

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة عين تموشنت - بلحاج بوشعيب

Université de Ain Témouchent - Belhadj Bouchaib

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et Technologies

قسم الإلكترونيك والاتصالات

Département d'Électronique et Télécommunications



Mémoire de Fin d'Études – Projet de Startup

Projet innovant inscrit dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275, en vue de l'obtention du diplôme de Master en Électronique et Télécommunications

Spécialités : Instrumentation Électronique et Télécommunications

**Titre du mémoire**

**DoctorMind**

**Plateforme d'assistance Médicale Basé sur l'Intelligence Artificielle pour le Diagnostic et suivi des Patients**

Présenté par :

Mlle. Errouane Zineb (Instrumentation Électronique)

Mlle. Khelladi Zineb (Réseaux Télécommunications)

Mlle. Ziadi Feryal (Réseaux Télécommunications)

Mlle. Bengana Rime (Réseaux Télécommunications)

Mlle. Ouis saoussane (Télécommunications)

Mlle. Abdelmalek Hawaa (Télécommunications)

Nom & Prénom(s)	Grade	Qualité	Etablissement de rattachement
Dr Badir Bnekerlifa elhouaria	MCA	Présidente	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Sekkal Mansouria	MCA	Encadrant	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Ferouani Souheyla	MCA	Encadrant	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Yagoub Reda	MCB	Encadrant	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Benosmane Mourad	MCA	Examinateur	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Mekami Hayat	MCA	Invité d'honneur	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Aouni farida	Docteur	Partenaire socioéconomique	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib
Dr Gharbi Sabah	MCA	Représentante de l'Incubateur	Université d'Ain Temouchent Belhadj Bouchaib

Année universitaire : 2024 / 2025

## ***Dédicace***

À mes parents bien-aimés

Ce mémoire est avant tout le reflet de vos sacrifices, de votre patience et de votre amour  
inconditionnel.

Vous avez toujours été là pour moi, dans les moments de doute comme dans les instants de  
réussite. Votre soutien discret mais constant, vos conseils pleins de sagesse, et votre foi en  
moi m'ont donné la force d'avancer, même lorsque le chemin semblait incertain.

Vous m'avez appris les valeurs essentielles : la persévérance, le respect et l'humilité.

À vous, qui avez cru en moi quand je doutais,

À vous, qui m'avez soutenue silencieusement dans chaque étape,

À vous, qui avez tant donné pour que je puisse me consacrer à mes études...

Je vous dédie ce travail avec tout mon amour, ma gratitude et ma fierté.

À mes petits poussins Amine et Farouk.

À ma famille proche

À mon grand frère Mhamed, ma grande sœur Amina et son mari Kamel, mes oncles, tantes,  
cousins et cousines...

Merci pour votre affection sincère, vos encouragements, vos prières et votre bienveillance.

Chacun de vous, à sa manière, m'a apporté du réconfort et de la motivation.

Ce mémoire est aussi le vôtre, car vous avez contribué à ma stabilité et à mon équilibre.

À mes amis sincères

Vous qui avez partagé mes journées les plus intenses,

Vous qui avez été là pour rire, écouter, conseiller et me soutenir...

Merci pour votre présence authentique, pour vos mots réconfortants, pour votre patience dans  
les moments de stress.

Votre amitié a été un pilier tout au long de ce parcours.

**Errouane Zineb**

## ***Dédicace***

À mes chers parents

Aucune parole ne saurait exprimer toute la reconnaissance, l'amour et le respect que je vous dois. Merci pour vos sacrifices silencieux, votre amour inconditionnel et votre foi constante en moi. Vous avez été ma lumière dans l'obscurité, mes racines dans la tempête, et ce modeste travail est le fruit de votre patience et de votre dévouement. Je vous dédie cette réussite, car elle est avant tout la vôtre.

À mes frères bien-aimés, Mossab et Ali

Vos sourires, votre tendresse et votre présence ont adouci mes journées les plus lourdes. Vous m'avez encouragée sans relâche, et cette étape de ma vie est également la vôtre. Merci d'être mon refuge, mon foyer.

À ma sœur Amina

À toi, ma petite étoile, ma douce Amina,

Ton innocence, ta tendresse et ta lumière ont bercé mes journées les plus grises. Même sans le savoir, tu m'as offert la force de continuer, le courage de rêver, et l'envie d'aller jusqu'au bout. Ton rire résonne en moi comme une mélodie d'espoir, et ta présence est un refuge pour mon cœur fatigué. Tu es bien plus qu'une sœur : tu es un rayon de soleil dans ma vie. Je te dédie ce chapitre avec tout mon amour, car chaque page que j'ai écrite a été illuminée par ton sourire.

À ma tante Fatiha et à mes cousins Yasser, Zakaria, Mohamed et Ferial

Vous êtes bien plus qu'une famille : vous êtes ma deuxième maison, Votre amour, vos encouragements et votre présence ont profondément marqué mon parcours. Je vous remercie du fond du cœur pour tout ce que vous êtes pour moi.

À mon amie fidèle, Safaâ

Ta présence a été un rayon de lumière. Merci pour ton écoute, tes conseils, et ton soutien à chaque instant. Ton amitié est une richesse que je chéris profondément.

À mon amie Feryal

Quatre années d'efforts, de défis, de rires et de réussites partagées. Ton soutien constant, ta persévérance et ta complicité ont rendu ce parcours plus riche et plus humain. Merci d'avoir été présente à chaque étape, de croire en moi et de m'inspirer. Cette réussite est aussi la tienne, chère binôme de cœur.

À tous ceux qui ont cru en moi, de près ou de loin

Merci pour vos mots, vos gestes, votre bienveillance. Ce travail est un hommage à l'amour, à la solidarité et à l'espoir.

**Khelladi Zineb**

## ***Dédicace***

Avant que ce mémoire ne devienne un travail académique, il fut une aventure personnelle, faite d'efforts, de doutes, de prières et de soutiens silencieux.

Chaque page de ce projet porte en elle un peu de ceux qui m'ont portée, inspirée, entourée, aimée.

À travers ces lignes, je tiens à leur rendre hommage avec tout mon cœur.

Tout d'abord, je tiens à remercier Dieu de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce travail

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, aimerai toujours te remercier pour tous ce que tu as fait jusqu'à ce jour maman que j'adore.

À mes frères Djamel et Imad, À ma sœur Amira.

À ma grand-mère qui m'a toujours soutenu et aimé me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis.

À toute ma famille pour leur bienveillance, leur fierté sincère, leurs encouragements à chaque étape et leur amour inconditionnel.

À toi Zineb

Mon amie, ma partenaire de route, ma force silencieuse. Depuis le premier jour, jusqu'à cette dernière étape, tu as été là. Quatre années d'entraide, de travail, de doutes et de rires partagés.

Tu as su rendre ce parcours plus humain, plus léger, plus vrai. Merci pour ta patience, ton soutien constant, et ton amitié précieuse.

Partager cette soutenance à tes côtés est un honneur et une fierté.

À mes collègues de ce travail

**Ziadi Feryal**

## ***Dédicace***

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

À ma famille, pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien moral tout au long de mon parcours universitaire. Leur présence à mes côtés a toujours été une source de force et d'inspiration.

À mes enseignants, pour leur encadrement, leurs précieux conseils et leur bienveillance, qui ont été essentiels dans le développement de mes compétences et la concrétisation de ce projet.

À mes amis, pour leur encouragement, leur écoute, et leur soutien dans les moments de doute comme dans les moments de joie.

À mon équipe DoctorMind, pour leur collaboration, leur persévérance, et l'esprit d'innovation que nous avons partagé tout au long de cette belle aventure.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont cru en ce projet et en notre capacité à apporter un changement positif dans le domaine de la santé. Cette dédicace est pour vous.

**Ouis Saoussane**

## ***Dédicace***

Je dédie ce mémoire :

À mes parents, pour tout l'amour, le soutien et les sacrifices qu'ils ont faits pour moi.

Merci d'avoir toujours cru en moi, même quand moi je doutais.

Merci pour vos encouragements, votre patience et votre présence à chaque moment important de ma vie.

À ma famille, pour leur gentillesse, leur aide et leurs mots réconfortants.

À mes amis, pour leur soutien, leurs conseils et les bons moments partagés pendant ce travail.

À mes collègues, avec qui j'ai partagé cette belle aventure.

Merci pour votre esprit d'équipe, votre entraide, vos idées, votre bonne humeur et tous les moments d'échange et de soutien.

Travailler à vos côtés a été une expérience enrichissante, tant sur le plan professionnel qu'humain.

Votre présence a rendu ce parcours plus agréable et motivant.

À tous mes enseignants et encadrants, pour leur accompagnement précieux tout au long de ce travail et mon parcours.

Merci pour vos conseils, votre disponibilité et votre bienveillance.

Et à toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont croisé mon chemin durant cette période : un simple mot, un geste, un sourire... tout cela a contribué à m'aider à avancer.

Et enfin, je me remercie pour ma persévérance, ma patience et tous les efforts fournis tout au long de ce parcours.

Merci à moi-même de ne pas avoir abandonné, même dans les moments difficiles, et d'avoir cru en mes capacités jusqu'au bout.

**Bengana Rime**

## ***Dédicace***

À mes chers parents

Qui ont toujours été mon pilier tout au long de ma vie, par leurs prières, leur patience et leurs encouragements constants. Qu'Allah vous protège et vous récompense pour tous vos sacrifices.

À ma chère famille

À mes frères et sœurs, merci pour votre amour, votre soutien et votre compréhension.

À mes ami(e)s fidèles

Qui ont partagé avec moi les moments de fatigue et de joie, vous avez été un véritable soutien tout au long de ce parcours.

À ma noble enseignante du Saint Coran

Qui a semé dans mon cœur l'amour du Livre d'Allah et a été un modèle de patience et de sincérité. Qu'Allah vous récompense généreusement et élève votre rang ici-bas et dans l'au-delà.

À mes professeurs et encadrants respectés

Pour leurs orientations sages, leurs remarques précieuses et leur accompagnement scientifique et moral tout au long de la réalisation de ce mémoire. Je vous adresse toute ma gratitude et mon respect.

À tous ceux et celles

Qui m'ont soutenue de près ou de loin et qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à l'aboutissement de ce travail.

J'adresse ce modeste travail à tous ceux qui ont été une lumière sur mon chemin, en espérant qu'il soit sincère et bénéfique.

**Abdelmalek Hawaa**

## ***Remerciement***

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à mes encadrants, **Dr Sekkal, Dr Ferouani** et **Dr. Ygoub Reda**, pour leur disponibilité, leurs conseils éclairés et leur accompagnement tout au long de ce travail. Leur encadrement rigoureux et leur bienveillance ont été essentiels à la réussite de ce projet.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants qui nous ont transmis, tout au long de notre parcours universitaire, les connaissances et les outils nécessaires à la réalisation de ce projet.

Je n'oublie pas mes camarades, en particulier les collègues de projet, dont le soutien moral et intellectuel a été précieux à chaque étape.

La concrétisation de ce travail n'aurait pas été possible sans l'aide et la bienveillance de nombreuses personnes, à qui j'adresse toute ma gratitude.

## Abstract

This project is part of the development of an intelligent platform called **DoctorMind**, designed to assist medical staff in the early diagnosis, prevention, and monitoring of diseases through artificial intelligence. The project aims to demonstrate how machine learning and deep learning technologies can be applied to healthcare, particularly in contexts where human and material resources are limited.

