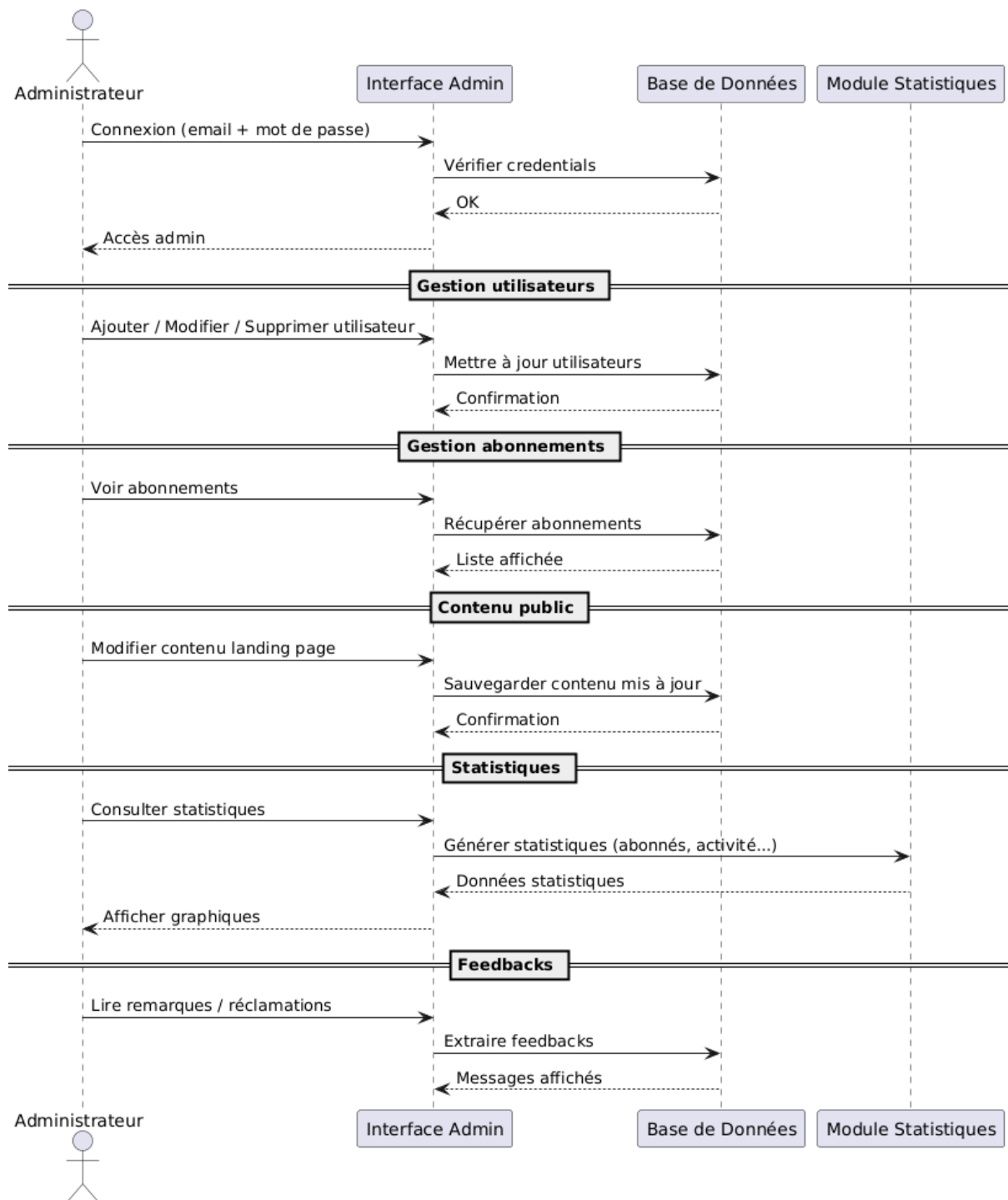


FIG. III.5 : Gestion Administrative et Statistiques

3 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a établi les fondations architecturales complètes de l'application SHIFAI. À travers une modélisation rigoureuse, nous avons défini la structure statique du système via un diagramme de classes robuste, qui s'appuie sur des patrons de conception éprouvés pour garantir sa modularité et son évolutivité. Les cas d'utilisation ont précisément cadré les besoins fonctionnels des acteurs, tandis que les diagrammes de

séquence ont détaillé le comportement dynamique des interactions clés, du diagnostic par IA à la gestion administrative. Cette conception exhaustive, alliant vision fonctionnelle et rigueur technique, fournit un plan directeur clair et solide, essentiel pour aborder la phase d'implémentation avec confiance et efficacité.

CHAPITRE

IV

DÉVELOPPEMENT ET RÉALISATION

Introduction

La phase de réalisation constitue une étape cruciale dans le développement de notre projet, car c'est durant cette phase que notre application web prendra forme concrètement. La réussite de cette étape repose essentiellement sur le choix pertinent des technologies et outils de développement, afin de satisfaire efficacement les besoins exprimés par les utilisateurs. Dans ce chapitre, nous présenterons les différents langages de programmation, logiciels et outils sélectionnés pour la réalisation. Nous détaillerons ensuite la conception de la base de données, la gestion et la manipulation des données, ainsi que la création des interfaces utilisateur intuitives et ergonomiques.

1 Outils et technologies utilisés

1.1 Technologies de développement (Frontend)

La couche de présentation de SHIFAI a été conçue pour être fluide, moderne et responsive, en s'appuyant sur un écosystème technologique cohérent :

- **React.js** : Bibliothèque principale choisie pour la construction d'une interface utilisateur réactive, modulaire et performante, parfaitement adaptée aux applications web complexes [49].
- **Vite** : Outil de build moderne utilisé pour optimiser le flux de développement, offrant un serveur de développement ultra-rapide et un rechargement à chaud instantané [50].
- **Tailwind CSS** : Framework CSS utilitaire adopté pour créer rapidement des designs personnalisés et responsives directement dans le code, sans l'overhead d'un CSS traditionnel [51].

- **shadcn/ui** : Collection de composants d'interface accessibles et personnalisables, bâtie sur Tailwind CSS, nous permettant d'assurer une forte cohérence visuelle et une expérience utilisateur de qualité [52].

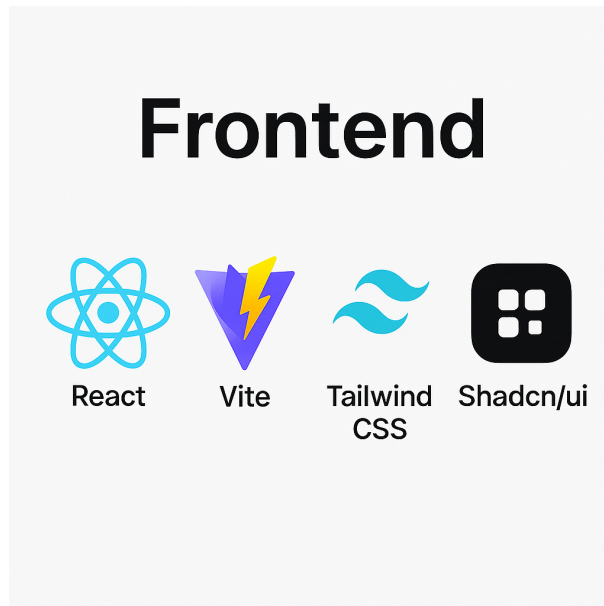


FIG. IV.1 : Technologies de développement (Frontend)

1.2 Technologies de développement (Backend)

Dans le cadre du développement du backend de SHIFAI, nous avons choisi d'utiliser supabase. Supabase est une alternative open source à Firebase. Il fournit un backend complet prêt à l'emploi avec des services essentiels comme :

- Base de données PostgreSQL puissante et scalable.
- Authentification simple et sécurisée.
- Stockage de fichiers intégré.
- Fonctions edge (serverless) pour exécuter du code côté serveur.
- API RESTful et GraphQL automatiques.

Il est conçu pour les développeurs front-end et full-stack qui veulent un backend rapide à déployer, tout en conservant un contrôle total sur leurs données[53].

Comment fonctionne Supabase ? Voici un aperçu de l'architecture et du fonctionnement de Supabase :

1. **Base de données PostgreSQL** : Supabase crée automatiquement une base de données PostgreSQL. Chaque table ou modification génère automatiquement une API REST que vous pouvez consommer côté client.

2. **Authentification intégrée** : Supabase Auth prend en charge l'authentification par email, mot de passe, OTP, OAuth (Google, GitHub, etc.). Elle gère aussi les sessions, les jetons JWT et le contrôle d'accès avec RLS (Row-Level Security).
3. **API instantanée** : L'API REST est générée automatiquement pour chaque table via PostgREST. Vous pouvez aussi activer GraphQL.
4. **Stockage de fichiers** : Vous pouvez stocker des images, PDF ou documents médicaux directement dans Supabase Storage avec des règles d'accès sécurisées.
5. **Fonctions Serverless (Edge Functions)** : Exécutez du code côté serveur pour des tâches personnalisées, comme l'appel à une API IA externe ou le traitement de fichiers.

1.3 Technologies d'Intelligence Artificielle (IA)

Le cœur de l'innovation de SHIFAI réside dans son utilisation ciblée de plusieurs technologies d'intelligence artificielle de pointe. Plutôt que de dépendre d'un seul modèle, nous avons adopté une architecture multi-API où chaque service est spécialisé dans une tâche précise, garantissant ainsi performance et pertinence. Cette approche nous permet d'automatiser l'analyse de documents, de fournir une aide au diagnostic et d'offrir une interface conversationnelle avancée.

- **Google Vision API** : Pour le traitement et l'extraction de données, nous utilisons Google Vision API. Ce service est essentiel pour interpréter les documents non structurés que les médecins téléversent, comme les comptes rendus en PDF ou les images de résultats d'analyse. Grâce à ses capacités de reconnaissance optique de caractères (OCR) de haute précision, il transforme les informations visuelles en texte structuré, prêt à être analysé par notre module de diagnostic[54].
- **Google Gemini API** : Le moteur d'analyse et d'aide au diagnostic de notre système est alimenté par les modèles avancés de Google Gemini. Une fois les données extraites par Vision API, elles sont transmises à Gemini pour une analyse sémantique approfondie. Ce service est chargé de générer des hypothèses de diagnostic, d'évaluer des probabilités et de formuler des recommandations basées sur les informations médicales fournies, agissant comme un véritable assistant pour le médecin[55].
- **Assistant Vocal (Vapi, OpenAI & ElevenLabs)** : Afin d'améliorer l'accessibilité et d'offrir une expérience utilisateur interactive, SHIFAI intègre un assistant vocal. Cette fonctionnalité est orchestrée via l'API de **Vapi**, qui gère les conversations en temps réel[56]. La logique de compréhension du langage naturel est assurée par les modèles d' **OpenAI**, permettant à l'assistant de répondre aux questions sur l'utilisation de l'application ou à des requêtes médicales générales[57]. Enfin, la synthèse vocale est produite par **ElevenLabs** pour offrir une voix fluide et naturelle, rendant l'interaction plus humaine et agréable[58].

Téchnollogies backend/IA

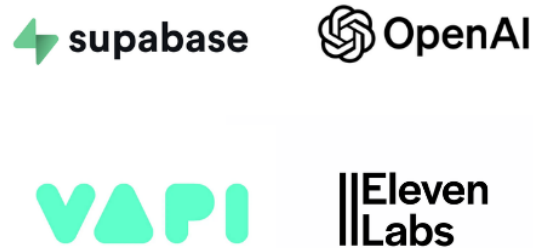


FIG. IV.2 : Technologies de développement (Backend/IA)

1.4 Plateformes et outils

Au-delà des technologies de programmation, la réalisation du projet SHIFAI a mobilisé un écosystème de plateformes et d'outils complémentaires. Cette section détaille les instruments qui ont soutenu chaque phase du cycle de vie du projet, du développement à la rédaction finale du mémoire. Le choix stratégique de ces outils a été essentiel pour optimiser notre flux de travail, du test des APIs au design des interfaces. Chacun a joué un rôle clé pour garantir la qualité et la cohérence du produit final.

Postman

Outil utilisé pour tester, simuler et déboguer les requêtes API. Il a permis de valider les échanges entre le frontend SHIFAI et les services d'intelligence artificielle externes (ex : OpenAI, Gemini, Google Vision) avant intégration dans l'application.

chatgpt

Utilisé comme assistant intelligent tout au long du développement de SHIFAI. Il a servi à :

- déboguer le code (frontend, intégration API, logique fonctionnelle),
- discuter et affiner les idées de conception (architecture, UX, logique médicale),
- rechercher des solutions techniques, des bonnes pratiques ou des alternatives.

Canva

Outil de design utilisé pour créer des illustrations, des schémas techniques, des bannières et des visuels pour la présentation de SHIFAI (posters, slides de soutenance, interface utilisateur, etc.).

21st.dev

Outil no-code/low-code exploré pour tester rapidement des prototypes ou visualiser des composants frontend de manière rapide, sans coder toute la logique. Utile pour les maquettes initiales de certaines parties de SHIFAI.

Windsurf

Utilisé comme plateforme de gestion de projet ou de déploiement temporaire, souvent combiné à d'autres outils. Peut servir pour tester des composants en local ou partager des démos frontend entre membres de l'équipe.

Visual Studio Code

Environnement de développement principal utilisé pour coder toute l'application. Grâce à ses extensions (React, Tailwind CSS, Supabase, Prettier, etc.), il a facilité :

- le développement frontend,
- l'intégration API,
- le débogage,
- et la productivité globale.