**DoctorMind** is a smart diagnostic support platform, integrating several specialized modules for analyzing biological signals, medical images, and clinical data. Each functionality is based on AI models tailored to the type of input data, trained on publicly available benchmark datasets to ensure reliable and relevant results.

The core objective of this work is to build an intelligent, accessible, and scalable tool capable of enhancing screening and diagnostic support in various medical fields. This thesis outlines the design, training, evaluation, and integration phases of the models, with a strong emphasis on scientific rigor and alignment with real clinical needs.

This project is part of a broader vision of connected healthcare, where artificial intelligence does not replace the doctor, but provides reliable, fast, and personalized support—thus contributing to more efficient and patient-centered medicine.

### Keywords:

- Artificial Intelligence
- Machine Learning
- Deep Learning
- Smart Healthcare
- Medical Diagnosis
- Clinical Decision Support
- Medical Imaging
- Biological Signal Analysis
- Symptom-based Diagnosis
- Healthcare Technology
- DoctorMind Platform
- Disease Prevention
- Medical Monitoring
- Connected Health
- Patient-Centered Medicine
- AI in Medicine
- Intelligent System
- Diagnostic Tool
- Data-Driven Healthcare
- Scalable Solution

## الملخص

هذه الأطروحة جزء من تطوير منصة ذكية ، مُصممة لمساعدة الكادر الطبي في التشخيص المبكر للأمراض والوقاية منها ومراقبتها من خلال الذكاء الاصطناعي. يهدف المشروع إلى توضيح كيفية تطبيق تقنيات التعلم الآلي والتعلم العميق في مجال الرعاية الصحية، لا سيما في السياقات التي تكون فيها الموارد البشرية والمادية محدودة

هي منصة ذكية لدعم التشخيص، تدمج عدة وحدات متخصصة لتحليل الإشارات البيولوجية والصور الطبية والبيانات السريرية. تعتمد كل وظيفة على نماذج ذكاء اصطناعي مُصممة خصيصاً لنوع بيانات الإدخال، مُدربة على مجموعات بيانات مرجعية متاحة للجمهور لضمان نتائج موثوقة وذات صلة

الهدف الأساسي من هذا العمل هو بناء أداة ذكية، سهلة الوصول، وقابلة للتطوير، قادرة على تعزيز دعم الفحص والتشخيص في مختلف المجالات الطبية. تُحدد هذه الأطروحة مراحل التصميم والتدريب والتقييم ودمج النماذج، مع التركيز بشكل كبير على الدقة العلمية والتوافق مع الاحتياجات السريرية الفعلية. يعد هذا المشروع جزءاً من رؤية أوسع للرعاية الصحية المتصلة، حيث لا يحل الذكاء الاصطناعي محل الطبيب، بل يوفر دعماً موثوقاً وسريعاً وشخصياً وبالتالي. المساهمة في الطب الأكثر كفاءة وتركيزاً على المريض

### الكلمات المفتاحية

الذكاء الاصطناعي التعلم

الآلي

التعلم العميق

التشخيص الطبي دعم

القرار السريري الإشارات

البيولوجية الصور

الطبية البيانات السريرية

منصة

الرعاية الصحية الذكية

التشخيص المبكر

الوقاية من الأمراض

مراقبة الحالة الصحية

الطب المدعوم بالذكاء الاصطناعي الرعاية الصحية

المتصلة

أداة تشخيص ذكية

## Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre du développement d'une plateforme intelligente nommée **DoctorMind**, conçue pour assister le personnel médical dans le diagnostic précoce, la prévention et le suivi des pathologies à l'aide de l'intelligence artificielle. Le projet vise à démontrer comment les technologies d'apprentissage automatique (machine learning) et d'apprentissage profond (deep learning) peuvent être mises au service de la santé, notamment dans des contextes où les ressources humaines et matérielles sont limitées.

**DoctorMind** est une plateforme intelligente d'aide au diagnostic, intégrant plusieurs modules spécialisés dans l'analyse de signaux biologiques, d'images médicales et de données cliniques. Chaque fonctionnalité repose sur des modèles d'IA adaptés au type de données, entraînés sur des bases publiques reconnues, afin d'assurer des résultats fiables et pertinents.

L'objectif central de ce travail est de construire un outil intelligent, accessible et évolutif, capable de renforcer les capacités de dépistage et d'aide au diagnostic dans différents domaines médicaux. Ce mémoire retrace les étapes de conception, d'entraînement, d'évaluation et d'intégration des modèles, tout en mettant l'accent sur la rigueur scientifique et l'adéquation aux besoins cliniques réels.

Ce projet s'inscrit dans une vision globale de la santé connectée, où l'intelligence artificielle ne remplace pas le médecin, mais lui apporte un appui fiable, rapide et personnalisé, contribuant ainsi à une médecine plus efficace et centrée sur le patient.

### Mots clés :

- Intelligence artificielle
- Apprentissage automatique
- Apprentissage profond
- Diagnostic médical
- Aide à la décision clinique
- Signaux biologiques
- Images médicales
- Données cliniques
- Santé connectée
- Plateforme intelligente

## Sommaire

<i>Dédicace</i> .....	2
<i>Remerciement</i> .....	8
Abstract .....	9
الملخص .....	10
Résumé.....	11
Sommaire .....	12
Liste des figures.....	16
Abréviations .....	17
Introduction général.....	18
Chapitre I.....	20
Les défis du secteur de la santé et l'apport de l'intelligence artificielle .....	20
1. Introduction.....	21
2. Problématiques actuelles dans le secteur de la santé.....	21
2.1 Surcharge des structures médicales .....	21
2.2 Pénurie de personnel médical.....	22
2.3 Inégalités d'accès aux soins .....	22
2.4 Retards de diagnostic .....	22
2.5 Désorientation des patients face aux symptômes .....	23
3. L'intelligence artificielle : un levier d'innovation pour la santé.....	23
3.1 Amélioration de l'aide au diagnostic .....	23
3.2 Orientation préliminaire du patient.....	23
3.3 Réduction des inégalités.....	24
4. Une solution innovante adaptée au contexte algérien .....	24
5. Conclusion .....	24
Chapitre II .....	25
Les différentes techniques d'intelligences artificielles .....	25
1. Introduction.....	26
2. Définition .....	26
3. Les différentes techniques d'intelligences artificielles .....	27
3.1 Apprentissage automatique (Machine Learning, ML).....	27
3.2 Apprentissage Profond (Deep Learning, DL) .....	28
4. Les réseaux de neurones .....	29
4.1 Réseaux de neurones artificiels (ANN - Artificial Neural Networks).....	29
4.2 Architecture d'un ANN.....	30
5. Les différents types de réseaux de neurones.....	31

## Sommaire

5.1 Réseaux de neurones convolutifs (Convolutional Neural Networks) .....	31
5.2 Architecture d'un CNN.....	31
5.3 Réseaux de neurones à rétroaction (RNN - Recurrent Neural Networks) .....	32
5.4 Architecture de RNN .....	32
6. Les différentes méthodes d'apprentissage .....	33
6.1 Apprentissage supervisé (supervised learning).....	33
6.2 Apprentissage non supervisé (unsupervised learning).....	34
6.3 Apprentissage par renforcement (reinforcement learning) .....	34
7. Arbres de décision.....	34
7.1 Light-GBM.....	35
8. Conclusion .....	35
Chapitre III .....	36
Les modèles d'analyse médicale intégrés dans la plateforme .....	36
1. Introduction.....	38
2. L'enivrement de travail.....	38
3. Les bibliothèques utilisées .....	39
3.1 NumPy (Numerical Python).....	39
3.2 Matplotlib.....	40
3.3 TensorFlow.....	40
3.4 Keras.....	41
3.5 Librosa .....	41
3.6 WFDB (Waveform Database).....	41
3.7 Scikit-learn .....	42
3.8 Pandas .....	42
3.9 OpenCv (Open Source Computer Vision Library).....	43
3.10 Seaborn.....	43
.....	43
3.11 Gradio.....	43
4. Les modèles développés .....	44
4.1 Modèle ECG (Électrocardiogramme) .....	44
a. Objectif du modèle.....	44
b. Données utilisées .....	44
c. Architecture du modèle .....	44
d. Résultats obtenus .....	45
4.2 Modèle PCG (Phono cardiogramme).....	46
a. Objectif du modèle.....	46

b.	Données utilisée .....	<b>Sommaire</b> .....	46
c.	Architecture du modèle .....		46
d.	Résultats obtenu .....		46
4.3	Modèle basé sur les symptômes .....		47
a.	Objectif du modèle.....		47
b.	Données utilisées .....		48
c.	Architecture du modèle .....		48
d.	Résultats obtenus .....		48
4.4	Modèle de classification des tumeurs cérébrales à partir d'IRM .....		49
a.	Objectif du modèle.....		49
b.	Données utilisées .....		49
c.	Architecture du modèle .....		50
d.	Résultats obtenus .....		50
4.5	Modèle basé sur l'analyser des images dermatologiques.....		52
a.	Objectif du modèle.....		52
b.	Données utilisées .....		52
c.	Architecture du modèle .....		53
d.	Résultats obtenus .....		54
5	Conclusion .....		54
Chapitre IV .....			56
Les langages et les technologies utilisés .....			56
1	Introduction.....		57
2	Langage et technologies utilisées .....		57
2.1	Présentation de L'HTML, CSS et JavaScript.....		57
2.2	React JS.....		59
2.3	FireBase .....		61
3.	Principe de fonctionnement .....		63
3.1	Page d'atterrissage (Landing page) .....		63
3.2	Gestion de l'inscription / connexion des médecins et patients.....		64
3.3	Intégration des modèles de l'IA .....		66
4.	Conclusion .....		67
Chapitre V .....			68
Présentation de la plateforme DoctorMind.....			68
1.	Introduction.....		69
2.	Objectifs de DoctorMind .....		69
3.	Fonctionnalités principales .....		70

## Sommaire

3.1	Analyse des Signaux Biologiques (ECG et PCG).....	70
3.2	Interprétation des Symptômes Textuels.....	71
3.3	Analyse d’Imagerie Médicale (IRM Cérébrale).....	72
3.5	Génération de Recommandations Médicales.....	74
4	Utilisateurs ciblés .....	75
4.1	Les patients.....	76
4.2	Les professionnels de santé.....	77
4.3	Les structures de télémédecine et les établissements de soins .....	77
4.4	Les compagnies d’assurances santé.....	77
4.5	Les chercheurs et développeurs en e-santé .....	77
5	Conclusion .....	78
	Conclusion générale.....	79
	Bibliographie .....	80
	.....	103
	.....	106