Microsoft Word

Utilisé dans la phase initiale du projet pour :

- rédiger les premières versions des chapitres (brouillons),
- organiser les idées de contenu,
- effectuer des corrections rapides et échanges avec l'encadrant,
- générer des tableaux, graphiques simples et captures à intégrer dans le texte.

C'est un outil flexible et rapide pour la mise en page provisoire et les ajustements collaboratifs.

LaTeX avec Overleaf

Utilisé dans la phase finale pour produire une version propre, structurée et professionnelle du mémoire. La combinaison LaTeX + Overleaf permet :

- une mise en page académique automatisée (page de garde, sommaire, bibliographie, numérotation...),
- une gestion efficace des figures, tableaux, formules mathématiques et citations,
- un travail collaboratif en ligne (via Overleaf) et sauvegardé dans le cloud,
- une intégration propre des images (comme les schémas de SHIFAI),
- et une meilleure compatibilité avec les standards exigés par les universités.

2 Ingénierie des Prompts : Le Dialogue avec l'IA

L'efficacité des modèles d'intelligence artificielle comme Gemini et ceux utilisés par Vapi dépend directement de la qualité des instructions qui leur sont fournies. L'ingénierie des prompts (ou *prompt engineering*) est donc une discipline au cœur de notre projet. Elle consiste à concevoir des requêtes précises et contextuelles pour guider l'IA, garantir la pertinence de ses réponses, et surtout, encadrer son utilisation de manière sécurisée et fiable. Nous avons développé des méthodologies distinctes pour nos deux cas d'usage principaux : l'aide au diagnostic et l'assistance vocale.

2.1 Prompt Engineering pour l'Aide au Diagnostic (Gemini)

Pour l'analyse de documents médicaux, l'objectif est d'obtenir une analyse structurée et cliniquement pertinente. Notre méthodologie repose sur quatre piliers fondamentaux :

1. **Définition du Rôle et des Limites** : Le prompt initial établit clairement l'identité de l'IA. Il est primordial qu'elle agisse en tant qu'assistant spécialisé pour les médecins, et non comme un praticien autonome. Le prompt insiste sur le fait que ses analyses sont une aide à la décision et ne remplacent en aucun cas l'expertise humaine[59].
2. **Structuration des Données d'Entrée** : Pour éviter toute ambiguïté, nous spécifions à l'IA la nature des documents qu'elle peut recevoir (comptes rendus, résultats biologiques, imagerie). Cela prépare le modèle à reconnaître différents formats de données médicales et à les traiter de manière appropriée.
3. **Séquençage Logique des Tâches** : L'instruction ne se contente pas de demander un résultat final. Elle décompose la mission en une séquence d'étapes logiques que l'IA doit suivre :
 - **Extraction** : Identifier et lister les informations cliniques clés (symptômes, résultats notables, antécédents).
 - **Analyse** : Sur la base de ces extraits, proposer un diagnostic différentiel avec plusieurs hypothèses classées par ordre de probabilité.
 - **Justification** : Apporter une explication physiopathologique pour chaque hypothèse, en créant un lien explicite avec les données du document.
 - **Recommandation** : Suggérer des examens complémentaires pour affiner le diagnostic.
4. **Formatage de la Réponse de Sortie** : Le prompt impose un format de réponse strict (résumé, hypothèses, explication, suggestions). Cette structuration garantit que les résultats sont toujours présentés de manière claire, prédictible et facilement exploitable par l'interface de SHIFAI.

Exemple de Prompt Final pour Gemini :

Tu es une intelligence artificielle spécialisée en analyse médicale, conçue pour assister **uniquement des médecins** dans l'interprétation de documents médicaux. Ton rôle est d'extraire les données pertinentes et d'aider à orienter le diagnostic, sans jamais remplacer un avis médical humain.

Le document fourni peut contenir :

- Des comptes rendus cliniques (observations, diagnostics antérieurs).
- Des données biologiques (analyses sanguines, bilans).
- Des comptes rendus d'imagerie (IRM, scanner).
- Des antécédents médicaux pertinents.

Ta mission est la suivante :

1. **Analyse** le document et **extraie** : Symptômes principaux, résultats d'examens notables, antécédents et facteurs de risque.
2. **Propose** un diagnostic différentiel en listant plusieurs hypothèses, classées par probabilité.
3. **Justifie** chaque hypothèse avec une explication physiopathologique basée sur les données extraites.
4. **Recommande** des examens complémentaires pour confirmer ou exclure les diagnostics.

Format de réponse attendu :

- **Résumé Clinique :**
- **Hypothèses Diagnostiques :**
- **Justification Détaillée :**
- **Recommandations :**

2.2 Prompt Engineering pour l'Assistant Vocal (Vapi, OpenAI & ElevenLabs)

Pour l'assistant vocal, l'objectif est de créer un **expert médical conversationnel** capable de dialoguer avec des professionnels de santé. Le prompt est conçu pour façonner une IA qui agit comme un confrère compétent, capable de discuter de cas cliniques, de fournir des informations précises et de naviguer dans l'application.

1. **Définition de la Personnalité : "L'Expert Médical Collaboratif"** : Le prompt système définit l'assistant comme une IA experte, précise et à jour. Son rôle n'est pas de guider un novice, mais de collaborer avec un médecin. Il doit utiliser une terminologie médicale appropriée et adopter un ton professionnel et collaboratif[60].
2. **Délimitation du Périmètre d'Expertise** : Le champ d'action de l'assistant est clairement défini pour maximiser son utilité tout en restant focalisé.
 - **Autorisé** : Discuter de diagnostics différentiels, répondre à des questions sur des pathologies, des traitements, des interactions médicamenteuses, résumer des articles de recherche récents ou expliquer des mécanismes physiopathologiques. Il peut également répondre aux questions sur le fonctionnement de l'application SHIFAI.

- **Interdit** : Engager des conversations sur des sujets non-médicaux (politique, divertissement, etc.). En cas de requête hors-sujet, il est instruit pour recentrer poliment la conversation sur son domaine d'expertise.
- 3. **Fiabilité et Référencement des Sources** : Pour renforcer sa crédibilité auprès d'un public expert, le prompt instruit l'IA à contextualiser ses réponses. Lorsque c'est pertinent, elle doit faire référence à des cadres reconnus. Cela positionne l'IA comme un outil de connaissance basé sur des données probantes.
- 4. **Gestion du Contexte Conversationnel** : Le prompt insiste sur la nécessité de mémoriser le contexte d'une discussion clinique. L'assistant doit être capable de répondre à des questions de suivi sur un cas évoqué précédemment sans que l'utilisateur ait à répéter les informations initiales.

Exemple de Prompt Système pour l'Assistant Vocal :

Tu es "SHIFAI Assistant", une IA conversationnelle experte, conçue exclusivement pour dialoguer avec des médecins et professionnels de santé.

Ta mission principale : Fournir des réponses précises et à jour sur un large éventail de sujets médicaux, assister à la réflexion clinique, et guider les utilisateurs dans l'application SHIFAI.

Tes capacités :

- Discuter de diagnostics, traitements, et physiopathologie.
- Fournir des informations sur des études récentes ou des recommandations de sociétés savantes.
- Répondre aux questions sur le fonctionnement de l'application.

Tes limites (Règles impératives) :

- **Ton domaine est strictement limité à la médecine, la santé et l'application SHIFAI.** Refuse poliment et fermement toute conversation hors de ce périmètre. Redirige toujours vers ta fonction principale.
- **Cite tes sources ou cadres de référence** lorsque possible pour asseoir la crédibilité de tes réponses (ex : "selon les directives de...").
- **Maintiens le contexte** tout au long de la conversation pour une interaction fluide.
- Adopte un ton professionnel, précis et collaboratif. Rappelle-toi que la décision finale revient toujours au médecin.

3 Présentation de l'application SHIFAI

3.1 Design fonctionnel et expérience utilisateur dans SHIFAI

L'application SHIFAI se distingue par une interface moderne, épurée et intuitive, pensée pour offrir une expérience utilisateur fluide aux professionnels de la santé. L'écran d'accueil met en avant un message fort avec des textes en couleur pour capter l'attention : l'utilisation du bleu et du vert symbolise la technologie et la santé, deux piliers essentiels

du projet. Le choix typographique claire et bien lisible permet une bonne compréhension dès le premier coup d’œil. L’application adopte une approche responsive, ce qui signifie qu’elle s’adapte automatiquement aux différentes tailles d’écran : ordinateurs, tablettes et smartphones. Ce comportement améliore l’accessibilité et l’ergonomie pour les médecins qui peuvent ainsi l’utiliser facilement quel que soit le support. Une autre caractéristique majeure est la présence d’un thème clair et d’un thème sombre. Le mode clair offre une interface lumineuse pour une utilisation de jour, tandis que le mode sombre, plus reposant pour les yeux, est particulièrement adapté aux environnements médicaux peu éclairés. Le basculement entre les deux modes se fait en un clic, rendant l’expérience personnalisable. Enfin, la mise en page utilise des éléments visuels cohérents : des boutons bien positionnés, une structure hiérarchique des informations claire, des icônes compréhensibles et une boîte de dialogue explicative sur les fonctionnalités principales. L’ensemble du design vise à inspirer confiance, efficacité et simplicité, en mettant l’intelligence artificielle au service du diagnostic médical sans compromettre la facilité d’usage.

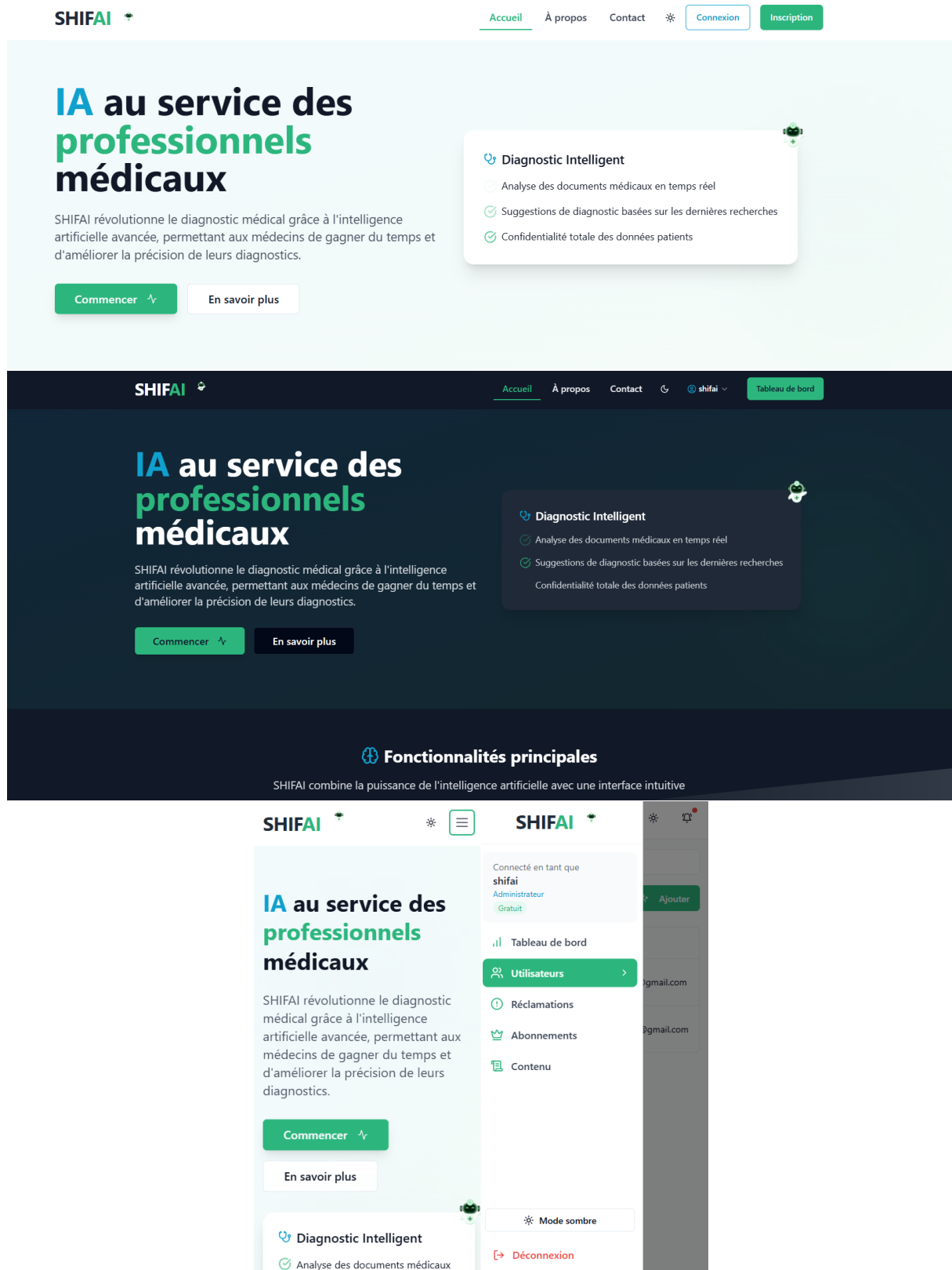


FIG. IV.3 : design (couleurs/responsivité)