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Relation entre IA, Machine-learning et Deep learning .....	27
<b>Figure 2:</b> Comparaison visuelle entre Machine Learning et Deep Learning .....	29
<b>Figure 3:</b> Architecture d'un réseau de neurones artificiels (ANN) .....	30
<b>Figure 4:</b> Architecture standard d'un réseau de neurone à convolution (CNN).....	32
<b>Figure 5:</b> Architecture d'un réseaux de neurones récurrents (RNN).....	33
<b>Figure 6:</b> Architecture d'un Aebre de décision .....	35
<b>Figure 7:</b> l'intelligence artificielle dans le domaine médicale .....	38
<b>Figure 8:</b> Interface de Google Colab .....	39
<b>Figure 9:</b> Logo de la bibliothèque Numpy .....	40
<b>Figure 10:</b> Logo de la bibliothèque Matplotlib.....	40
<b>Figure 11:</b> Logo de la bibliothèque Tensorflow .....	40
<b>Figure 12:</b> Logo de la bibliothèque Keras.....	41
<b>Figure 13:</b> Logo de la bibliothèque Librosa.....	41
<b>Figure 14:</b> Logo de la bibliothèque Scikit-learn.....	42
<b>Figure 15:</b> Logo de la bibliothèque Pandas.....	42
<b>Figure 16:</b> Logo de la bibliothèque OpenCv.....	43
<b>Figure 17:</b> Logo de la bibliothèque Seaborn .....	43
<b>Figure 18:</b> Logo de la bibliothèque Gradio .....	44
<b>Figure 19:</b> l'évolution de la perte (loss) et de la précision (accuracy) .....	45
<b>Figure 20:</b> courbe de précision (train / validation) au cours de l'entraînement. ....	51
<b>Figure 21:</b> L'évolution de la précision du modèle.....	53
<b>Figure 22 :</b> HTML .....	58
<b>Figure 23:</b> Feuilles de style en cascade.....	59
<b>Figure 24:</b> JavaScript .....	59
<b>Figure 25:</b> logo React js .....	61
<b>Figure 26:</b> logo firebase .....	62
<b>Figure 27:</b> landing page.....	63
<b>Figure 28:</b> Présentation des fonctionnalités.....	64
<b>Figure 29:</b> flowchart de DoctorMind .....	66
<b>Figure 30:</b> Résultats ECG.....	70
<b>Figure 31:</b> Résultats PCG.....	71
<b>Figure 32:</b> résultats des symptômes .....	72
<b>Figure 33:</b> Résultats IRM.....	73
<b>Figure 34:</b> Interface de la dermatologie .....	74
<b>Figure 35:</b> Résultats dermatologie .....	74
<b>Figure 36:</b> Inscription de patients .....	75
<b>Figure 37:</b> interface de symptômes pour patients.....	75

## **Abréviations**

**IA** : Intelligence Artificielle

**OMS** : l'Organisation mondiale de la santé

**ML**: Machine Learning

**DL**: Deep Learning

**ANN**: Artificial Neural Networks

**CNN**: Convolutional Neural Network

**RNN**: Recurrent Neural Networks

**ECG**: Electrocardiograms

**PCG**: Phonocardiograms

**BMC**: Business Model Canvas

**ACP** : l'analyse en Composantes Principales

**RGPD** : Règlement Général sur la Protection des Données

**ONG** : Organisations non gouvernementales

## **Introduction général**

Face à l'évolution rapide des besoins médicaux et à la complexité croissante des pathologies contemporaines, le recours à des systèmes intelligents s'impose aujourd'hui comme une nécessité pour appuyer les professionnels de santé dans leurs prises de décision. L'analyse manuelle des signaux biologiques, des images médicales ou des données cliniques demeure un processus laborieux, exposé à des risques d'erreur humaine et fortement tributaire du niveau d'expertise disponible.

Dans ce contexte, les avancées récentes en intelligence artificielle en particulier celles liées aux réseaux de neurones profonds ont ouvert de nouvelles perspectives. Ces technologies ont démontré des performances remarquables dans des tâches complexes de classification, de détection et d'interprétation, atteignant, voire dépassant, les capacités humaines dans certains cas bien définis.

### **Problématique**

Le secteur de la santé connaît une croissance exponentielle des données médicales, générées à travers des examens cliniques, biologiques et d'imagerie. Cependant, l'exploitation efficace de ces données reste un défi majeur, en particulier dans les contextes où les ressources humaines et techniques sont limitées. Les professionnels de santé doivent souvent prendre des décisions rapides avec des informations incomplètes ou complexes, ce qui peut compromettre la qualité du diagnostic ou retarder la prise en charge.

Face à ces enjeux, il devient impératif de développer des outils intelligents capables d'assister les praticiens dans l'interprétation de données médicales variées. La question centrale posée est donc la suivante : comment concevoir une plateforme intelligente, fondée sur des techniques d'intelligence artificielle, capable de renforcer la détection précoce, le suivi et la prévention des pathologies dans des environnements cliniques réels ?

### **Contexte**

Dans un contexte de transition vers la santé numérique, de nombreux travaux de recherche ont montré l'efficacité des algorithmes d'apprentissage automatique et de deep learning dans la classification d'images, l'analyse de signaux biologiques ou la prédiction à partir de données cliniques. Ces modèles, entraînés sur des bases de données publiques ou cliniques, permettent de simuler un raisonnement médical, d'automatiser certaines tâches répétitives, et de soutenir la prise de décision.

Ce projet s'inscrit dans cette dynamique, en proposant une solution intégrée, modulable et adaptée à différents types de données médicales. Il vise à offrir un outil accessible aux professionnels de santé et aux structures médicales, en particulier dans les contextes à ressources limitées, où l'accès aux spécialistes demeure restreint.

### **Contributions**

Ce travail de mémoire présente plusieurs contributions majeures :

- **Développement de modèles d'intelligence artificielle appliqués à la santé** couvrant plusieurs domaines cliniques tels que l'analyse automatisée de signaux biologiques, la classification d'images médicales pour la détection de tumeurs cérébrales, la reconnaissance de lésions cutanées à partir d'images dermatologiques et autres spécialités, ainsi que la prédiction de maladies à partir de symptômes ou de données cliniques structurées.
- **Exploiter des bases de données médicales fiables** pour entraîner des modèles d'intelligence artificielle robustes et scientifiquement valides.
- **Assister les professionnels de santé** dans l'aide au diagnostic, notamment en automatisant l'analyse de signaux biologiques, d'images médicales ou de données cliniques.
- **Réduire la charge de travail médicale**, en offrant des outils rapides et accessibles pour le dépistage initial ou le triage des patients.
- **Fournir aux patients une évaluation préliminaire**, facilitant une prise en charge plus rapide et limitant le risque d'aggravation en cas de retard diagnostique.
- **Améliorer l'accès aux services de santé** dans les contextes à ressources limitées, notamment dans les zones sous-médicalisées ou éloignées.

### Organisation du manuscrit

Le présent mémoire est structuré comme suit :

- **Chapitre 1** : Introduction générale, contexte et problématique du projet, ainsi que les objectifs visés.
- **Chapitre 2** : Présentation des fondements théoriques de l'intelligence artificielle appliquée au domaine médical, avec un état de l'art sur les techniques utilisées.
- **Chapitre 3** : Détail des méthodes de conception et d'entraînement des différents modèles IA intégrés et analyse des résultats expérimentaux obtenus pour chaque modèle de la plateforme.
- **Chapitre 4** : les langages et les technologies utilisées.
- **Chapitre 5** : Présentation de la plateforme.
- **Business Model Canvas (BMC)** : Une analyse des aspects économiques et stratégiques pour assurer la mise en œuvre et la pérennité de notre projet.

**Chapitre I :**  
**Les défis du secteur de la  
santé et l'apport de  
l'intelligence artificielle**

# **Chapitre I : Les défis du secteur de la santé et l'apport de l'intelligence artificielle**

## **1. Introduction**

Le secteur de la santé est aujourd'hui confronté à de nombreux défis majeurs. Parmi les plus préoccupants figurent la surcharge des structures médicales, le manque de personnel soignant, l'allongement des délais d'attente pour obtenir un diagnostic fiable, ainsi que les inégalités d'accès aux soins, notamment dans les zones rurales ou sous-médicalisées. Ces difficultés ont des répercussions directes sur la qualité de la prise en charge des patients, provoquant des retards de diagnostic, des aggravations de pathologies pourtant évitables, et une augmentation de la mortalité évitable. Un autre problème fréquemment observé chez les patients est la confusion face à leurs propres symptômes. Beaucoup de personnes ont des difficultés à identifier la gravité de leur état de santé ou à faire la différence entre des affections bénignes et des maladies plus sérieuses. Cette incertitude les pousse souvent à perdre un temps précieux à consulter des sources non fiables sur Internet, à retarder la consultation médicale, ou à se rendre inutilement aux urgences, contribuant ainsi à la saturation des hôpitaux.

Dans ce contexte, l'intelligence artificielle (IA) apparaît comme une solution innovante pour relever les défis actuels du secteur de la santé. Capable d'analyser rapidement de grandes quantités de données médicales, elle facilite la détection précoce des maladies, l'interprétation automatisée des signaux biologiques et des images médicales, ainsi que l'analyse des symptômes décrits par les patients.

En automatisant certaines tâches médicales, l'IA contribue à réduire la charge des structures de soins et à raccourcir les délais de diagnostic, tout en améliorant l'accès aux soins, notamment dans les zones sous-médicalisées. Intégrée à des plateformes numériques, elle offre un accompagnement intelligent au patient et oriente efficacement vers la spécialité médicale appropriée.

## **2. Problématiques actuelles dans le secteur de la santé**

### **2.1 Surcharge des structures médicales**

De nombreux établissements de santé sont confrontés à un engorgement chronique, caractérisé par une saturation des services d'urgence, des délais d'attente prolongés pour accéder aux spécialistes et des parcours de soins souvent désorganisés. Ces dysfonctionnements nuisent à la qualité des soins et à la sécurité des patients, en particulier pour ceux atteints de maladies chroniques ou en situation d'urgence. La pandémie de COVID-19 a accentué ces faiblesses structurelles. Elle a mis en évidence le manque de résilience des systèmes hospitaliers, la pénurie de personnel médical, et l'incapacité de nombreuses structures à absorber une forte hausse de la demande en soins. Plusieurs études menées après la crise

## **Chapitre I : Les défis du secteur de la santé et l'apport de l'intelligence artificielle**

sanitaire ont documenté la collecte massive de rapports d'interventions chirurgicales, les retards dans les diagnostics de cancers ou encore l'épuisement professionnel du personnel médical [1].

### **2.2 Pénurie de personnel médical**

Un autre défi majeur du secteur de la santé est la pénurie de personnel qualifié, notamment de médecins, d'infirmiers et de techniciens spécialisés. Ce phénomène touche aussi bien les pays développés que ceux en développement, mais il est particulièrement critique dans les pays à revenu faible et intermédiaire. Selon un rapport de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il manquera près de 10 millions de professionnels de santé d'ici 2030 dans ces pays, si des mesures structurelles ne sont pas prises. Cette pénurie affecte directement la qualité, la continuité et la rapidité des soins. Les conséquences sont nombreuses : surcharge de travail pour le personnel existant, retards dans les diagnostics, baisse de la qualité de l'écoute médicale, et délais allongés pour les traitements spécialisés. Dans certaines régions rurales ou isolées, cette carence se traduit même par une absence totale de structures médicales accessibles [2].

### **2.3 Inégalités d'accès aux soins**

Les populations vivant dans les zones rurales ou isolées rencontrent de grandes difficultés d'accès aux soins médicaux spécialisés. Ces régions souffrent souvent d'un manque d'infrastructures sanitaires, d'une pénurie de personnel médical qualifié, et de contraintes géographiques qui compliquent l'accès aux établissements de santé. En conséquence, les habitants de ces zones sont confrontés à des retards de diagnostic, à une prise en charge insuffisante, voire à une absence totale de suivi médical. Cette situation contribue à accentuer les inégalités de santé entre les territoires, créant une fracture sanitaire durable entre les zones urbaines bien équipées et les zones rurales.

### **2.4 Retards de diagnostic**

Dans de nombreuses situations, les diagnostics sont posés à un stade avancé de la maladie, en particulier pour des pathologies chroniques telles que le diabète, les affections cardiovasculaires ou certains types de cancers. Ce retard dans la détection entraîne non seulement une détérioration de l'état de santé du patient, mais également une hausse significative des coûts liés à la prise en charge médicale. Dans les cas les plus graves, il peut conduire à des complications irréversibles, voire à des décès qui auraient pu être évités grâce à un dépistage précoce.

### 2.5 Désorientation des patients face aux symptômes

Un grand nombre de patients rencontrent des difficultés à évaluer la nature et la gravité de leurs symptômes. En l'absence d'un accompagnement médical immédiat, ils se tournent fréquemment vers des sources d'information non vérifiées telles que des blogs ou vidéos en ligne. Cette désorientation peut entraîner deux comportements opposés : soit un retard de consultation pouvant aggraver l'état de santé, soit une sollicitation excessive des services d'urgence pour des affections mineures, accentuant ainsi la surcharge des structures hospitalières.

### 3. L'intelligence artificielle : un levier d'innovation pour la santé

L'intelligence artificielle (IA) s'impose aujourd'hui comme un levier essentiel d'innovation dans le secteur médical. Grâce à des techniques avancées telles que l'apprentissage automatique, les réseaux de neurones profonds et le traitement du langage naturel, elle permet d'exploiter de vastes volumes de données médicales (big data) de manière rapide et pertinente. Cette capacité ouvre la voie à des diagnostics plus précoces, à des traitements personnalisés et à une prévention mieux ciblée, renforçant ainsi l'efficacité et la réactivité du système de santé.

#### 3.1 Amélioration de l'aide au diagnostic

L'intelligence artificielle (IA) s'impose comme un levier majeur pour moderniser les systèmes de santé. Grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique et des réseaux de neurones profonds, elle permet d'exploiter efficacement les données médicales pour améliorer le diagnostic, le traitement et la prévention.

L'un de ses apports les plus prometteurs est l'aide à la décision clinique. Par exemple, des modèles d'IA peuvent analyser des images médicales ou des signaux biologiques avec une précision équivalente, voire supérieure, à celle de certains spécialistes. Une étude parue dans *Nature* a montré qu'un réseau de neurones était capable de détecter des cancers de la peau au niveau d'un dermatologue confirmé [3].

En outre, l'IA permet d'automatiser des tâches répétitives, de fluidifier les parcours de soins et de mieux orienter les patients, notamment via des outils de triage intelligent ou de télémédecine. Elle ne remplace pas les professionnels de santé, mais les assiste efficacement pour améliorer la qualité et l'accessibilité des soins.

#### 3.2 Orientation préliminaire du patient

Des plateformes intelligentes exploitant l'intelligence artificielle offrent aujourd'hui aux patients la possibilité de décrire leurs symptômes en ligne. Ces systèmes fournissent une première évaluation automatisée, accompagnée d'une orientation vers la spécialité médicale adéquate. Ce type d'outil contribue à réduire les consultations inutiles, à désengorger les

## Chapitre I : Les défis du secteur de la santé et l'apport de l'intelligence artificielle

structures médicales et à améliorer l'accès aux soins spécialisés, notamment dans les zones sous-dotées [4].

### 3.3 Réduction des inégalités

L'intelligence artificielle permet de décentraliser l'accès aux soins en rendant certains services de diagnostic disponibles à distance, notamment par le biais de plateformes en ligne ou d'applications mobiles. Cette accessibilité numérique offre une solution concrète aux populations vivant dans des zones rurales ou éloignées, souvent confrontées à une pénurie de médecins spécialistes. En facilitant l'évaluation initiale des symptômes ou l'analyse d'images médicales à distance, l'IA contribue à réduire les inégalités géographiques en matière de santé.

### 4. Une solution innovante adaptée au contexte algérien

Face aux nombreux problèmes identifiés dans le secteur de la santé, notre démarche s'inscrit dans une volonté claire : concevoir une plateforme intelligente capable de répondre aux besoins réels du terrain, notamment en matière de diagnostic, d'orientation et de prévention médicale. L'objectif n'est pas seulement de proposer un outil numérique, mais de mobiliser l'intelligence artificielle pour renforcer la qualité des soins, réduire les délais d'accès au diagnostic, et mieux accompagner les patients dans leur parcours de santé. Actuellement, en Algérie, les solutions numériques disponibles dans le domaine médical restent limitées à la gestion administrative, comme la prise de rendez-vous, la centralisation du dossier médical, ou encore l'accès à des informations sur les praticiens (spécialité, localisation, horaires, etc.). Ces plateformes, bien que utiles, n'intègrent aucune fonctionnalité de diagnostic médical assisté par IA. Il existe donc un véritable vide technologique dans ce domaine, alors même que les besoins sont croissants. C'est pour répondre à cette lacune que nous avons imaginé **DoctorMind**, une plateforme intelligente de santé qui ambitionne d'intégrer des outils d'analyse basés sur l'intelligence artificielle, couvrant plusieurs spécialités médicales. Grâce à cette approche, notre solution vise à faciliter un premier niveau d'évaluation médicale, à guider les patients de manière plus éclairée et à soutenir les professionnels de santé dans leur travail quotidien.

### 5. Conclusion

Ce chapitre a permis de mettre en lumière les principaux défis auxquels fait face le secteur de la santé et le potentiel qu'offre l'intelligence artificielle pour y répondre. En apportant des solutions concrètes en matière de diagnostic, d'accès aux soins et d'optimisation des ressources, l'IA ouvre la voie à une transformation profonde et durable des systèmes de santé. C'est dans cette logique que s'inscrit la plateforme **DoctorMind**, en proposant des outils intelligents et accessibles au service d'une médecine plus réactive et adaptée aux besoins actuels.

**Chapitre II :**  
**Les différentes techniques  
d'intelligences artificielles**

## Chapitre II : Les différentes techniques d'intelligence artificielles

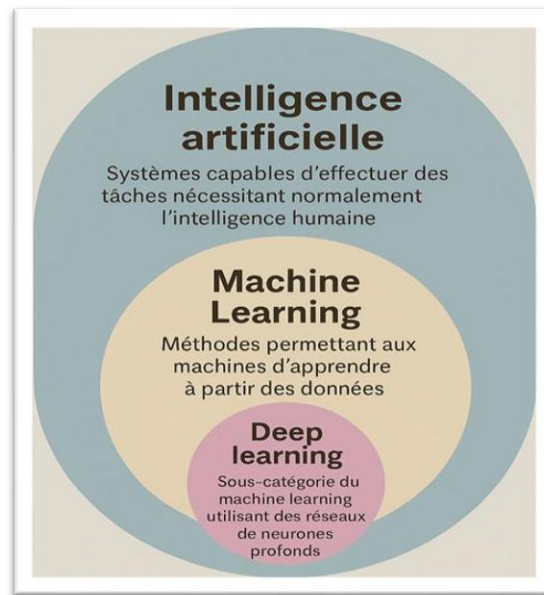
### 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'intelligence artificielle (IA), cette dernière s'impose aujourd'hui comme l'un des piliers de l'innovation technologique. Inspirée du fonctionnement du cerveau humain, elle désigne l'ensemble des méthodes et techniques qui permettent aux machines d'imiter certaines capacités cognitives, telles que l'apprentissage, la perception ou la prise de décision. Grâce aux progrès fulgurants de l'informatique et à la disponibilité massive de données, l'IA est désormais présente dans de nombreux secteurs : santé, finance, industrie, transport, éducation, et bien d'autres encore. Elle offre des solutions puissantes à des problèmes complexes, en automatisant des tâches répétitives, en analysant de grands volumes de données et en proposant des prédictions ou recommandations de plus en plus précises. Cependant, cette avancée technologique soulève aussi des interrogations fondamentales sur la place que nous souhaitons donner à ces systèmes intelligents dans nos sociétés, notamment en matière de responsabilité, de transparence et d'éthique.

### 2. Définition

L'intelligence artificielle (IA), connue sous le nom d'Artificial Intelligence (AI) en anglais, fait référence à un ensemble de méthodes permettant aux machines de reproduire une certaine forme d'intelligence humaine. Elle vise à automatiser des tâches généralement liées à la réflexion humaine, telles que la prise de décisions, la résolution de problèmes ou l'apprentissage. Le but de l'intelligence artificielle est de doter les machines de la capacité à agir comme des êtres humains, voire à être indistinctes d'eux dans certaines circonstances [5].

Ce champ d'étude a vu le jour dans les années 1950 et continue de se développer sans cesse depuis. Actuellement, l'intelligence artificielle trouve son application dans divers secteurs tels que la santé, les transports, la finance et même l'éducation. Elle inclut aussi deux secteurs majeurs : le machine Learning et le Deep-Learning, qui offrent aux machines la possibilité d'apprendre à partir de données sans nécessiter une programmation spécifique pour chaque tâche [2].



**Figure 1:** Relation entre IA, Machine-learning et Deep learning [6]

### 3. Les différentes techniques d'intelligences artificielles :

Nous trouvons divers types de modèles d'intelligence artificielle, chacun étant élaboré pour correspondre à des applications particulières. Ces modèles se caractérisent par leur structure, leur capacité d'apprentissage et les domaines dans lesquels ils sont appliqués. De plus, l'intelligence artificielle s'appuie sur divers types d'apprentissage supervisé, non supervisé et par renforcement, chacun mettant en œuvre des algorithmes spécifiques en fonction des données traitées et des buts recherchés. Ainsi, Nous présentons un aperçu des modèles les plus marquants et des méthodes d'apprentissage les plus couramment employées dans le secteur de l'intelligence artificielle.

#### 3.1 Apprentissage automatique (Machine Learning, ML)

Deux phases primordiales constituent le fondement de l'apprentissage automatique. La première approche implique de former un modèle à partir d'un jeu de données restreint, rassemblé lors de l'élaboration du système. Ce processus permet d'équiper le modèle d'une compétence spécifique, telle que la traduction d'un texte, l'identification d'objets dans une image, l'estimation d'une fonction de probabilité ou même la participation à la conduite d'un véhicule autonome. Cette étape de formation est essentielle avant toute utilisation pratique.

Après avoir été formé, le modèle passe à la phase d'utilisation. Il est donc capable d'accepter des données récentes et de générer des résultats en lien avec la mission pour laquelle il a été élaboré. Certains systèmes, notamment ceux qui intègrent des processus de rétroaction, ont la capacité de continuer leur apprentissage une fois mis en service, ce qui améliore sans cesse leur performance.