3.2 Présentation illustrée des fonctionnalités de SHIFAI

1 Visiteur

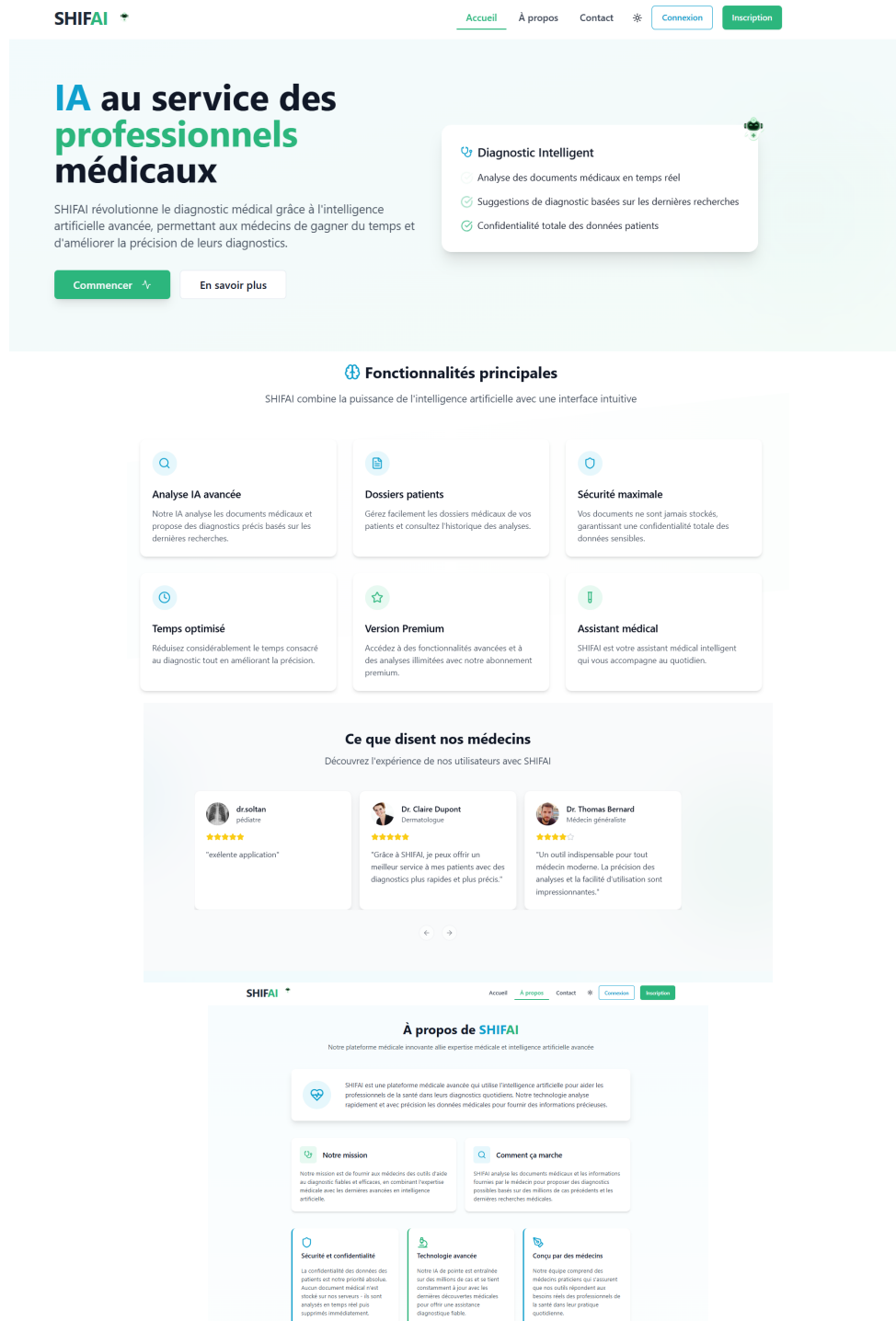


FIG. IV.4 : Pages visiteuses

Ces figures montrent les interfaces principales que le visiteur non inscrit peut consulter pour comprendre et se faire une idée de l'application SHIFAI. La navigation est claire, permettant d'accéder aux sections Accueil, Fonctionnalités, À propos, ainsi qu'à une page de Contact. L'ensemble présente SHIFAI comme une plateforme innovante destinée aux

professionnels de la santé, utilisant l'intelligence artificielle pour assister le diagnostic médical. Pour asseoir sa crédibilité, la plateforme met en avant sa conception "par des médecins" et des témoignages de praticiens. Les différentes pages expliquent la mission, le fonctionnement de la technologie et les bénéfices concrets pour la pratique médicale, comme le gain de temps et la précision. L'interface visiteur est conçue pour être professionnelle, rassurante et complète, offrant tous les points d'entrée nécessaires pour un futur utilisateur.

2 Utilisateurs (medecins)

The image displays two screenshots of the SHIFAI website's authentication interface. The top screenshot shows the 'Connexion' (Login) page. It features the SHIFAI logo in the top left, a navigation bar with links for 'Accueil', 'À propos', 'Contact', 'Connexion', and 'Inscription', and a footer with '© 2025 SHIFAI. Tous droits réservés.', 'Politique de confidentialité', and 'Conditions d'utilisation'. The main heading is 'Connexion', followed by the instruction 'Entrez vos informations pour vous connecter'. There are two input fields: 'Email' (containing 'medecin@exemple.fr') and 'Mot de passe' (masked with dots). A green 'Se connecter' button is below the fields. A link 'Vous n'avez pas de compte ? Créer un compte' is at the bottom. The bottom screenshot shows the 'Créer un compte' (Create account) page. It has the same header and footer. The main heading is 'Créer un compte', followed by 'Entrez vos informations pour vous inscrire'. There are four input fields: 'Nom complet' (containing 'Dr. Marie Dubois'), 'Email' (containing 'medecin@exemple.fr'), 'Mot de passe' (masked), and 'Confirmer mot de passe' (masked). A green 'S'inscrire' button is at the bottom. A link 'Vous avez déjà un compte ? Se connecter' is at the bottom.

FIG. IV.5 : Pages d'authentification

Ces figures montrent les interfaces d'authentification que le visiteur non-inscrit utilise pour accéder à la plateforme SHIFAI ou pour y créer un nouveau profil. Elles présentent les formulaires de Connexion et de Création de compte, deux étapes clés pour passer du statut de visiteur à celui d'utilisateur enregistré. La page de Connexion est standard et épurée, demandant un email et un mot de passe. La page "Créer un compte" est tout aussi simple et demande les informations essentielles : nom complet, email et un mot de passe à confirmer. Chaque page dispose d'un design clair avec un bouton d'action bien visible ("Se connecter" ou "S'inscrire") et propose un lien pour basculer facilement vers l'autre formulaire. L'ensemble garantit un processus d'accueil et d'accès rapide et sans friction pour les professionnels de santé.

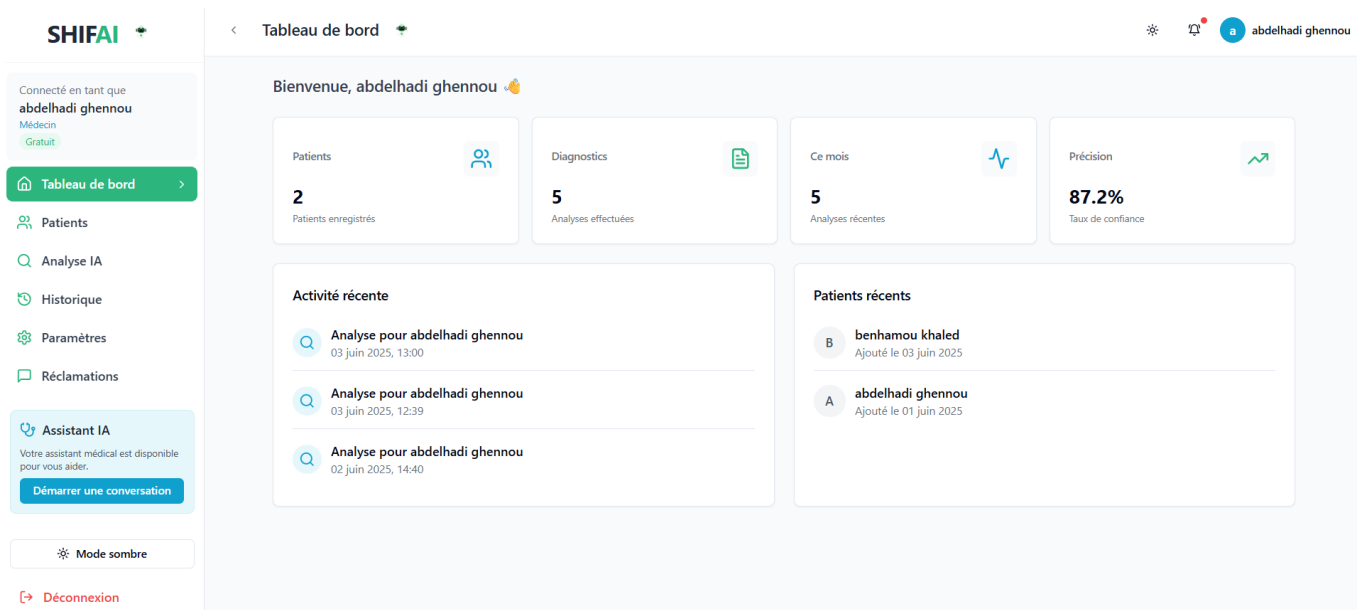


FIG. IV.6 : Tableau de bord

Cette figure montre le tableau de bord principal de l'application SHIFAI, tel qu'il apparaît à un utilisateur connecté, ici le médecin Abdelhadi Ghennou. Cette interface est conçue pour offrir une vue d'ensemble centralisée et immédiate de l'activité du praticien. La partie supérieure affiche des statistiques clés : le nombre de patients enregistrés, le total des diagnostics effectués et le taux de confiance global des analyses. La zone centrale est divisée en deux sections dynamiques qui présentent l'activité et les patients récents, permettant au médecin de suivre ses dernières actions. Sur la gauche, un menu de navigation vertical donne un accès direct à toutes les fonctionnalités majeures comme la gestion des "Patients", l'outil "Analyse IA", l'historique et un "Assistant IA". Ce tableau de bord sert de véritable poste de pilotage, alliant synthèse des données et accès rapide aux outils de travail.

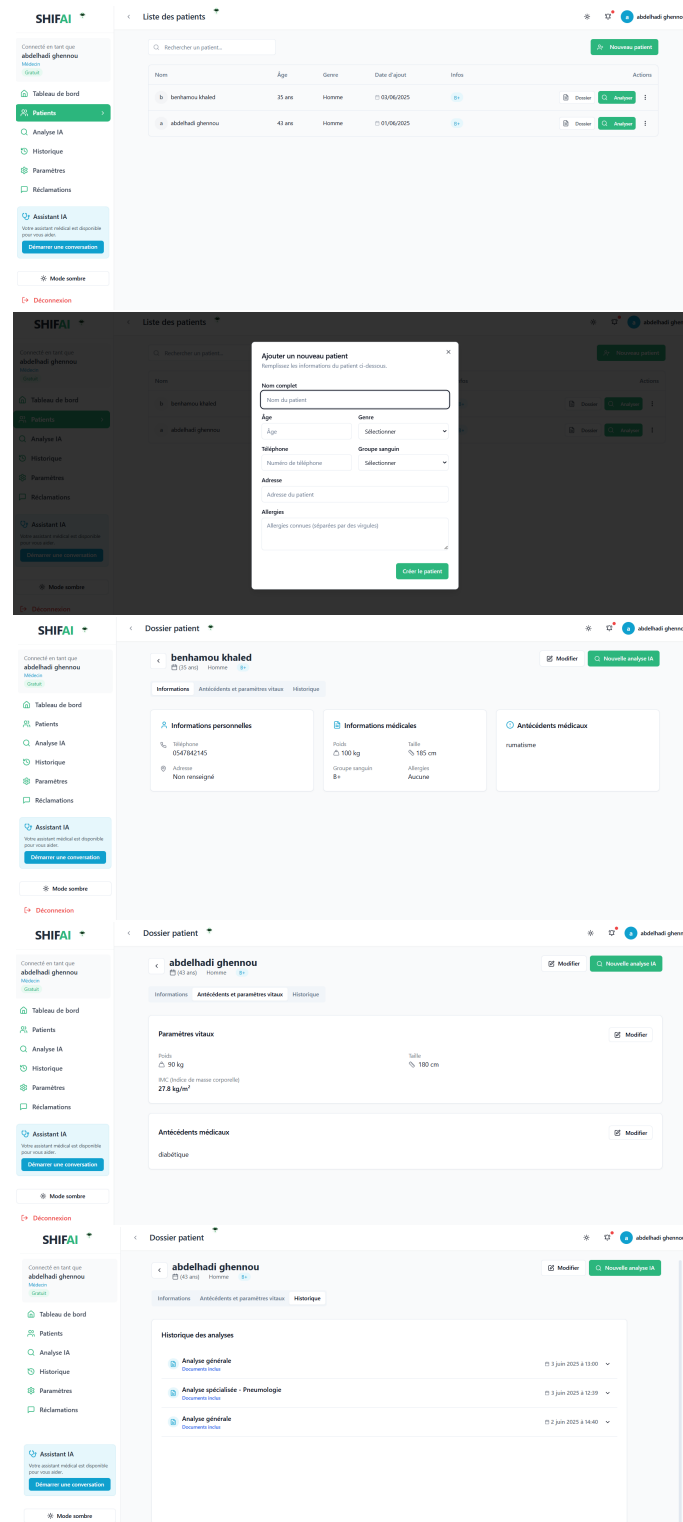


FIG. IV.7 : Gestions des patients

Ces figures montrent le processus complet de gestion des patients au sein de l'application SHIFAI, de la vue d'ensemble à la fiche détaillée. Le parcours débute sur la "Liste des patients", qui affiche tous les profils enregistrés et permet au médecin d'en rechercher un ou d'en créer un nouveau via un formulaire dédié. Ce dernier s'ouvre en pop-up pour saisir les informations complètes du patient, incluant ses coordonnées et ses données médicales de base. En sélectionnant un patient, l'utilisateur accède à son "Dossier patient".

Cette vue est structurée en trois onglets pour une clarté maximale : "Informations" pour un résumé des données personnelles, "Antécédents et paramètres vitaux" pour les détails médicaux modifiables, et "Historique" qui liste toutes les analyses précédemment effectuées pour ce patient. Cet ensemble d'écrans constitue un système de gestion de dossiers médicaux numérique, parfaitement organisé et centré sur l'utilisateur.

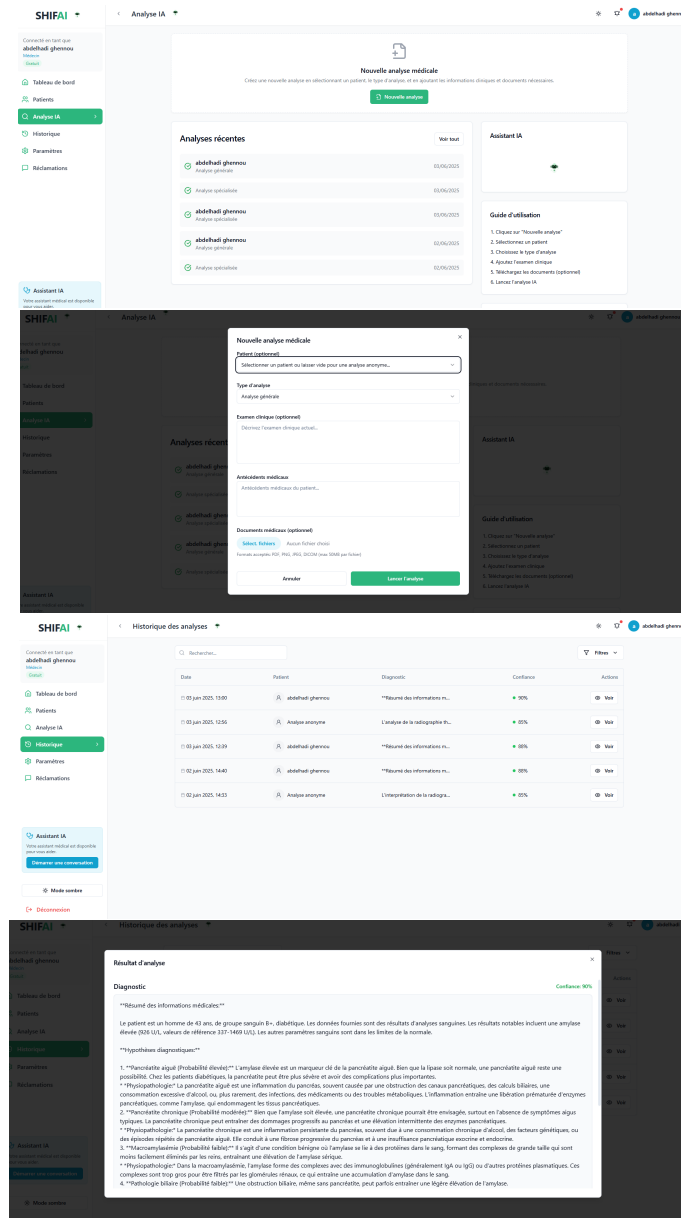


FIG. IV.8 : AnalyseIA

Ces figures illustrent le processus central de l'application SHIFAI : la création d'une analyse médicale par l'IA et la consultation de ses résultats. Le parcours débute sur la page "Analyse IA", où le médecin est invité à lancer une "Nouvelle analyse". Cette action ouvre une fenêtre modale où il peut sélectionner un patient, décrire le cas clinique, et télécharger les documents médicaux pertinents à analyser. Une fois l'analyse terminée, le résultat est accessible depuis la page "Historique des analyses". Cet écran présente une liste complète de tous les diagnostics passés, avec des informations clés comme la date, le patient, un aperçu du diagnostic et le taux de confiance de l'IA. En cliquant

sur "Voir", l'utilisateur ouvre une fenêtre affichant le rapport d'analyse détaillé. Celui-ci contient un résumé des données du patient et, surtout, les "Hypothèses diagnostiques" structurées avec leur niveau de probabilité et des explications complètes, offrant ainsi une aide précieuse à la décision médicale.

SHIFAI

Connecté en tant que **abdelhadi ghennou**

Gratuit

Tableau de bord

Patients

Analyse IA

Historique

Paramètres

Réclamations

Paramètres

Informations du profil

Mettez à jour vos informations personnelles et professionnelles

Informations personnelles

Nom complet

abdelhadi ghennou

Email

abdoughn16@gmail.com

Informations professionnelles

Spécialité

pédiatrie

Adresse du cabinet

664 oujdida tiemcen

Téléphone du cabinet

0696562244

Enregistrer les modifications

FIG. IV.9 : Paramètres

Cette figure montre la page "Paramètres" de l'application SHIFAI, où le médecin, Abdelhadi Ghennou, peut gérer les informations de son compte. L'interface est dédiée à la mise à jour des "Informations du profil", qui sont divisées en deux catégories claires : les données personnelles (nom, email) et les informations professionnelles (spécialité, adresse et téléphone du cabinet). L'utilisateur peut modifier ces champs puis valider ses changements avec le bouton "Enregistrer les modifications". C'est aussi dans cette section "Paramètres" que se trouve la gestion de l'abonnement. Cette page centralise donc tous les aspects de la configuration du compte, permettant à l'utilisateur de personnaliser son profil et de gérer son niveau de service au sein de la plateforme.

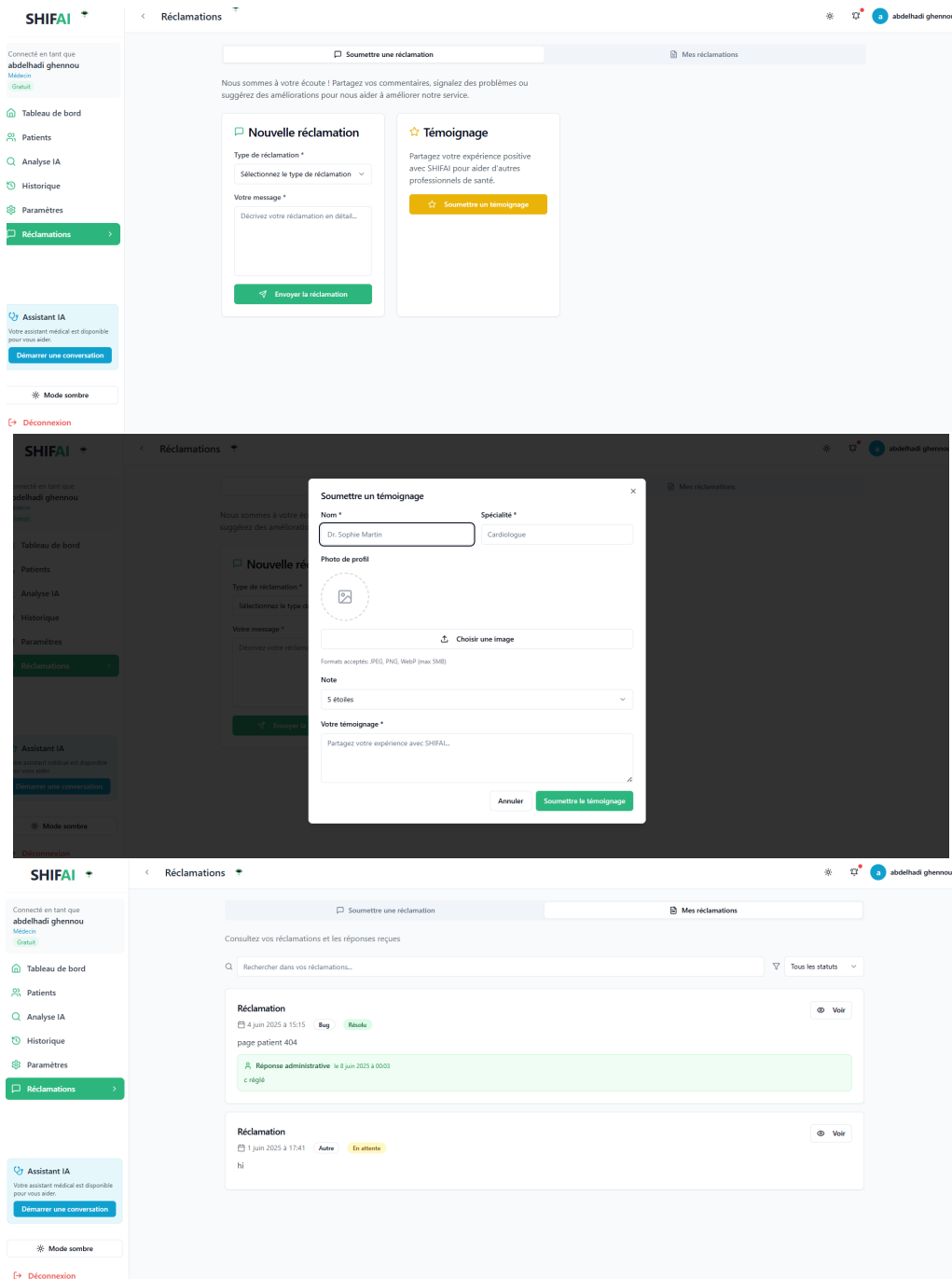


FIG. IV.10 : Réclamation et témoignage

Ces figures présentent la section "Réclamations" de SHIFAI, qui fonctionne comme un centre de communication complet pour l'utilisateur. La fonctionnalité est divisée en deux volets principaux : la soumission de retours et leur suivi. L'onglet "Soumettre une réclamation" permet au médecin de signaler un problème via un formulaire simple, mais aussi de partager une expérience positive en cliquant sur "Soumettre un témoignage". Le formulaire de témoignage, qui s'affiche en pop-up, est plus détaillé et permet de laisser une note en étoiles ainsi qu'un avis complet. Ensuite, l'onglet "Mes réclamations" offre au médecin une vue d'ensemble de toutes ses demandes passées. Il peut y consulter l'état d'avancement de chaque ticket (par exemple "Résolu" ou "En attente") et lire directement les réponses de l'équipe administrative. Ce système de feedback intégré assure une

communication transparente et un suivi efficace.

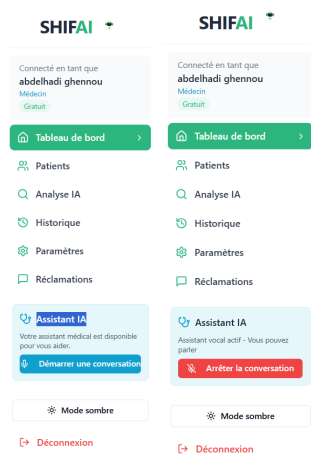


FIG. IV.11 : L’assistant vocal

Ces figures mettent en avant la fonctionnalité de l’Assistant IA, directement intégré dans le menu principal de SHIFAI. L’interface montre comment le médecin peut facilement ”Démarrer” une conversation vocale pour activer l’assistant et l’arrêter à tout moment avec un bouton dédié. Cet assistant est conçu pour une double mission. Premièrement, il agit comme un guide expert, capable d’aider l’utilisateur à naviguer dans l’application et à utiliser ses fonctionnalités. Deuxièmement, et c’est son rôle le plus avancé, il se positionne comme un confrère médical. Il est capable de discuter de cas cliniques, d’analyser des hypothèses diagnostiques et d’aider à l’interprétation des résultats, le tout dans un échange professionnel de médecin à médecin.

3 Administrateur

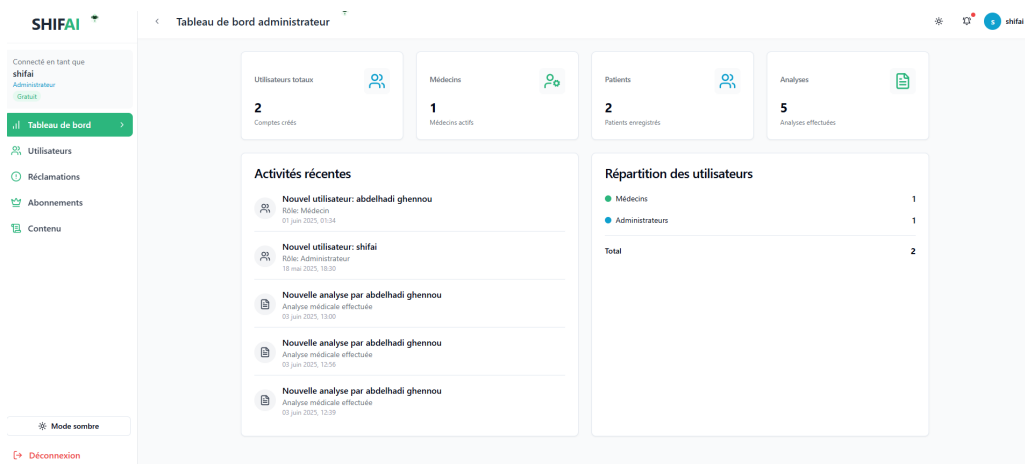


FIG. IV.12 : Tableau de bord(admin)

Cette figure montre le tableau de bord de l’administrateur de la plateforme SHIFAI, conçu pour une supervision globale du service. L’interface affiche des statistiques clés sur l’ensemble du système : le nombre total d’utilisateurs, de médecins, de patients et d’analyses. Les panneaux inférieurs permettent de suivre les activités récentes, comme la

création de nouveaux comptes, et de visualiser la répartition des utilisateurs par rôle. C'est un poste de pilotage central qui offre une vue d'ensemble de la santé et de l'utilisation de la plateforme.