## Chapitre II : Les différentes techniques d'intelligence artificielles

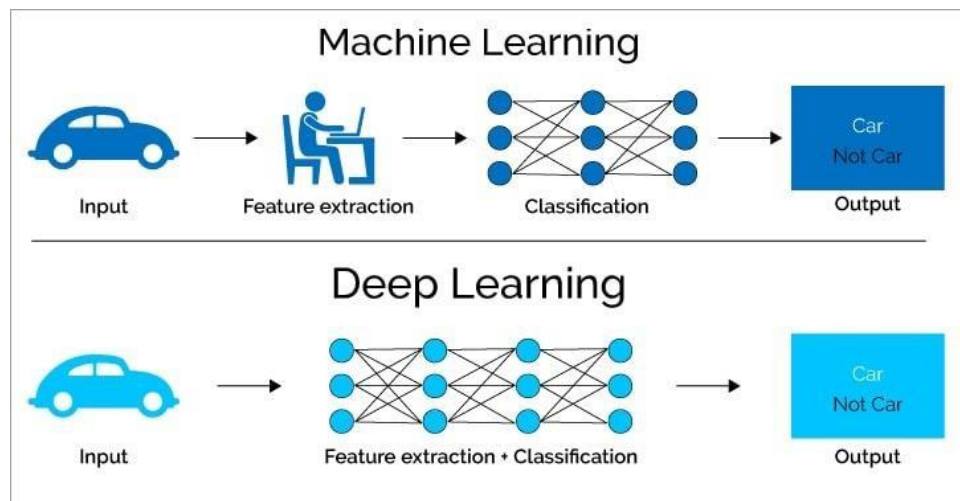
La méthode utilisée pendant l'entraînement est déterminée par les caractéristiques des données à disposition. Quand les exemples d'entraînement viennent avec la réponse attendue, on parle d'apprentissage supervisé. On évoque la classification lorsque les résultats sont discrets, tandis que la régression est utilisée pour des résultats continus. En revanche, dans le cas où les données ne sont pas labellisées, le système tente d'en déceler la structure sous-jacente ; c'est ce qu'on appelle l'apprentissage non supervisé. La troisième situation, l'apprentissage par renforcement, se fonde sur l'interaction avec l'environnement : le modèle se perfectionne en fonction des récompenses ou sanctions liées aux actes qu'il réalise. Ces techniques sont utilisables sur des données diverses, allant de simples vecteurs de caractéristiques à des structures plus sophistiquées telles que des courbes, des arbres ou des graphes, englobant aussi bien des variables qualitatives que quantitatives. Ces principes fondamentaux permettent à l'intelligence artificielle de fournir aux systèmes informatiques la capacité d'apprendre à travers l'expérience sans nécessiter d'intervention humaine directe pour chaque opération. Cela englobe toutes les méthodes destinées à élaborer, examiner et mettre en œuvre des modèles capables de s'ajuster aux données afin d'optimiser leur performance [7].

### 3.2 Apprentissage Profond (Deep Learning, DL)

Le Deep Learning, ou apprentissage profond, est une sous-discipline sophistiquée de l'intelligence artificielle qui découle de l'apprentissage automatique (Machine Learning). À la différence de la programmation classique qui s'appuie sur l'application de règles définies, l'apprentissage profond offre aux machines la possibilité d'acquérir de manière indépendante des connaissances à partir de données. Par conséquent, les machines peuvent se former sur d'importantes quantités de données, identifier des schémas compliqués et agir sans l'intervention directe d'un humain. Le Deep Learning rassemble diverses méthodes mathématiques destinées à une analyse et compréhension approfondie des données. Il emploie des réseaux de neurones artificiels interconnectés, qui s'inspirent du mécanisme de fonctionnement du cerveau humain, pour analyser, stocker et comprendre l'information. Le neurone artificiel, qui est l'élément crucial de ces réseaux, reçoit des valeurs d'entrée, leur applique des poids, puis génère une sortie. Dans un réseau de neurones profond, on superpose plusieurs niveaux de neurones, chaque niveau traitant les données du précédent jusqu'à l'obtention d'un résultat final. Cette structure en couches facilite l'apprentissage de représentations complexes, aussi bien de manière supervisée qu'en l'absence de supervision.

## Chapitre II : Les différentes techniques d'intelligence artificielles

L'idée fondamentale est d'apprendre à un réseau de neurones sur un jeu de données pour qu'il soit capable d'effectuer des actions précises comme l'identification d'images, le tri de textes, la compréhension du langage naturel ou encore la prévision de séries temporelles. Cette méthode s'appuie sur un algorithme d'optimisation visant à réduire une fonction de perte déterminée en fonction de la tâche à réaliser. Après l'entraînement du modèle, celui-ci est capable d'appliquer ses apprentissages pour prédire sur de nouvelles données qui ressemblent à celles utilisées lors de son entraînement. Le Deep Learning a favorisé des avancées significatives dans divers secteurs, tels que la reconnaissance d'images, la voix, le texte, la vidéo et la traduction automatique, la conduite autonome ainsi que l'identification de maladies. Néanmoins, cette technologie exige toujours beaucoup de ressources, nécessitant un volume important de données et une capacité de traitement élevée. Néanmoins, elle dépasse fréquemment les méthodes traditionnelles d'apprentissage automatique en proposant une supériorité dans l'extraction automatique de caractéristiques significatives à partir des données non traitées [8].



**Figure 2:** Comparaison visuelle entre Machine Learning et Deep Learning [6]

### 4. Les réseaux de neurones

#### 4.1 Réseaux de neurones artificiels (ANN - Artificial Neural Networks)

Un réseau de neurones artificiels (Artificial Neural Network – ANN), aussi connu sous le nom de réseau neuronal synthétique, est un modèle computationnel qui s'inspire du comportement des neurones naturels. Initialement conçu pour reproduire les interconnexions neuronales du cerveau, ce genre de réseau a progressivement été perfectionné en incorporant des techniques statistiques sophistiquées, ce qui lui confère la capacité de gérer efficacement des données complexes dans diverses situations. On a tendance à optimiser les réseaux neuronaux en utilisant des méthodes d'apprentissage probabiliste, comme les techniques

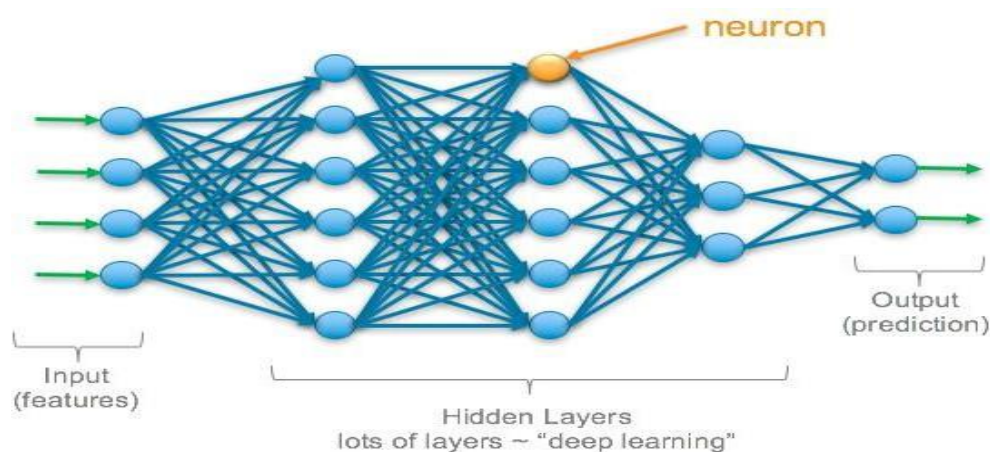
## Chapitre II : Les différentes techniques d'intelligence artificielles

bayésiennes, qui permettent de modifier les poids synaptiques en fonction des données observées. Ils relèvent à la fois des instruments statistiques en proposant des méthodes de classification non linéaire efficaces, telles que les réseaux de Kohonen et des techniques d'intelligence artificielle, en offrant un système perceptif indépendant, capable d'analyser les données entrantes, Peu importe leur forme ou leur nature, et de participer à un raisonnement logique formel. En matière de modélisation des réseaux biologiques, les réseaux de neurones offrent aussi la possibilité d'examiner des hypothèses fonctionnelles tirées de la neurophysiologie en reproduisant certaines activités neuronales pour en analyser les conséquences et les mettre en parallèle avec les données expérimentales authentiques. Ils agissent donc comme un lien entre biologie, statistiques et intelligence artificielle, ouvrant la voie à des avancées majeures en neurosciences computationnelles et en traitement intelligent de l'information [9].

### 4.2 Architecture d'un ANN :

Un réseau de neurones artificiel est constitué de trois couches fondamentales, chacune ayant un nombre précis de neurones. Ces couches sont interconnectées par des liens dotés de poids spécifiques (consulter l'illustration ci-dessous).

- **La couche d'entrée (Input layer) :** elle reçoit les données brutes provenant de l'environnement.
- **La couche cachée (Hidden layer) :** elle gère les informations reçues de la couche d'entrée afin d'isoler les données essentielles.
- **La couche de sortie (Output layer) :** génère le résultat final [10].



**Figure 3:** Architecture d'un réseau de neurones artificiels (ANN) [11]

## Chapitre II : Les différentes techniques d'intelligence artificielles

### 5. Les différents types de réseaux de neurones

Il existe divers types de réseaux de neurones, chacun conçu pour des tâches spécifiques en fonction de son architecture et de sa manière d'opérer. En règle générale, ces réseaux se caractérisent par la quantité de couches qui se trouvent entre les données d'entrée et les résultats finaux. Voici quelques exemples de réseaux neuronaux fréquemment utilisés :

#### 5.1 Réseaux de neurones convolutionnels (Convolutional Neural Networks)

Les réseaux de neurones convolutifs (CNN pour Convolutional Neural Networks) représentent une catégorie de réseaux de neurones artificiels non cycliques (feed-forward). Actuellement, cette structure est reconnue comme l'une des plus efficaces pour des missions comme la classification d'images, la localisation d'objets ou d'autres utilisations en lien avec le traitement d'images. Dans les CNN, les neurones sont interconnectés d'une manière qui s'inspire du cortex visuel des animaux, leur conférant la capacité de repérer efficacement les motifs visuels dans les données [12].

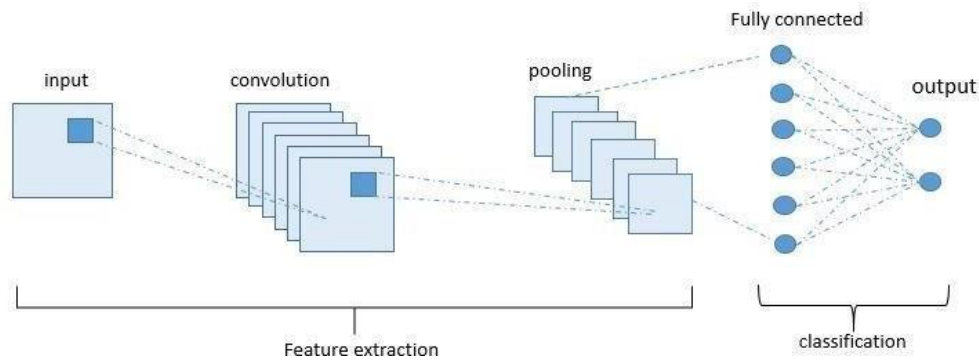
#### 5.2 Architecture d'un CNN :

Les CNN se distinguent nettement des autres algorithmes de reconnaissance de motifs, car ils fusionnent l'extraction et la catégorisation des caractéristiques. Un CNN est structuré en cinq couches distinctes : une couche d'entrée, une couche convolutive, une couche de regroupement, une couche entièrement reliée et la couche de sortie.

- **La couche d'entrée** : Elle est utilisée pour déterminer et ajuster la taille de l'image à classifier, si besoin est.
- **La couche de convolution** : Cette couche exécute une opération de convolution entre l'image et plusieurs noyaux appris automatiquement en utilisant des poids partagés.
- **La couche de pooling** : Il vise à diminuer la dimensionnalité de l'image tout en conservant les données importantes.
- **La couche entièrement connectée** : L'assemblage des caractéristiques recueillies suite à l'opération de pooling.
- **La couche de sortie** : C'est à cette couche que le résultat de la classification est présenté.

Ces couches sont organisées en deux sections distinctes. La première, connue sous le nom de partie convolutive, comprend trois premières couches : la couche d'entrée, la couche de convolution et la couche de pooling. Cette section sert d'extracteur de caractéristiques.

La seconde, appelée partie de classification, comprend les deux dernières couches : la couche entièrement connectée et la couche de sortie. Cette section est conçue pour effectuer une classification à partir des valeurs numériques [13].



**Figure 4:** Architecture standard d'un réseau de neurone à convolution (CNN) [14]

### 5.3 Réseaux de neurones à rétroaction (RNN - Recurrent Neural Networks)

Un réseau de neurones récurrent (RNN) est une catégorie de réseau de neurones artificiel qui s'appuie sur des données séquentielles ou temporelles. Ces algorithmes d'apprentissage profond sont fréquemment employés pour des enjeux ordonnés ou temporels, comme la traduction de langues, l'analyse de langage naturel, la reconnaissance de la parole et le sous-titrage d'images. Ils sont intégrés dans des applications courantes. À l'instar des réseaux de neurones convolutifs (CNN) feedforward, les réseaux de neurones récurrents s'appuient sur des données d'apprentissage pour se former. Ils sont identifiables par leur « mémoire » car ils utilisent des données d'entrée précédentes pour influencer les entrées et sorties actuelles. Tandis que les réseaux de neurones profonds classiques partent du principe que les entrées et les sorties sont autonomes l'une par rapport à l'autre, la sortie des réseaux de neurones récurrents se fonde sur les éléments précédents dans la séquence. Bien que les événements à venir puissent être bénéfiques pour établir la fin d'une séquence spécifique, les réseaux de neurones récurrents unidirectionnels ne sont pas en mesure d'intégrer ces événements dans leurs prévisions [15].

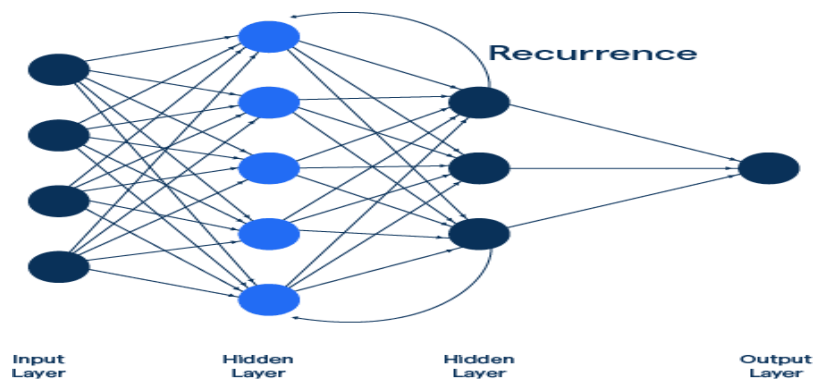
### 5.4 Architecture de RNN

Un réseau neuronal récurrent (RNN) est généralement structuré avec plusieurs couches répétées qui sont superposées les unes aux autres.

- **Entrée (Input) :** Les informations séquentielles sont introduites dans le réseau à travers la couche d'entrée. Chaque séquence est constituée d'une suite d'éléments, comme des mots dans une phrase ou des instants dans une série temporelle.
- **Couche récurrente (Recurrent Layer) :** Le traitement des données en séquence est réalisé au niveau de la couche récurrente. Cette couche possède des connexions récurrentes qui garantissent la diffusion d'informations d'une phase à l'autre de la séquence. Elle offre donc la possibilité de saisir les dépendances dans le temps et de représenter les relations compliquées entre les éléments consécutifs.

## Chapitre II : Les différentes techniques d'intelligence artificielles

- **Optionnel** : Superposition de couches récurrentes (Stacking Recurrent Layers) : Il est envisageable d'assembler plusieurs couches récurrentes de manière consécutive pour établir un réseau de neurones récurrents à grande profondeur. Chaque couche récurrente gère les données provenant de la précédente, ce qui donne au réseau la capacité de saisir des représentations plus abstraites et sophistiquées.
- **Couche de sortie (Output Layer)** : Basée sur les données traitées par les couches récurrentes, la couche de sortie génère les prédictions ou les résultats escomptés. Le type de sortie est déterminé par la tâche à réaliser ; par exemple, pour une tâche de classification, on a souvent recours à une couche dense accompagnée d'une fonction d'activation adéquate [16].



**Figure 5:** Architecture d'un réseaux de neurones récurrents (RNN) [17]

### 6. Les différentes méthodes d'apprentissage

Il existe plusieurs formes d'intelligence artificielle, chaque type est utilisée pour son propre usage. Voici quelques modèles les plus influents dans le domaine d'intelligence artificielle.

#### 6.1 Apprentissage supervisé (supervised learning)

Dans le cadre de l'apprentissage supervisé, la réponse attendue ou appropriée du réseau pour une entrée spécifique est déjà déterminée à l'avance.

L'entraînement du réseau s'effectue donc en évaluant l'écart entre sa réponse présente et la réponse attendue (également appelée étiquette ou label), puis en modifiant ses poids internes pour minimiser cette erreur. Ce processus de réglage s'effectue généralement via un algorithme d'optimisation, tel que la descente de gradient, et une fonction de perte qui mesure la différence entre la prédiction du modèle et le résultat réel. Ce genre d'apprentissage est mis en œuvre dans une multitude d'applications concrètes, telles que l'identification d'images, la détection de courrier indésirable ou encore la prévision de maladies. Il y a plusieurs étapes importantes dans ce processus : collecter les données, choisir les caractéristiques et les modèles, entraîner les modèles, les évaluer et finalement faire des prédictions [18].

### 6.2 Apprentissage non supervisé (unsupervised learning)

L'apprentissage non supervisé, également désigné comme auto-organisation ou sans supervision, ajuste les poids du réseau sur la base de critères internes tels que la coactivation des neurones. Les actions découlant de ce processus d'apprentissage sont généralement similaires aux méthodes de classification non supervisée. Ce genre d'apprentissage implique de classer les données introduites dans le système en catégories ou en groupes partageant des traits communs. La différence entre ces catégories repose sur des critères de ressemblance parmi les entrées [19].

### 6.3 Apprentissage par renforcement (reinforcement learning)

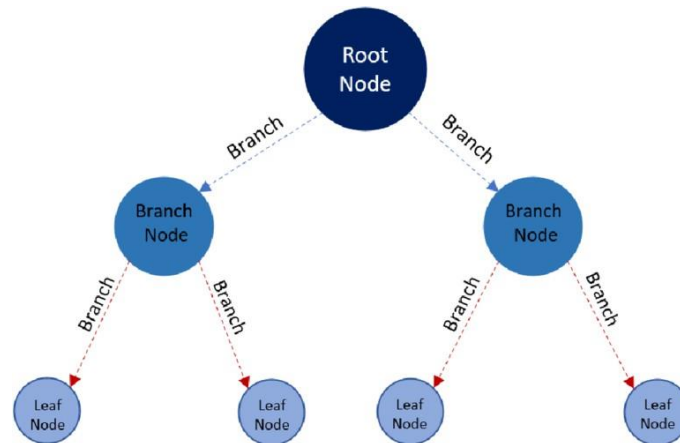
L'apprentissage par renforcement offre à un agent la possibilité d'apprendre à interagir dans un milieu inconnu, basant uniquement sur ses expériences personnelles, sans directives humaines antérieures. Cette étude examine la façon de fusionner l'apprentissage profond avec l'apprentissage par renforcement afin de gérer des environnements complexes et continus, en exploitant la force des réseaux de neurones [20].

Considéré comme un problème d'optimisation de contrôle, dans lequel la dynamique du système est partiellement inconnue. La thèse examine officiellement les situations où l'espace des états et le temps sont continus, en mettant un accent particulier sur la convergence des méthodes [21].

## 7. Arbres de décision

Un arbre de décision (en anglais, Decision Tree) est formé d'une série de nœuds connectés par des branches, s'étendant de la partie supérieure vers la partie inférieure. Le sommet de l'arbre abrite le nœud racine, tandis que les nœuds feuilles se trouvent à sa base. L'arbre décisionnel a la capacité de classer les textes en différentes catégories.

À partir du niveau supérieur, nous devons insérer dans le nœud racine le descripteur qui distingue de manière optimale les textes de notre corpus, afin de générer de nouveaux sous-niveaux. Ce processus est répété pour chaque nœud jusqu'à ce que la distinction des textes devienne impossible. Au final, les nœuds finaux sont composés de collections de textes appartenant à la même catégorie. Voici le critère d'arrêt : si un sous-ensemble spécifique contient uniquement des instances appartenant à la même classe, nous créerons une feuille d'arbre et mettrons fin au processus sur ce chemin. Dans le cas inverse où un sous-ensemble contient des instances portant différentes étiquettes, le processus de création du nœud est repris. L'atout principal de cette approche est qu'elle imite étroitement le raisonnement humain, ce qui facilite l'explication des résultats obtenus et du comportement observé [22].



**Figure 6:** Architecture d'un Aebre de décision [23]

### 7.1 Light-GBM

LightGBM, qui signifie Light Gradient Boosted Machine, est une technique d'ensemble reposant sur les arbres décisionnels, destinée à optimiser les performances des modèles.

À la différence d'autres algorithmes de boosting par gradient qui élaborent les arbres niveau après niveau, LightGBM les construit en se concentrant sur chaque feuille individuellement. Il choisit la feuille qui affiche la plus grande perte pour continuer l'apprentissage, ce qui tend à minimiser l'erreur. Néanmoins, cette approche peut augmenter la complexité du modèle et entraîner un surajustement, surtout lorsqu'elle est appliquée à de petits ensembles de données [24].

### 8. Conclusion

L'intelligence artificielle est à la fois une avancée technologique majeure et un défi sociétal. Elle transforme profondément notre manière d'interagir avec les technologies et offre des opportunités sans précédent dans la résolution de problèmes complexes.

Cependant, son développement rapide nécessite un encadrement rigoureux afin d'assurer une utilisation éthique et équitable. Comprendre les fondements, les domaines d'application et les implications de l'IA est donc essentiel pour tirer pleinement parti de ses bénéfices tout en anticipant ses limites et ses risques.

**Chapitre III :**  
**Les modèles d'analyse  
médicale intégrés dans la  
plateforme**

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

### 1. Introduction

L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine médical représente aujourd'hui un levier majeur pour améliorer l'efficacité et l'accessibilité des soins de santé. Face aux défis croissants tels que la surcharge des établissements de santé, le manque de spécialistes et les délais prolongés pour l'obtention d'un diagnostic, les solutions numériques intelligentes offrent des perspectives prometteuses. **DoctorMind** s'inscrit dans cette dynamique en proposant une plateforme de pré-diagnostic médical basée sur l'IA, capable d'analyser différents types de données cliniques. La plateforme a été conçue pour répondre aux besoins à la fois des professionnels de santé et des patients, en fournissant des évaluations préliminaires rapides et fiables. Qu'il s'agisse de signaux biologiques, de symptômes décrits par les patients ou d'images médicales, la plateforme vise à faciliter l'orientation des patients et à contribuer à une prise en charge plus précoce et plus ciblée. Ce chapitre décrit de manière générale la mise en œuvre des principales fonctionnalités de la plateforme, en mettant en avant l'apport de l'intelligence artificielle dans l'amélioration des processus de pré-diagnostic et de suivi médical.