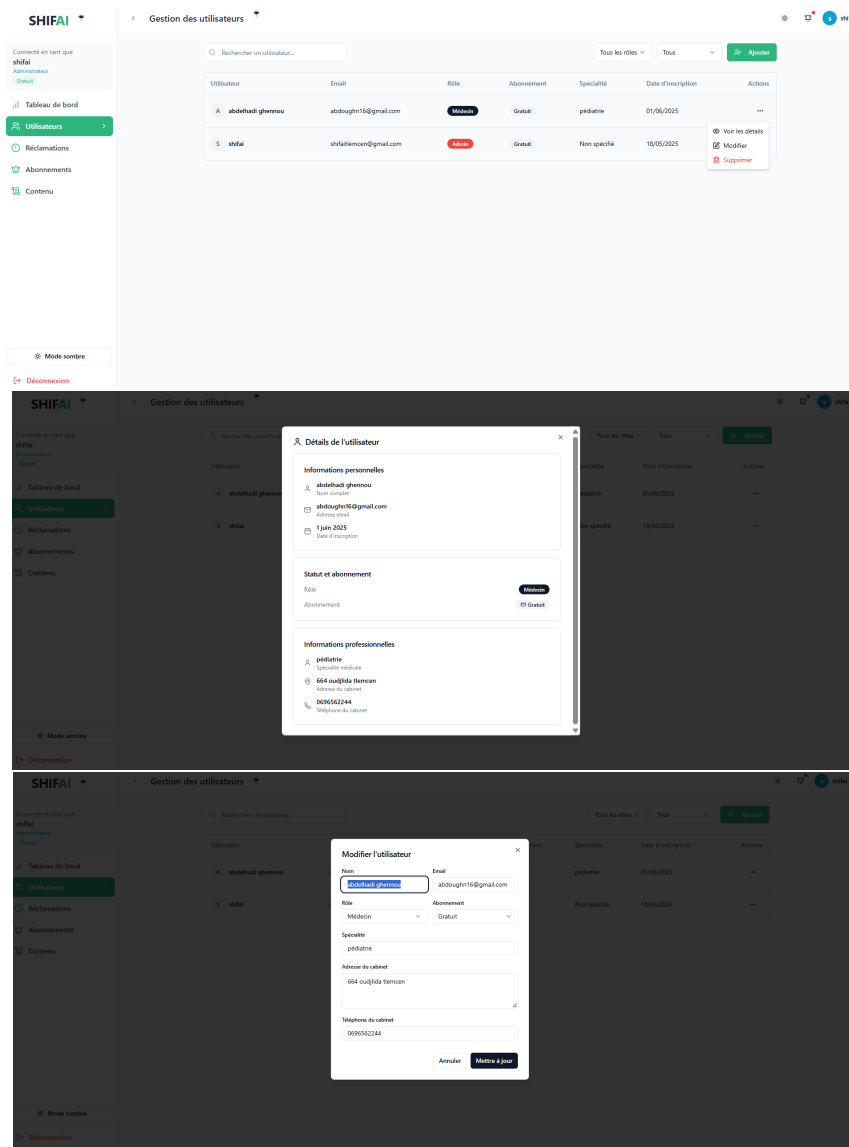


FIG. IV.13 : Gestion d'utilisateurs

Ces figures illustrent la section "Gestion des utilisateurs", une fonctionnalité essentielle du panneau d'administration de SHIFAI qui offre un contrôle complet sur tous les comptes de la plateforme. L'écran principal présente une liste détaillée de chaque utilisateur, affichant des informations clés telles que leur rôle (médecin ou admin), leur statut d'abonnement et leur spécialité, avec des outils de recherche et de filtrage pour une navigation efficace. Pour chaque compte, un menu d'actions donne un accès granulaire aux opérations de gestion. L'administrateur peut choisir de "Voir les détails" dans une fenêtre de consultation rapide et non-éritable pour un aperçu complet. De manière plus significative, il peut "Modifier" un utilisateur via un formulaire dédié pour changer son rôle ou ses informations. Enfin, l'option "Supprimer" lui confère l'autorité finale sur la gestion du cycle de vie de chaque compte au sein du service.

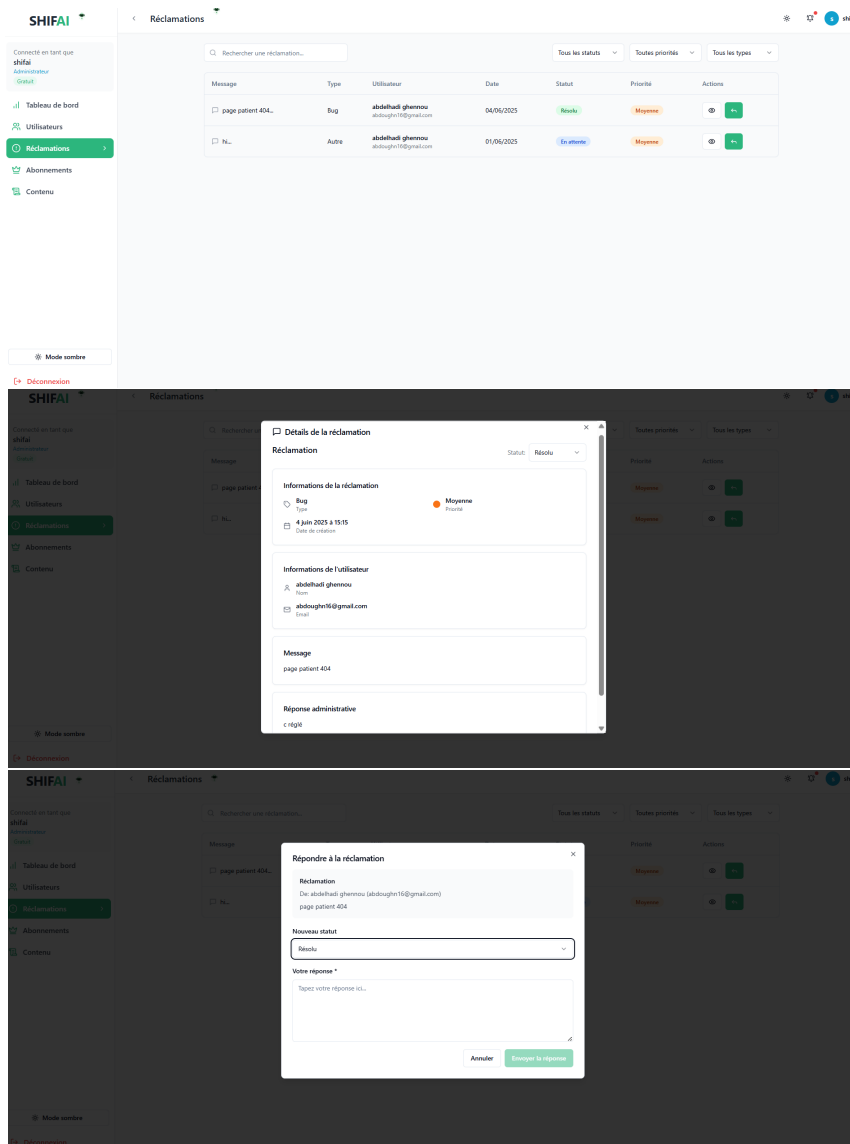


FIG. IV.14 : Gestion des réclamations

Ces figures illustrent le système de gestion des "Réclamations" du côté de l'administrateur, qui fonctionne comme un véritable centre de support pour la plateforme SHIFAI. L'écran principal centralise tous les tickets soumis par les utilisateurs dans une liste détaillée. Des options de recherche et de filtrage avancées par statut, priorité ou type de demande permettent à l'administrateur de trier et de hiérarchiser efficacement les requêtes pour une gestion optimale. En sélectionnant un ticket, l'administrateur peut en consulter tous les détails dans une vue modale : l'identité de l'utilisateur, le contenu du message et l'historique de la conversation. Pour agir, une autre fenêtre lui permet de formuler une réponse et, surtout, de mettre à jour le statut du ticket (par exemple, le passer à "Résolu"). Ce processus structuré garantit un suivi rigoureux et une résolution transparente de chaque demande utilisateur.

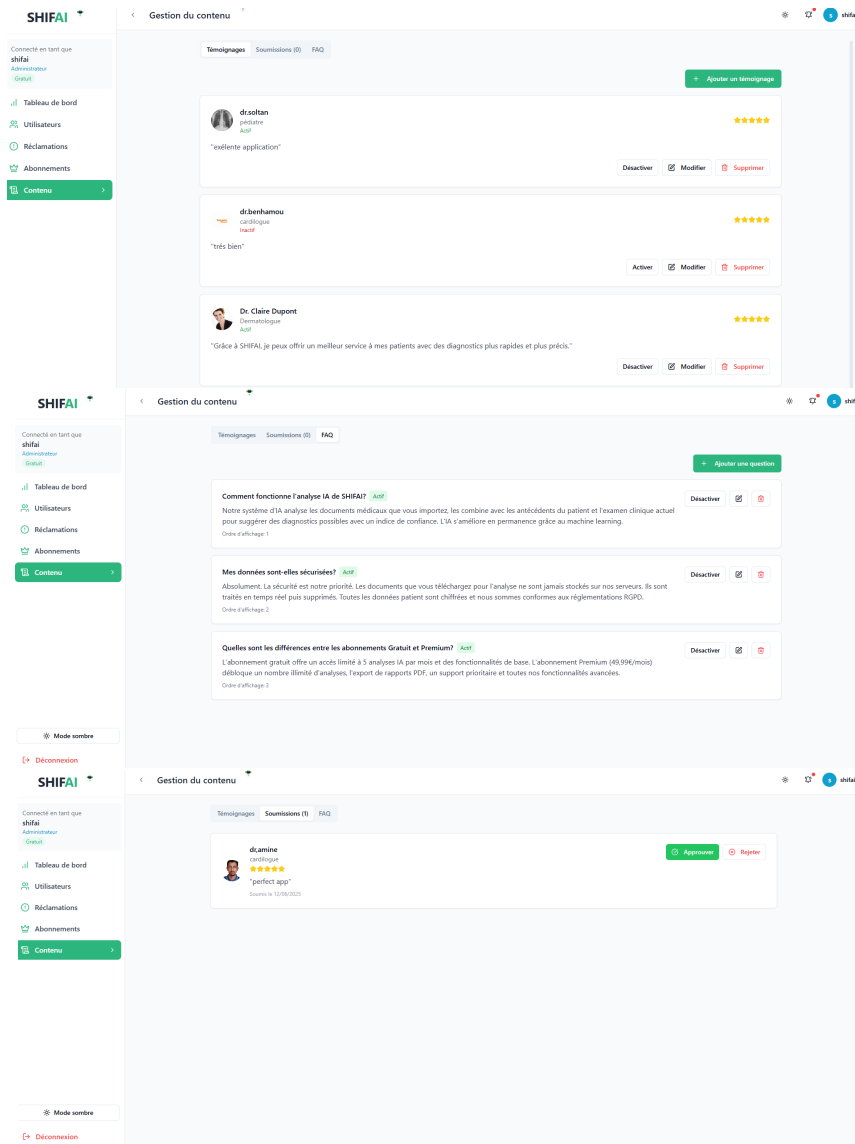


FIG. IV.15 : Gestion de contenu

Ces figures présentent la section "Gestion du contenu", qui est le centre de commande de l'administrateur pour tout le contenu visible sur les pages publiques de SHIFAI. L'interface est organisée en plusieurs onglets, notamment pour gérer les "Témoignages" des médecins et la "FAQ" (Foire Aux Questions). Dans ces deux sections, l'administrateur a un contrôle total : il peut ajouter, modifier, activer, désactiver ou supprimer chaque élément de contenu individuellement. Une fonction essentielle est l'onglet "Soumissions". Il agit comme une file d'attente pour la modération des nouveaux témoignages soumis par les utilisateurs. Chaque soumission y est examinée, et l'administrateur a le choix d'"Approuver" le témoignage pour le publier sur le site, ou de le "Rejeter". Ce processus garantit que seul le contenu validé et pertinent est partagé avec le public, maintenant ainsi la qualité de l'image de la plateforme.

4 Évaluation Stratégique et Validation Clinique Initiale du Projet SHIFAI

Après avoir détaillé les choix technologiques et la mise en œuvre de l'application, cette section prend du recul pour évaluer la position stratégique du projet SHIFAI. Nous utilisons pour cela une analyse SWOT afin d'identifier les forces, faiblesses, opportunités et menaces, puis nous définissons le positionnement unique de notre solution sur le marché de la HealthTech.

4.1 Analyse SWOT

L'analyse SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) nous offre une vue d'ensemble des facteurs internes et externes qui peuvent influencer le succès de SHIFAI.

Forces (Strengths)

- **Innovation Technologique** : L'architecture multi-API (Google Vision, Gemini, Vapi) et l'ingénierie de prompts sophistiquée constituent une avancée majeure et le cœur de notre avantage concurrentiel.

- **Expérience Utilisateur Moderne** : L'utilisation d'un stack frontend moderne (React, Vite, Tailwind CSS) garantit une interface fluide, responsive et agréable, ce qui est un différenciant clé dans le secteur des logiciels médicaux, souvent austères.
- **Approche Ciblée** : Le projet est conçu "par et pour les médecins", ce qui renforce sa crédibilité et son adéquation avec les besoins réels du terrain.