**Figure 7:** l'intelligence artificielle dans le domaine médicale [25].

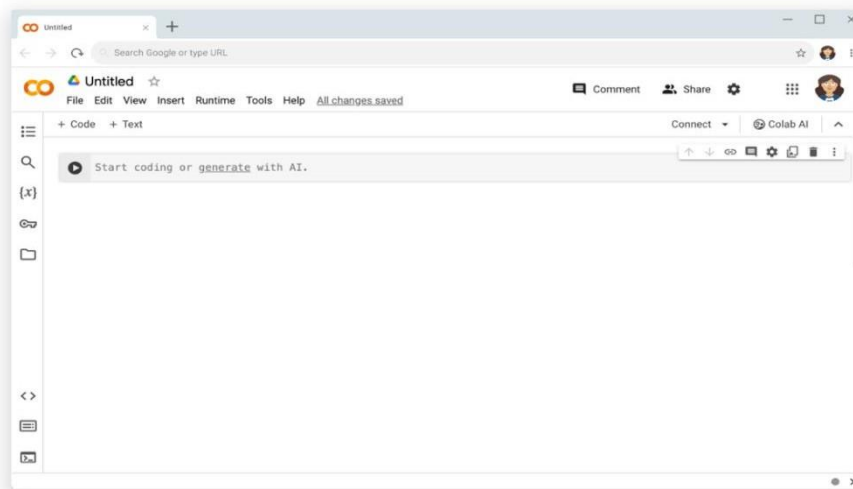
### 2. L'environnement de travail

Pour le développement, l'entraînement et le test de nos différents modèles d'intelligence artificielle, l'environnement Google Colab (Colaboratory) a été utilisé. Également connu sous le nom de Colaboratory, cet outil proposé par Google Research repose sur une interface de type Jupyter Notebook, accessible directement via un navigateur web. Il permet d'exécuter du code Python sans configuration locale, ce qui facilite grandement le travail collaboratif et le prototypage rapide. Google Colab est particulièrement bien adapté aux projets en machine

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

learning et en deep learning, car il offre un accès gratuit à des ressources matérielles puissantes, notamment des GPU (comme la Tesla T4) et des TPU, éléments cruciaux pour l'entraînement de modèles de classification complexes. Dans notre projet, cette infrastructure nous a permis de traiter de grandes bases de données médicales (images, signaux biologiques, etc.) et d'entraîner plusieurs réseaux de neurones avec des performances satisfaisantes et des temps de calcul réduits. De plus, Colab intègre directement des bibliothèques essentielles telles que TensorFlow, Keras, scikit-learn, ou encore Pandas, rendant l'environnement prêt à l'emploi. La compatibilité native avec Google Drive a également facilité la gestion des datasets, la sauvegarde automatique du travail et le partage des notebooks.

En résumé, Google Colab s'est révélé être un environnement pratique, flexible et efficace, parfaitement adapté aux exigences de notre projet **DoctorMind**, notamment pour le traitement des données médicales et l'implémentation de nos modèles d'intelligence artificielle [26].



**Figure 8:** Interface de Google Colab [27]

### 3 Les bibliothèques utilisées

#### 3.1 NumPy (Numerical Python)

NumPy est une bibliothèque open source du langage Python, conçue pour la manipulation efficace de tableaux multidimensionnels appelés ndarray. Elle offre un large éventail de fonctions permettant de réaliser des opérations mathématiques et statistiques. NumPy est largement utilisé dans des domaines nécessitant des calculs numériques performants, tels que la science des données, l'intelligence artificielle, l'ingénierie, ou encore l'apprentissage automatique [28].



**Figure 9:** Logo de la bibliothèque Numpy [29]

### 3.2 Matplotlib

Matplotlib est une librairie Python employée pour concevoir et visualiser des diagrammes de façon aisée et adaptable. Cette méthode autorise la visualisation des données sous divers formats tels que les courbes, les histogrammes, les diagrammes, etc....Elle se combine idéalement avec d'autres bibliothèques scientifiques telles que NumPy et SciPy, rendant ainsi l'analyse et l'interopération des données plus aisée [30].



**Figure 10:** Logo de la bibliothèque Matplotlib [31]

### 3.3 TensorFlow

TensorFlow est une plateforme entièrement open source consacrée à l'apprentissage automatique. Elle propose un environnement riche et adaptable composé d'outils, de bibliothèques et de ressources communautaires. Cette plateforme offre aux chercheurs la possibilité d'expérimenter avec de nouvelles méthodes en apprentissage automatique, tout en facilitant aux développeurs la conception, l'entraînement et le déploiement d'applications fondées sur le machine learning [32].



**Figure 11:** Logo de la bibliothèque Tensorflow [33]

### 3.4 Keras

Keras est une bibliothèque open source offrant une interface Python intuitive pour concevoir des réseaux de neurones et développer des modèles d'apprentissage automatique. Elle fonctionne principalement comme une surcouche de TensorFlow, simplifiant grandement son utilisation. Appréciée pour sa simplicité et sa puissance, Keras permet de créer, entraîner et évaluer facilement des modèles d'apprentissage profond. Elle repose sur des bibliothèques de calcul performantes comme TensorFlow et Theano. Son principal atout : permettre aux utilisateurs de démarrer rapidement avec les réseaux de neurones, de façon simple et accessible [34].



**Figure 12:** Logo de la bibliothèque Keras [35]

### 3.5 Librosa

Librosa est une bibliothèque Python conçue pour l'analyse et la manipulation de la musique et des sons. Elle permet d'effectuer diverses opérations sur les fichiers audio, telles que le chargement, la transformation en spectrogrammes, la séparation des sources sonores ou encore l'analyse du rythme. Elle est conçue pour être à la fois accessible et performante, s'adressant autant aux débutants qu'aux experts en audio [36].



**Figure 13:** Logo de la bibliothèque Librosa [37]

### 3.6 WFDB (Waveform Database)

WFDB est une bibliothèque Python intégrée destinée à la lecture, l'écriture (format standard pour les données de formes d'onde physiologiques), le traitement et la visualisation de signaux

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

physiologiques et leurs annotations, en respectant les spécifications du format WFDB. Même si son API est basée sur le package WFDB d'origine, elle ne comprend pas toutes les fonctionnalités, privilégiant plutôt les fonctions essentielles, disponibles par le biais d'interfaces conviviales. Grâce à l'évolution des mises à jour, des instruments additionnels spécialisés dans l'analyse de signaux physiologiques (tels que l'ECG) sont progressivement ajoutés, améliorant ainsi les performances du logiciel [38].

### 3.7 Scikit-learn

Aussi connue sous le nom de Sklearn, il s'agit d'une bibliothèque open source dédiée à l'apprentissage automatique. Elle offre la possibilité aux utilisateurs de réaliser diverses tâches comme la régression, la classification, le choix de modèles, le prétraitement, la réduction de dimensionnalité et le clustering. Elle repose sur des bibliothèques Python très répandues et essentiels pour l'analyse et la visualisation des données telles que NumPy, SciPy et Matplotlib [39].



**Figure 14:** Logo de la bibliothèque Scikit-learn [40]

### 3.8 Pandas

Pandas est une bibliothèque Python consacrée à l'analyse et à la manipulation de données, que ce soit sous forme de tableaux (DataFrames) ou de séries (Series). Elle simplifie le processus de nettoyage des données, la manipulation des valeurs manquantes et l'exploration des jeux de données, phases essentielles avant d'entraîner un modèle d'apprentissage automatique. Pandas, grâce à sa facilité d'utilisation et son intégration avec NumPy et Matplotlib, est un outil incontournable pour tout projet en science des données [41].



**Figure 15:** Logo de la bibliothèque Pandas [42]

### 3.9 OpenCv (Open Source Computer Vision Library)

OpenCV est une librairie open source employée dans les domaines de la vision informatique, du traitement d'images et de l'intelligence artificielle. Elle offre une manipulation aisée d'images et de vidéos pour identifier des objets, des visages ou du texte. Elle simplifie l'analyse d'images en matrices et l'extraction de caractéristiques visuelles par le biais de calculs mathématiques, grâce à son intégration avec des outils tels que NumPy [43].



**Figure 16:** Logo de la bibliothèque OpenCv [44]

### 3.10 Seaborn

Seaborn est une bibliothèque Python spécialisée dans la représentation graphique des données, notamment pour les diagrammes statistiques. Elle s'appuie sur matplotlib tout en fournissant une interface plus conviviale et attrayante. En étant profondément ancrée dans les structures de données pandas, Seaborn simplifie l'exploration et l'analyse visuelle des données. Son objectif principal est de rendre la visualisation facile à comprendre, ce qui en fait un instrument essentiel pour saisir les tendances, les liens et les structures dans les ensembles de données [45].



**Figure 17:** Logo de la bibliothèque Seaborn [46]

### 3.11 Gradio

Gradio est un outil Python simplifiant la création d'interfaces utilisateurs afin de tester et partager des modèles de machine learning, deep learning ou toute fonction Python. Elle supporte divers formats de médias tels que le texte, l'image, le son et la vidéo, et offre la possibilité de créer une interface web facilement déployable, accessible sur place ou à distance grâce à un lien partageable [47].



**Figure 18:** Logo de la bibliothèque Gradio [48]

### 4. Les modèles développés

Dans le cadre de ce projet, plusieurs modèles d'intelligence artificielle ont été conçus et intégrés pour répondre à des besoins cliniques spécifiques, allant de l'analyse des signaux cardiaques à la détection d'anomalies dermatologiques et neurologiques. Ces modèles constituent une première étape vers la création d'un système intelligent d'aide au diagnostic. Cependant, cette démarche ne s'arrête pas là, d'autres spécialités médicales et de nouvelles fonctionnalités sont déjà envisagées pour enrichir la plateforme à l'avenir, afin de la rendre encore plus complète, polyvalente et adaptée aux besoins réels du terrain médical. Parmi les modèles déjà mis en œuvre, on distingue notamment :

#### 4.1 Modèle ECG (Électrocardiogramme)

##### a. Objectif du modèle

Le modèle ECG développé vise à détecter automatiquement les arythmies cardiaques à partir de signaux électrocardiographiques bruts. L'arythmie étant une anomalie de rythme cardiaque, sa détection précoce peut prévenir des complications graves comme les accidents vasculaires cérébraux (AVC) ou l'insuffisance cardiaque [49].

##### b. Données utilisées

Pour entraîner et tester notre modèle, nous avons utilisé la base de données MIT-BIH Arrhythmia Database, telle que disponible sur la plateforme Kaggle, qui regroupe les signaux ECG extraits de la base originale fournie par PhysioNet. Ce dataset contient 48 enregistrements ECG annotés par des experts, chacun durant environ 30 minutes, avec un échantillonnage à 360 Hz. Il est largement reconnu et utilisé dans la recherche pour la détection automatique des arythmies cardiaques [50].

##### c. Architecture du modèle

Pour la classification des signaux ECG, nous avons conçu un modèle basé sur un réseau de neurones convolutifs (CNN). Le réseau est composé de deux couches convolutionnelles (Conv1D), chacune suivie de couches de pooling (MaxPooling1D) et de Dropout pour réduire le sur-apprentissage. Après une étape de flatten, le modèle intègre deux couches Dense, dont

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

une finale avec une activation Softmax pour la classification en trois classes. Le total des paramètres entraînaibles est de 1 598 851.