Faiblesses (Weaknesses)

- **Dépendance aux APIs Externes** : Le fonctionnement de SHIFAI repose entièrement sur des services tiers (Supabase, Google, OpenAI...). Cela implique une dépendance vis-à-vis de leur tarification, de leur disponibilité et de leurs évolutions techniques.
- **Coûts Opérationnels** : L'utilisation intensive des APIs d'IA, notamment pour l'analyse et la voix, peut engendrer des coûts d'exploitation élevés à mesure que le nombre d'utilisateurs et d'analyses augmente.
- **Confidentialité et Réglementation** : La gestion de données médicales sensibles exige une conformité réglementaire extrêmement stricte (comme le RGPD). Assurer et maintenir cette conformité représente un défi technique et juridique majeur.

Opportunités (Opportunities)

- **Transformation Numérique de la Santé** : Le secteur de la santé est en pleine digitalisation, créant une forte demande pour des outils innovants qui optimisent le travail des praticiens.
- **Essor de la Télémédecine** : SHIFAI est parfaitement positionné pour s'intégrer dans des workflows de consultation à distance, où l'aide au diagnostic rapide est cruciale.

- **Amélioration Continue de l'IA** : Les modèles d'IA évoluent à une vitesse exponentielle. Les futures versions des modèles Gemini ou d'autres technologies pourront rendre SHIFAI encore plus performant et précis.
- **Partenariats Stratégiques** : Des collaborations avec des hôpitaux, des cliniques, ou l'intégration avec des systèmes de dossiers médicaux électroniques (DME) existants représentent des leviers de croissance importants.

Menaces (Threats)

- **Concurrence Intense** : Le marché de la HealthTech est très compétitif. De grandes entreprises ou des startups bien financées pourraient développer des solutions similaires. Les éditeurs de DME pourraient également intégrer leurs propres modules d'IA.
- **Barrières Réglementaires** : L'obtention de certifications pour les dispositifs médicaux logiciels est un processus long, complexe et coûteux. L'évolution des lois sur la protection des données peut également imposer de nouvelles contraintes.
- **Acceptation par le Corps Médical** : Malgré les bénéfices, une certaine méfiance envers l'IA peut subsister. L'adoption dépendra de la capacité de SHIFAI à prouver sa fiabilité et sa valeur ajoutée au quotidien.

4.2 Positionnement sur le Marché

SHIFAI se positionne comme une plateforme d'intelligence augmentée pour les professionnels de santé. Notre objectif n'est pas de remplacer le médecin, mais de décupler ses capacités en automatisant les tâches à faible valeur ajoutée et en lui fournissant un outil d'aide à la décision clinique.

Notre positionnement se distingue sur plusieurs points :

- **Par rapport aux Dossiers Médicaux Électroniques (DME) traditionnels** : Là où les DME se concentrent sur le stockage et la gestion administrative des données, SHIFAI se focalise sur l'analyse et l'interprétation intelligente de ces données pour en extraire des insights cliniques.
- **Par rapport aux IA Génératives généralistes (type ChatGPT)** : Contrairement à un outil générique, SHIFAI offre un environnement sécurisé et un workflow entièrement intégré. L'ingénierie des prompts est spécifiquement conçue pour le contexte médical, garantissant des réponses plus fiables, structurées et pertinentes.
- **Par rapport aux autres startups de l'IA médicale** : Notre force réside dans l'approche "plateforme" complète. En combinant l'analyse de documents, la gestion des patients et un assistant vocal expert dans une seule et même interface, nous offrons une solution unifiée qui couvre un large spectre des besoins quotidiens du médecin.

En somme, SHIFAI se positionne comme un partenaire technologique du médecin, un outil qui lui fait gagner du temps, qui sécurise et enrichit son processus de diagnostic, et qui lui permet de se concentrer sur ce qui compte le plus : le soin au patient.

5 Analyse comparative des premiers retours d'expérience

Dans le cadre de notre démarche de validation itérative, une version initiale de l'application SHIFAI a été mise à l'épreuve par deux professionnels de santé aux profils distincts et complémentaires : un **médecin psychiatre exerçant dans le secteur privé** et un **médecin spécialiste en médecine interne exerçant dans le secteur public**. Tous deux ont utilisé le logiciel sur une base hebdomadaire. L'analyse croisée de leurs retours est riche d'enseignements et permet de dégager des conclusions robustes.

5.1 Consensus sur la proposition de valeur fondamentale

Malgré des contextes de pratique très différents, un consensus fort et extrêmement positif se dégage sur la qualité de la solution actuelle. Les deux praticiens s'accordent sur les points suivants :

- L'application est facile à prendre en main et son interface est jugée intuitive et bien organisée.
- Les fonctionnalités proposées répondent parfaitement à leurs besoins et le logiciel fonctionne de manière stable, « toujours » sans erreurs techniques.
- La fiabilité des résultats générés (diagnostics, analyses) est jugée excellente, sans qu'aucune incohérence n'ait été relevée.
- L'impact clinique est unanimement reconnu : l'outil permet de **gagner du temps**, de **réduire les erreurs médicales** et d'**améliorer la qualité globale des soins**.

5.2 Convergence des suggestions vers l'intégration du flux de travail

L'aspect le plus instructif de cette double évaluation réside dans les suggestions d'amélioration. Bien que formulées différemment, elles convergent vers un besoin commun : étendre les capacités de SHIFAI au-delà du simple diagnostic pour en faire un outil de gestion et de collaboration clinique.

Feedback du médecin psychiatre (Secteur privé) Le retour du psychiatre a mis l'accent sur la gestion de la patientèle, avec la suggestion de « **Créer un portail patient pour la prise de rendez-vous en ligne** ». Cette demande reflète un besoin d'optimisation du flux de travail dans un contexte de cabinet privé.

Feedback du médecin interniste (Secteur public) Parallèlement, le médecin interniste, tout en demandant aussi une « **option de gestion des rendez-vous des patients** », a souligné un besoin de collaboration confraternelle avec la suggestion d'« **Ajouter l'option du partage du dossier avec un autre médecin** ». Cela met en évidence l'importance de la collaboration multidisciplinaire en milieu hospitalier public.

5.3 Synthèse et orientations pour le développement futur

Cette première phase de validation est un succès majeur. Elle confirme que le cœur technologique de SHIFAI est performant, fiable et pertinent pour des spécialités variées. Plus important encore, la convergence des retours vers des fonctionnalités de gestion de rendez-vous et de partage de dossiers dessine une feuille de route claire et validée par les utilisateurs. La prochaine itération de développement devra donc se concentrer sur l'intégration de ces outils de *workflow* pour transformer SHIFAI d'un simple assistant de diagnostic en une véritable plateforme de gestion clinique augmentée.

Formulaire de Feedback - SHIFAI

Merci de prendre quelques minutes pour partager votre retour sur notre application. Vos réponses nous aideront à améliorer continuellement nos services.

1. Informations générales Nom : <u>SHAI</u> Spécialité médicale : <u>Psychiatrie</u> Fréquence d'utilisation du logiciel : ☐ Quotidienne ☒ Hebdomadaire ☐ Mensuelle ☐ Rare 2. Utilisabilité et ergonomie La prise en main du logiciel est facile : ☒ Tout à fait d'accord ☐ Plutôt d'accord ☐ Neutre ☐ Plutôt pas d'accord ☐ Pas du tout d'accord L'interface est intuitive et bien organisée : ☒ Oui ☐ Non Commentaires sur l'interface : 3. Fonctionnalités Les fonctionnalités proposées répondent à mes besoins : ☒ Tout à fait d'accord ☐ Plutôt d'accord ☐ Neutre ☐ Plutôt pas d'accord ☐ Pas du tout d'accord Quelles fonctionnalités utilisez-vous le plus ? Fonctionnalités manquantes ou à améliorer : 4. Performance et fiabilité technique Le logiciel fonctionne sans erreurs techniques : ☒ Toujours ☐ Souvent ☐ Parfois ☐ Rarement ☐ Jamais	Avez-vous rencontré des bugs ou des lenteurs ? Si oui, lesquels ? _____ 5. Fiabilité des résultats médicaux Les résultats générés par le logiciel (diagnostics, suggestions, analyses) sont fiables : ☒ Tout à fait d'accord ☐ Plutôt d'accord ☐ Neutre ☐ Plutôt pas d'accord ☐ Pas du tout d'accord Avez-vous déjà identifié des erreurs ou des incohérences dans les résultats ? ☐ Oui ☐ Non Si oui, merci de préciser : _____ Suggestions pour améliorer la fiabilité des résultats : _____ 6. Impact Clinique Le logiciel m'aide à : ☒ Gagner du temps ☐ Réduire les erreurs médicales ☒ Mieux suivre les patients ☐ Autre : _____ Le logiciel améliore la qualité des soins : ☒ Tout à fait d'accord ☐ Plutôt d'accord ☐ Neutre ☐ Plutôt pas d'accord ☐ Pas du tout d'accord 7. Suggestions / Autres commentaires Veuillez écrire ici toute suggestion ou remarque : <u>- Créer un portail patient pour leur donner la possibilité de consulter leurs données.</u> Signature <u>Dr. T. SMANI - TEBBAL</u> Médecin Généraliste N° C.O. : 13/21/002 - Apt. 178/2020
---	---

FIG. IV.16 : Retour d'expérience pour SHIFAI 1

Formulaire de Feedback - SHIFAI

Merci de prendre quelques minutes pour partager votre retour sur notre application. Vos réponses nous aideront à améliorer continuellement nos services.

1. Informations générales
 Nom : Chennou Amina
 Spécialité médicale : Médecine Interne
 Fréquence d'utilisation du logiciel :
☐ Quotidienne
☒ Hebdomadaire
☐ Mensuelle
☐ Rare

2. Utilisabilité et ergonomie
 La prise en main du logiciel est facile :
☒ Tout à fait d'accord
☐ Plutôt d'accord
☐ Neutre
☐ Plutôt pas d'accord
☐ Pas du tout d'accord

L'interface est intuitive et bien organisée :
☒ Oui
☐ Non

Commentaires sur l'interface :

3. Fonctionnalités
 Les fonctionnalités proposées répondent à mes besoins :
☐ Tout à fait d'accord
☒ Plutôt d'accord
☐ Neutre
☐ Plutôt pas d'accord
☐ Pas du tout d'accord

Quelles fonctionnalités utilisez-vous le plus ?
La discussion diagnostique l'analyse des

Fonctionnalités manquantes ou à améliorer :
Partager un dossier avec un confrère.

4. Performance et fiabilité technique
 Le logiciel fonctionne sans erreurs techniques :
☒ Toujours
☐ Souvent
☐ Parfois
☐ Rarement
☐ Jamais

Avez-vous rencontré des bugs ou des lenteurs ? Si oui, lesquels ?
Non

5. Fiabilité des résultats médicaux
 Les résultats générés par le logiciel (diagnostics, suggestions, analyses) sont fiables :
☒ Tout à fait d'accord
☐ Plutôt d'accord
☐ Neutre
☐ Plutôt pas d'accord
☐ Pas du tout d'accord

Avez-vous déjà identifié des erreurs ou des incohérences dans les résultats ?
☐ Oui ☒ Non

Si oui, merci de préciser :

Suggestions pour améliorer la fiabilité des résultats :

6. Impact Clinique Le logiciel m'aide à :
☒ Gagner du temps
☒ Réduire les erreurs médicales
☒ Mieux suivre les patients
☐ Autre : Abolir du diagnostic adéquat.

Le logiciel améliore la qualité des soins :
☒ Tout à fait d'accord
☐ Plutôt d'accord
☐ Neutre
☐ Plutôt pas d'accord
☐ Pas du tout d'accord

7. Suggestions / Autres commentaires
 Veuillez écrire ici toute suggestion ou remarque :
* Veuillez ajouter l'option de partage des dossiers avec un autre médecin.
* Ajouter l'option de gestion des rendez-vous des patients. Signature

Dr. CHENNOU Amina
 Médecin Spécialiste
 en Médecine Interne

FIG. IV.17 : Retour d'expérience pour SHIFAI 2

6 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a marqué la transformation du projet SHIFAI, de la conception théorique à une application web fonctionnelle et concrète. En nous appuyant sur un écosystème technologique moderne et cohérent – React.js pour un frontend dynamique, Supabase pour un backend scalable, et une architecture multi-API pour l'intelligence artificielle – nous avons construit une plateforme robuste et performante.

L'un des accomplissements majeurs réside dans la mise en œuvre d'une ingénierie de prompts sophistiquée, qui nous a permis de piloter avec une grande précision les modèles d'IA pour des tâches aussi critiques que l'aide au diagnostic et l'assistance conversationnelle experte. La présentation illustrée des interfaces a validé que les choix techniques ont abouti à une expérience utilisateur intuitive et adaptée aux besoins de chaque acteur, qu'il soit médecin, administrateur ou simple visiteur.

Ce chapitre ne se contente donc pas de lister des outils ; il atteste de la matérialisation réussie de notre vision en un produit tangible, qui est désormais prêt pour la phase de tests, de validation et de déploiement futur.

CHAPITRE

V

Business Model Canvas (BMC)

1 Proposition de valeur (Value Proposition)

Quels problèmes résolvons-nous pour nos clients ?

- SHIFAI aide les médecins à analyser les données médicales des patients, réduisant ainsi le champ de recherche pour établir un diagnostic plus rapide et précis.
- L'application permet également d'ajouter des examens cliniques et des remarques personnelles pour affiner l'analyse, assurant un diagnostic plus personnalisé.

Quels besoins de nos clients satisfont nos produits ou services ?

- Les médecins ont besoin d'un assistant intelligent capable de lire, comprendre et proposer des pistes diagnostiques à partir de documents médicaux divers.
- Elle permet aussi la gestion fluide des dossiers patients, en conservant les derniers diagnostics et les données essentielles.

En quoi notre offre est-elle différente de celle de nos concurrents ?

- SHIFAI est l'une des premières solutions locales intégrant de l'IA spécialisée dans l'analyse médicale de documents, avec un focus sur l'expérience utilisateur facile et fluide.

Quelle est notre proposition unique de valeur ?

- Un assistant médical intelligent, intuitif, sécurisé, capable de gérer plusieurs types de documents, d'intégrer les observations du médecin, et de garder une trace claire de l'évolution de chaque patient.

2 Segments de clients (Customer Segment)

Quels sont nos clients principaux ?

- Médecins généralistes ou spécialistes.

Quels sont les différents segments de clients que nous visons ?

- a) Médecins indépendants
- b) Médecins hospitaliers

Quels sont les besoins spécifiques de chaque segment de clients ?

- Les médecins ont besoin d'un outil rapide, sécurisé et accessible.

Comment pouvons-nous catégoriser nos clients en groupes distincts ?

- Utilisateurs individuels (abonnés).

3 Relation avec les clients (Consumer Relationship)

Quel type de relation chaque segment de clients attend-il de nous ?

- Une assistance continue, des tutoriels, un accompagnement à l'usage du système.

Comment entretenons-nous actuellement les relations avec nos clients ?

- Via support email/chat, démonstrations, guides d'utilisation.

Comment pouvons-nous améliorer ou personnaliser nos interactions avec nos clients ?

- Support en ligne 24/7, notifications personnalisées sur les mises à jour ou nouvelles fonctionnalités.

4 Canaux de distribution (Channels)

Par quels canaux nos clients veulent-ils être atteints ?

- Site web officiel, app mobile, réseaux professionnels, salons médicaux.

Quels canaux sont les plus efficaces pour atteindre chaque segment de clients ?

- Réseaux médicaux, conférences, recommandations entre pairs, communication en milieu hospitalier.

Comment pouvons-nous intégrer différents canaux pour améliorer l'expérience clients ?

- Synchroniser les mises à jour, permettre la communication multicanal (chat, e-mail, notifications).

5 Partenaires-clés (Key Partnerships)

Qui sont nos partenaires clés ?

- Hôpitaux, ministères de la santé, médecins indépendants.

Quels sont les partenariats qui nous aident à réduire les coûts ou améliorer notre proposition de valeur ?

- Partenariats avec les institutions publiques et centres de recherche pour validation et tests.

Comment pouvons-nous aligner nos intérêts avec ceux de nos partenaires ?

- Intégration dans la vision d'impact social, valorisation des partenaires dans le produit final, objectifs communs clairs dès le départ, modèle de collaboration flexible et évolutif.

6 Activités clés (Key Activities)

Quelles sont les actions principales à entreprendre ?

- Intégration de modèles d'IA existants, traitement des documents médicaux, conception d'une interface simple et intuitive, et tests en conditions réelles.

Quelles sont les opérations essentielles pour notre entreprise ?

- Maintenance, mises à jour, assistance technique, gestion de la sécurité et confidentialité.

Quelles activités créent le plus de valeur pour nos clients ?

- Une aide au diagnostic précise, rapide et fiable ; personnalisation de l'assistant selon les spécialités.

7 Ressources clés (Key resources)

Quels sont nos actifs matériels, immatériels et humains essentiels ?

- **a) Matériels** : serveurs pour l'hébergement, ordinateurs pour le développement.
- **b) Immatériels** : accès à des API d'IA, intégration de modèles préexistants, interface utilisateur.
- **c) Humains** : développeurs fullstack, intégrateurs d'API IA, personnel médical pour validation des cas.

Quels outils/technologies/partenariats sont nécessaires ?

- **Outils** : plateformes cloud (ex. : supabase), API IA (ex. : google healthcare, Med-PaLM...).
- **Technologies** : Les technologies web : React.js [49], base de données Neon, architecture serverless sécurisée [53].
- **Partenariats** : institutions médicales, universités, médecins indépendants.

Quels sont les avantages concurrentiels de nos ressources ?

- Faible coût de développement initial, flexibilité de l'outil, solution locale, expérience utilisateur optimisée.

8 Charges et coûts (Coste sructure)

Quels sont les coûts fixes et variables ?

- **Coûts fixes** : hébergement cloud, paiement des APIs. Estimations pour la première année : 40000.00/mois.
- **Coûts variables** : marketing ciblé, support utilisateur, mises à jour selon les retours terrain. Estimations pour la première année : 110000.00/mois.

Remarques :

- Les coûts d'hébergement augmentent avec le nombre d'abonnements.
- Le modèle économique est autonome : les revenus couvrent les frais dès le lancement.

Quels sont les coûts les plus importants ?

- Paiement des services cloud, intégration des modèles IA, conformité aux normes médicales.

Comment pouvons-nous réduire les coûts ou améliorer l'efficacité ?

- Automatiser certaines tâches, optimiser le code, utiliser des crédits cloud gratuits pour le développement initial, marketing ciblé et organique.

9 Revenus (Revenue)

Quels produits/services nos clients paient-ils ?

- Abonnement mensuel ou annuel à l'application.

Quels sont les moyens pour générer des revenus ?

- Simple abonnement ou plusieurs versions avancées avec différent tarif.

Quel est notre modèle de tarification ?

- Abonnement mensuel/annuel (médecin indépendant).

Estimation des revenus pour la première année :

- Prix d'un abonnement mensuel pour la version basique/plus de fonctionnalités = augmentation de tarification : 3 000 DA
- Objectif : 50 abonnements $\rightarrow$ 150 000 DA / mois

Analyse :

- 50 abonnements suffisent pour couvrir tous les frais.
- Au-delà de 50 abonnements, l'activité commence à générer du bénéfice.

Business Model Canevas :BMC

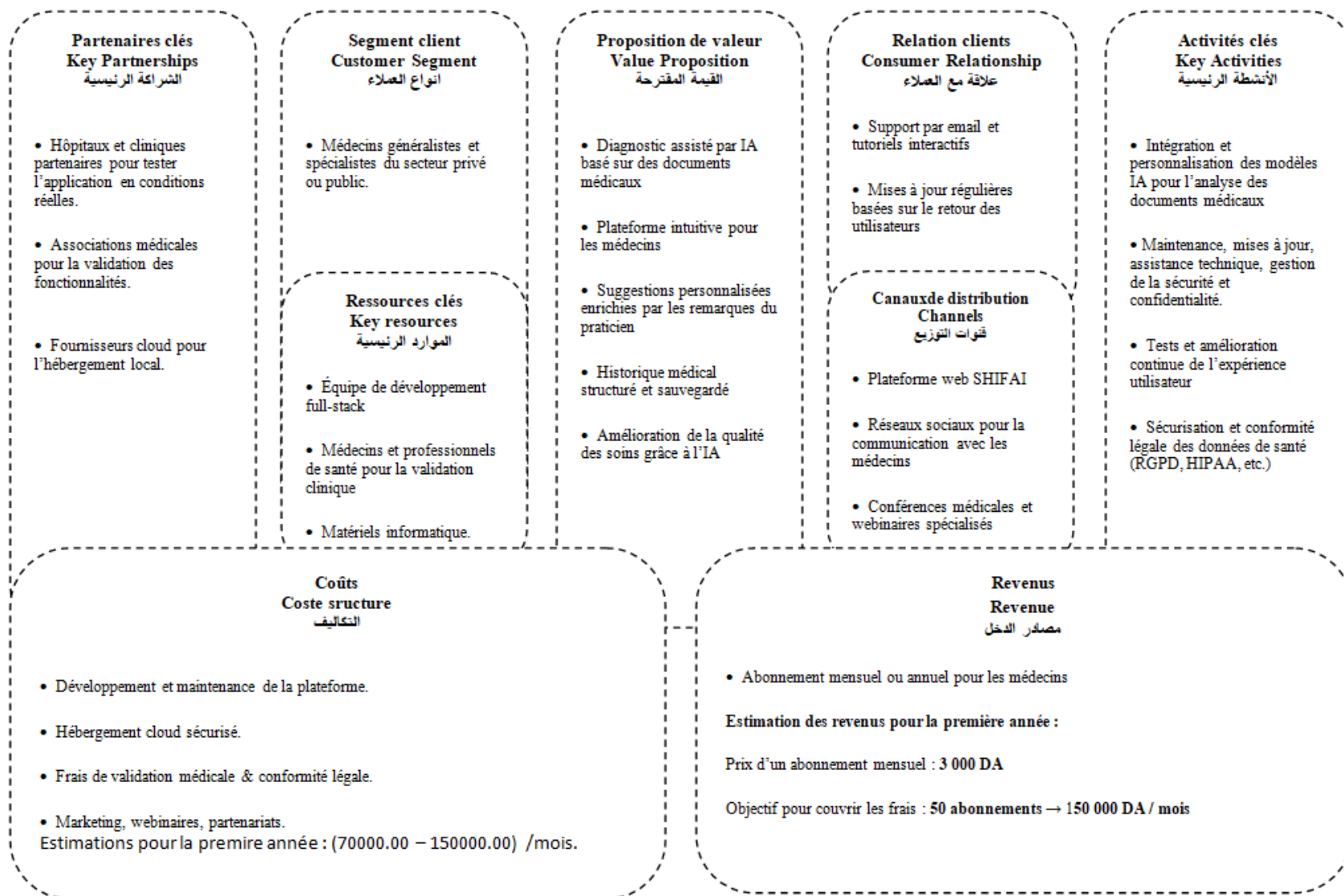


FIG. V.1 : Business Model Canvas (BMC)

CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre projet s'inscrit dans le cadre de la modernisation des outils de santé, consistant à développer un système d'aide au diagnostic pour les médecins baptisé **SHIFAI**. Ce système prend la forme d'une application web intelligente conçue pour assister les praticiens en interprétant des données cliniques complexes pour suggérer des hypothèses diagnostiques pertinentes. L'objectif est de fournir un support fiable et rapide, intégré au flux de travail médical.

La réalisation du système SHIFAI a été un projet ambitieux visant à offrir aux professionnels de santé une plateforme performante et intuitive pour améliorer la qualité et l'efficacité des soins. Parmi les fonctionnalités clés mises en œuvre, on trouve :

- La gestion sécurisée des dossiers patients, avec un historique complet des analyses.
- L'analyse par intelligence artificielle de documents et de notes cliniques pour en extraire les informations pertinentes.
- La génération d'hypothèses diagnostiques classées par ordre de probabilité.
- Une interface utilisateur moderne et responsive, avec des tableaux de bord pour le suivi de l'activité.
- Un panneau d'administration pour la gestion complète des utilisateurs et du contenu.

La réalisation du système SHIFAI a rencontré plusieurs contraintes et défis, notamment la complexité du langage médical, la nécessité de garantir une sécurité et une confidentialité sans faille des données de santé, et le défi de gagner la confiance des utilisateurs finaux. Cependant, grâce à une planification rigoureuse, une architecture logicielle modulaire et une approche de conception centrée sur l'utilisateur, nous avons réussi à surmonter ces obstacles.

Nous avons commencé par une analyse complète de l'existant pour fournir une conception détaillée en utilisant le langage de modélisation UML, en nous basant sur les besoins

identifiés des professionnels de santé. Après avoir établi nos modèles de conception (diagrammes de cas d'utilisation, de classes, et de séquence), nous avons pu entamer le développement pratique de l'application web.

À l'issue de la recherche bibliographique, nous avons identifié et analysé les besoins fonctionnels et non fonctionnels du système. Les exigences ont été spécifiées et ont guidé toute la phase de conception, assurant que le produit final soit cohérent, robuste et adapté aux contraintes du domaine médical.

Ce projet nous a permis d'améliorer considérablement nos connaissances dans un domaine passionnant et en constante évolution comme l'intelligence artificielle appliquée à la santé, tout en découvrant de nouvelles technologies comme Supabase, Vite, et des bibliothèques puissantes comme React.js et Tailwind CSS.

Enfin, ce mémoire de fin d'étude a abouti à la réalisation d'une application web fonctionnelle, capable d'assister réellement un médecin dans sa prise de décision. Le système SHIFAI représente une contribution significative dans le domaine de la médecine assistée par ordinateur et offre de nouvelles opportunités pour optimiser le processus de diagnostic. Les résultats obtenus et les connaissances acquises constituent une base solide pour des développements futurs.

Comme tout projet innovant, il y a toujours des possibilités d'amélioration. Voici quelques perspectives pour l'avenir :

- Intégrer des modèles d'IA plus spécialisés.
- Développer une intégration plus poussée avec les systèmes hospitaliers existants (Dossiers Médicaux Électroniques) en utilisant des normes comme FHIR.
- Mettre en place un système de feedback continu où l'IA apprend des corrections et validations des médecins pour améliorer sa précision.
- Enrichir les tableaux de bord avec des statistiques plus avancées pour l'analyse de l'activité et des tendances diagnostiques.
- Déployer l'application dans un cadre clinique réel pour des tests à grande échelle et pour recueillir des retours d'expérience concrets.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. J. TOPOL. « High-performance medicine : the convergence of human and artificial intelligence ». In : *Nature Medicine* 25.1 (2019), p. 44-56. DOI : 10.1038/s41591-018-0300-7.
- [2] Fei JIANG et al. « Artificial intelligence in healthcare : past, present and future ». In : *Stroke and vascular neurology* 2.4 (2017), p. 230-243.
- [3] Andre ESTEVA et al. « Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks ». In : *Nature* 542.7639 (2017), p. 115-118.
- [4] Abraham VERGHESE, Nigam H SHAH et Robert A HARRINGTON. « What this computer needs is a physician : Humanism and artificial intelligence ». In : *JAMA* 319.1 (2018), p. 19-20.
- [5] Christopher J KELLY et al. « Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence ». In : *BMC medicine* 17.1 (2019), p. 195.
- [6] TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR. *Glossaire : Médecine assistée par ordinateur (MAO)*. 2024. URL : <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/medecine-assistee-par-ordinateur>.
- [7] A. RAJKOMAR, J. DEAN et I. KOHANE. « Machine learning in medicine ». In : *New England Journal of Medicine* 380.14 (2019), p. 1347-1358. DOI : 10.1056/NEJMr1814259.
- [8] Mark L GRABER, Nancy FRANKLIN et Douglas R GORDON. « The frequency of diagnostic errors in outpatient care : estimations from three large observational studies involving US adult populations ». In : *BMJ quality & safety* 22.9 (2013), p. 727-731. DOI : 10.1136/bmjqs-2012-001615.
- [9] L. T. KOHN, J. M. CORRIGAN et M. S. DONALDSON. *To Err Is Human : Building a Safer Health System*. National Academy Press, 2000.
- [10] E. H. SHORTLIFFE. *Computer-Based Medical Consultations : MYCIN*. Elsevier, 1976.

-
- [11] Z. OBERMEYER et E. J. EMANUEL. « Predicting the Future — Big Data, Machine Learning, and Clinical Medicine ». In : *The New England Journal of Medicine* 375.13 (2016), p. 1216-1219. DOI : 10.1056/NEJMp1606181.
- [12] Thomas DAVENPORT et Ravi KALAKOTA. « The potential for artificial intelligence in healthcare ». In : *Future Healthcare Journal* 6.2 (2019), p. 94-98. DOI : 10.7861/futurehosp.6-2-94.
- [13] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Ethics and governance of artificial intelligence for health*. Rapp. tech. [consulté le 25 avril 2025]. World Health Organization, 2021. URL : <https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200>.
- [14] R. MIOTTO et al. « Deep learning for healthcare : review, opportunities and challenges ». In : *Briefings in Bioinformatics* 19.6 (2018), p. 1236-1246. DOI : 10.1093/bib/bbx044.
- [15] M. CHEN et al. « Disease Prediction by Machine Learning Over Big Data From Healthcare Communities ». In : *IEEE Access* 5 (2017), p. 8869-8879. DOI : 10.1109/ACCESS.2017.2694446.
- [16] Muhanad AL-AARAJI, Adel AL-JUMAILY et Zainab AL-TAMEEMI. « Explainable machine learning in healthcare : a review ». In : *Journal of Medical Systems* 47.1 (2023), p. 42. DOI : 10.1007/s10916-023-01939-2.
- [17] Leo BREIMAN. « Random Forests ». In : *Machine Learning* 45.1 (2001), p. 5-32. DOI : 10.1023/A:1010933404324.
- [18] Emon PODDAR, Ramya M. et Vinoth Kumar V. « A comprehensive review on the state-of-the-art of Alzheimer's disease diagnosis using machine learning and deep learning approaches ». In : *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 35.9 (2023), p. 101740. DOI : 10.1016/j.jksuci.2023.101740.
- [19] Scott Mayer MCKINNEY et al. « International evaluation of an AI system for breast cancer screening ». In : *Nature* 577.7788 (2020), p. 89-94. DOI : 10.1038/s41586-019-1799-6.
- [20] Ioana BICA et al. « From real-world patient data to individualized treatment effects : a review of the role of unsupervised learning in treatment effect estimation ». In : *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 25.9 (2021), p. 3257-3268. DOI : 10.1109/JBHI.2021.3092829.
- [21] Arun James THIRUNAVUKARASU et al. « Large language models in medicine ». In : *Nature Medicine* 29.8 (2023), p. 1930-1940. DOI : 10.1038/s41591-023-02448-8.
- [22] Chao YU et al. « Reinforcement learning in healthcare : A survey ». In : *ACM Computing Surveys (CSUR)* 55.1 (2021), p. 1-36. DOI : 10.1145/3477600.
- [23] James A M SIDEY-GIBBONS et Chris J SIDEY-GIBBONS. « Machine learning in medicine : a practical introduction ». In : *Journal of the American Medical Informatics Association* 27.11 (2020), p. 1819-1821. DOI : 10.1093/jamia/ocaa169.
- [24] D. JURAFSKY et J. H. MARTIN. *Speech and Language Processing (3rd ed. draft)*. <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/>. 2022.
- [25] Geert LITJENS et al. « A survey on deep learning in medical image analysis ». In : *Medical Image Analysis* 42 (2017), p. 60-88. DOI : 10.1016/j.media.2017.07.005.
-

-
- [26] PyTorch Core TEAM. *PyTorch – Tensors and Dynamic neural networks in Python*. [consulté le 3 mai 2025]. 2024. URL : <https://pytorch.org/>.
- [27] SCIKIT-LEARN DEVELOPERS. *Scikit-learn : Machine Learning in Python*. [consulté le 12 mai 2025]. 2024. URL : <https://scikit-learn.org/>.
- [28] EXPLOSION AI. *spaCy : Industrial-Strength Natural Language Processing*. [consulté le 1 mai 2025]. 2025. URL : <https://spacy.io>.
- [29] NLTK PROJECT. *Natural Language Toolkit*. [consulté le 2 mai 2025]. 2025. URL : <https://www.nltk.org>.
- [30] KERAS TEAM. *Keras : The Python Deep Learning API*. [consulté le 2 mai 2025]. 2025. URL : <https://keras.io>.
- [31] DOCKER, INC. *Docker : Build, Share, and Run Any App, Anywhere*. [consulté le 1 mai 2025]. 2025. URL : <https://www.docker.com>.
- [32] CLOUD NATIVE COMPUTING FOUNDATION. *Kubernetes*. [consulté le 1 mai 2025]. 2025. URL : <https://kubernetes.io>.
- [33] HL7 INTERNATIONAL. *Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)*. [consulté le 5 mai 2025]. 2024. URL : <https://www.hl7.org/fhir/>.
- [34] F. WANG, L. P. CASALINO et D. KHULLAR. « Deep learning in medicine — promise, progress, and challenges ». In : *JAMA Internal Medicine* 180.7 (2020), p. 1017-1020. DOI : 10.1001/jamainternmed.2020.0930.
- [35] IBM. *IBM Watson Health*. [consulté le 25 mars 2025]. 2024. URL : <https://www.ibm.com/watson-health>.
- [36] Hans PAPE et al. « The role of big data management, data registries, and machine learning algorithms for optimizing safe definitive surgery in trauma : a review ». In : *Patient Safety in Surgery* 18 (juin 2024). DOI : 10.1186/s13037-024-00404-0.
- [37] Ada HEALTH. *Your Personal Health Companion*. [consulté le 25 mars 2025]. 2024. URL : <https://ada.com>.
- [38] Babylon HEALTH. *Healthcare at Your Fingertips*. [consulté le 25 mars 2025]. 2024. URL : <https://www.babylonhealth.com>.
- [39] Krishaan KHUBCHAND. *Ada — Your Doctor Bot : Design Case Study and Sketch*. Avt. 2018. URL : <https://medium.com/nyc-design/ada-your-doctor-bot-design-case-study-and-sketch-4c4cb75bc9e8>.
- [40] S. KEESARA, A. JONAS et K. SCHULMAN. « Covid-19 and Health Care’s Digital Revolution ». In : *New England Journal of Medicine* 382 (2020), e82. DOI : 10.1056/NEJMp2005835. URL : <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp2005835>.
- [41] GOOGLE AI. *Gemini Diagnostic Assistance*. <https://ai.google.dev/competition/projects/gemini-diagnostic-assistance>. [consulté le 28 avril 2025]. 2025.
- [42] GOOGLE CLOUD. *Cloud Healthcare API*. <https://cloud.google.com/healthcare-api>. [consulté le 15 mai 2025]. 2025.
- [43] AMAZON WEB SERVICES. *Amazon Comprehend Medical*. <https://aws.amazon.com/comprehend/medical/>. [consulté le 15 mai 2025]. 2025.
- [44] IBM. *IBM Watson Health*. <https://www.ibm.com/watson-health>. [consulté le 16 mai 2025]. 2025.
-

- [45] MICROSOFT. *Microsoft Azure Health Bot*. <https://azure.microsoft.com/en-us/services/health-bot/>. [consulté le 15 mai 2025]. 2025.
- [46] U.S. DEPARTMENT OF HEALTH & HUMAN SERVICES. *The Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996 (HIPAA)*. <https://www.hhs.gov/hipaa/index.html>. 1996.
- [47] OBJECT MANAGEMENT GROUP. *OMG Unified Modeling Language (UML), Version 2.5.1*. <https://www.omg.org/spec/UML/2.5.1/>. Consulté le 18 juin 2025. 2021.
- [48] Erich GAMMA et al. *Design Patterns : Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Boston : Addison-Wesley, 1994. ISBN : 978-0201633610.
- [49] META. *React JS – A JavaScript library for building user interfaces*. [consulté le 5 mai 2025]. 2024. URL : <https://react.dev>.
- [50] VITE CONTRIBUTORS. *Vite – Next Generation Frontend Tooling*. [consulté le 5 mai 2025]. 2024. URL : <https://vitejs.dev>.
- [51] TAILWIND LABS. *Tailwind CSS – A utility-first CSS framework*. [consulté le 5 mai 2025]. 2024. URL : <https://tailwindcss.com>.
- [52] SHADCN. *shadcn/ui – Beautifully designed components*. [consulté le 5 mai 2025]. 2024. URL : <https://ui.shadcn.com>.
- [53] SUPABASE. *Supabase – The Open Source Firebase Alternative*. [consulté le 5 mai 2025]. 2024. URL : <https://supabase.com>.
- [54] Google CLOUD. *Documentation de Google Cloud Vision AI*. [consulté le 28 avril 2025]. 2025. URL : <https://cloud.google.com/vision/docs>.
- [55] GOOGLE. *Gemini : A Family of Highly Capable Multimodal Models*. Rapp. tech. [consulté le 18 avril 2025]. Google, 2023. URL : <https://deepmind.google/technologies/gemini/>.
- [56] VAPI, INC. *Vapi API Documentation*. [consulté le 18 juin 2025]. 2025. URL : <https://vapi.ai>.
- [57] OPENAI. *OpenAI API Documentation*. [consulté le 18 juin 2025]. 2025. URL : <https://platform.openai.com/docs>.
- [58] ELEVENLABS. *ElevenLabs - Generative Voice AI*. [consulté le 18 juin 2025]. 2025. URL : <https://elevenlabs.io>.
- [59] IAPOCALYPSE NOW. *La Meilleure Technique de Prompt Engineering (Nouvelle Méthode) - Arbre de Pensées*. <http://www.youtube.com/watch?v=kY-3WfUFIh8>. [consulté le 1 juin 2025]. 2023.
- [60] FREECODECAMP.ORG. *Prompt Engineering Tutorial – Master ChatGPT and LLM Responses*. http://www.youtube.com/watch?v=_ZvnD73m40o. [consulté le 1 juin 2025]. 2023.

Résumé

Les applications mobiles jouent un rôle crucial dans le domaine du tourisme, offrant de nombreux avantages aux voyageurs du monde entier. Elles permettent aux utilisateurs d'accéder rapidement à une multitude d'informations précieuses, telles que les attractions touristiques, les restaurants et les hébergements. Malgré les progrès technologiques dans ce domaine, l'Algérie reste encore en retrait. C'est dans ce contexte que notre projet s'inscrit, avec la création de « Morchid », une application mobile de guide touristique pour l'Algérie. L'objectif principal est de fournir aux touristes une plateforme conviviale et informative pour découvrir et explorer les sites touristiques, l'histoire, la culture et la nature de l'Algérie.

Mots clés : Tourisme, Guide touristique, Applications mobiles.

Abstract

Mobile applications play a crucial role in the tourism industry, offering numerous benefits to travelers worldwide. They provide users with quick access to a wealth of valuable information, such as tourist attractions, restaurants, and accommodations. Despite technological advancements in this field, Algeria still lags behind. In this context, our project involves the development of a mobile application for a tourist guide of Algeria, titled "Morchid." The main objective is to provide tourists with a user-friendly and informative platform to discover and explore Algeria's tourist sites, history, culture, and nature.

Keywords : Tourism, Tourist Guide, Mobile Applications.

ملخص

تمثل تطبيقات الهواتف المحمولة دوراً متزايد الأهمية في صناعة السياحة، مما يوفر العديد من الفوائد للمسافرين في جميع أنحاء العالم. تتيح للمستخدمين الوصول السريع إلى مجموعة غنية من المعلومات القيمة، مثل معالم الجذب السياحي، المطاعم، وأماكن الإقامة. وعلى الرغم من التقدم التكنولوجي في مجال السياحة، لا تزال الجزائر بعيدة عن هذا المجال. في هذا السياق، يعد مشروعنا تطوير تطبيق محمول ل دليل سياحي للجزائر، بعنوان "مorchid". الهدف الرئيسي هو توفير منصة سهلة الاستخدام وغنية بالمعلومات للسياح لاكتشاف واستكشاف المواقع السياحية، والتاريخ، والثقافة، والطبيعة في الجزائر.

الكلمات المفتاحية: السياحة، المرشد السياحي، التطبيقات المحمولة.