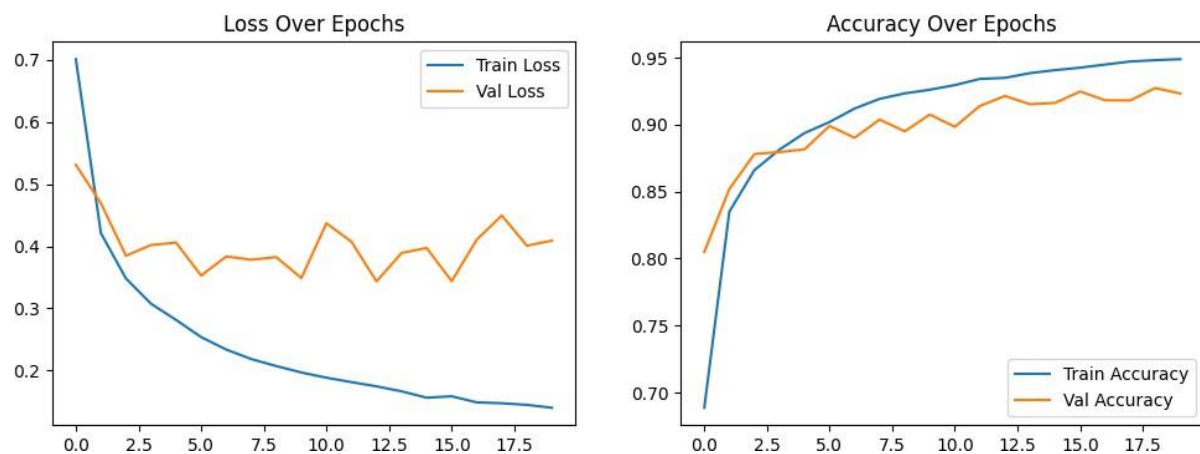
### d. Résultats obtenus

Le modèle de classification des signaux ECG a été entraîné avec succès à l'aide de l'architecture CNN (réseau de neurones convolutif) sur Google Colab, exploitant un ensemble de données multiclasse. L'objectif principal était d'identifier automatiquement différentes anomalies cardiaques à partir de signaux d'électrocardiogramme prétraités.

#### • Courbes d'apprentissage

L'évolution des performances du modèle durant les 20 époques d'entraînement est illustrée par les deux graphiques suivants :

- Le graphique de gauche montre une diminution progressive de la loss (erreur) sur l'ensemble d'entraînement, atteignant une valeur inférieure à 0.15 en fin d'apprentissage. La courbe de validation reste relativement stable autour de 0.35 à 0.40, sans sur-apprentissage significatif.
- Le graphique de droite indique une amélioration continue de la précision du modèle, atteignant près de 95 % sur l'ensemble d'entraînement et environ 92-93 % sur la validation.



**Figure 19:** l'évolution de la perte (loss) et de la précision (accuracy)

#### • Performances d'entraînement

L'entraînement s'est déroulé sur 20 époques, avec une amélioration progressive des performances. Le modèle a montré une excellente capacité d'apprentissage, avec une courbe de convergence stable et sans sur-apprentissage apparent :

- Accuracy (entraînement) : 94.97 %
- Accuracy (validation) : 92.73 %
- Loss (entraînement) : 0.1324 %

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

- Loss (validation) : 0.4090 %

### • **Évaluation finale**

Le modèle a été évalué sur l'ensemble de test indépendant. Les résultats sont très satisfaisants pour une tâche de classification multiclassées :

- Test Accuracy : 92.32 %
- Test Loss : 0.4089

Ces performances confirment l'efficacité de l'approche utilisée, avec une généralisation correcte sur des données jamais vues pendant l'entraînement. Le réseau a démontré sa capacité à reconnaître différentes anomalies cardiaques, ce qui le rend apte à être intégré dans la plateforme **DoctorMind** en tant qu'outil de pré-diagnostic cardiaque fiable.

### **4.2 Modèle PCG (Phono cardiogramme)**

#### **a. Objectif du modèle**

Le modèle PCG vise à détecter automatiquement les anomalies cardiaques à partir des enregistrements sonores du cœur. L'analyse des sons cardiaques permet de diagnostiquer diverses pathologies telles que les souffles, les régurgitations ou les valvulopathies, souvent perceptibles par des modifications acoustiques [51]

#### **b. Données utilisées**

Nous avons utilisé la base de données PhysioNet/CinC Challenge 2016 Heart Sound Database, accessible sur Kaggle, qui contient 3545 enregistrements audio de sons cardiaques au format WAV. Chaque fichier est annoté manuellement comme normal ou anormal, facilitant ainsi l'entraînement de modèles de classification. La fréquence d'échantillonnage est de 4000 Hz, ce qui permet de préserver la qualité et la richesse des caractéristiques acoustiques des signaux [52].

#### **c. Architecture du modèle**

Le modèle est construit sur un réseau de neurones convolutifs 1D (CNN), adapté pour extraire les caractéristiques spectrales des signaux audio. L'architecture comporte deux couches Conv1D successives avec 64 puis 128 filtres et des noyaux de taille 3, chacune suivie d'une couche MaxPooling1D pour réduire la dimensionnalité. Des couches Dropout (à 25 % et 50 %) sont utilisées pour limiter le sur-apprentissage. La sortie dense finale à 2 neurones avec activation Softmax permet de classer les sons en « normal » ou « anormal » [53].

#### **d. Résultats obtenus**

Le modèle de classification des sons cardiaques (PCG) a été entraîné sur un ensemble de données audio contenant des enregistrements étiquetés comme normaux ou anormaux. Grâce à

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

une architecture CNN optimisée et un traitement segmenté des signaux audio, le modèle a montré d'excellentes performances.

### • Courbes d'apprentissage

Au fil des 10 époques d'entraînement, les courbes de performance indiquent une convergence extrêmement rapide et stable :

- Accuracy (entraînement et validation) : Le modèle a atteint une précision de 100 % dès la 2e époque, et l'a conservée jusqu'à la fin de l'entraînement.
- Loss (entraînement et validation) : La fonction de perte est tombée à zéro (ou très proche de zéro) dès les premières itérations, sans apparition de sur-apprentissage.

Cette convergence rapide est attribuée à la simplicité binaire de la tâche et à la qualité du traitement des signaux.

### • Performances d'entraînement

L'apprentissage a été réalisé en utilisant une stratégie de génération dynamique des données audio (générateur Python), ce qui a permis de traiter efficacement un grand nombre de segments sonores sans surcharger la mémoire :

- Accuracy (entraînement) : 100.00 %
- Accuracy (validation) : 100.00 %
- Loss (entraînement et validation) : ~0.0000

### • Évaluation finale

Le modèle a été évalué sur un jeu de test totalement indépendant des données d'entraînement.

Les performances obtenues confirment la capacité de généralisation du modèle :

- Test Accuracy : 100.00 %
- Test Loss : 0.0000

Ces résultats démontrent l'efficacité du modèle pour la détection des anomalies cardiaques à partir de signaux PCG. Intégré à la plateforme **DoctorMind**, il pourra jouer un rôle clé dans l'assistance au pré-diagnostic des pathologies cardiaques, en particulier dans des contextes où l'accès à un cardiologue est limité.

## 4.3 Modèle basé sur les symptômes

### a. Objectif du modèle

Le modèle de prédiction des maladies à partir des symptômes repose sur une classification supervisée multi classe. Il vise à prédire la maladie probable en fonction des symptômes déclarés par un patient, ce qui permet une première orientation diagnostique sans avoir recours à des examens physiques ou biologiques. Ce type de modèle est particulièrement utile dans les contextes de triage médical, de télémédecine ou d'assistance à distance [54].

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

### b. Données utilisées

Le modèle de prédiction basé sur les symptômes s'appuie sur une base de données librement accessible sur la plateforme Kaggle : Disease Symptom Prediction Dataset. La base de données contient plusieurs milliers d'enregistrements, chacun composé d'une liste de symptômes textuels associés à une maladie diagnostiquée. Pour garantir une meilleure représentativité statistique et éviter les biais liés aux classes rares, les maladies très peu fréquentes ont été écartées du corpus d'entraînement [55]. Les symptômes textuels ont été convertis en vecteurs binaires, chaque case du vecteur indiquant la présence (1) ou l'absence (0) d'un symptôme spécifique. Ce codage permet une interprétation rapide par le modèle d'apprentissage automatique, tout en assurant une compatibilité avec des algorithmes classiques comme les forêts aléatoires ou les modèles à gradient boosting. Cette étape de prétraitement a permis de transformer les entrées textuelles en un format structuré exploitable pour la classification.

### c. Architecture du modèle

Le modèle repose sur l'algorithme LightGBM (Light Gradient Boosting Machine), reconnu pour sa rapidité d'apprentissage et ses hautes performances sur les problèmes multi-classes. Voici les étapes clés de l'architecture :

- Encodage binaire des symptômes sous forme de vecteurs 0/1.
- Encodage numérique des maladies via LabelEncoder.
- Sur-échantillonnage (oversampling) avec RandomOverSampler pour équilibrer les classes minoritaires.
- Division des données : 80 % pour l'entraînement, 20 % pour le test.
- Entraînement LightGBM avec les hyperparamètres suivants :
  - Nombre d'arbres (n\_estimators) : 300
  - Profondeur maximale (max\_depth) : 12
  - Taux d'apprentissage (learning\_rate) : 0.05
  - Aléatoire (random\_state) : 42

Cette architecture légère mais efficace permet une prédiction rapide et précise à partir d'un vecteur de symptômes binaires.

### d. Résultats obtenus

Le modèle de prédiction basé sur les symptômes a montré des performances satisfaisantes lors de la phase de test, démontrant sa capacité à inférer correctement les maladies les plus fréquentes à partir des données cliniques fournies par l'utilisateur.

#### • Performances d'entraînement

### Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

Le modèle a atteint une excellente performance globale grâce à l'encodage efficace des données et la gestion du déséquilibre :

- Accuracy (test) : 100.00 %
- Perte (Loss) : non significative (car mesure principalement la probabilité logarithmique dans LightGBM)

#### • **Évaluation finale**

L'évaluation du modèle a été réalisée sur le test de 20 % des données, et a révélé une capacité de généralisation exceptionnelle, sans aucun sur-apprentissage.

- Test Accuracy : 100.00 %
- Test Loss : non significatif ( $\approx 0$ )
- Temps d'inférence moyen : quasi instantané (en dessous de 100 ms)

Ces résultats indiquent que le modèle est bien adapté aux données utilisées, grâce notamment à l'encodage binaire personnalisé des symptômes et à l'algorithme LightGBM, reconnu pour sa performance sur les jeux tabulaires. Toutefois, ces performances doivent être interprétées avec prudence, car le dataset demeure relativement propre et structuré. Une validation complémentaire sur des données réelles, hétérogènes et bruitées est indispensable pour confirmer sa robustesse en conditions cliniques.

#### **4.4 Modèle de classification des tumeurs cérébrales à partir d'IRM :**

##### **a. Objectif du modèle**

L'objectif de ce modèle est de détecter automatiquement la présence de tumeurs cérébrales à partir d'images IRM. Cette tâche est essentielle pour assister les radiologues dans le tri des cas urgents, améliorer la rapidité du diagnostic et offrir un outil d'aide à la décision dans des zones sous-dotées en spécialistes.

##### **b. Données utilisées**

Le modèle a été entraîné à partir d'une base de données d'images d'IRM cérébrales organisée en deux classes : « yes » pour les cas présentant une tumeur, et « no » pour les images saines. La base de données utilisée Brain MRI Images, est disponible sur Kaggle. Les images ont été chargées depuis Google Drive, converties en niveaux de gris, puis redimensionnées en 100x100 pixels afin d'uniformiser les dimensions. Un encodage one-hot des étiquettes a été appliqué, et les images ont été normalisées pour faciliter l'apprentissage du modèle. Enfin, l'ensemble a été scindé en un jeu d'entraînement (80%) et un jeu de test (20%), garantissant une évaluation fiable des performances du modèle [56].

La base est une version allégée inspirée du dataset public "Brain Tumor Dataset".

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

### c. Architecture du modèle

Le modèle développé repose sur un réseau de neurones convolutif (CNN) construit à l'aide de TensorFlow/Keras. Il utilise deux blocs convolutionnels pour extraire les caractéristiques des images :

- Bloc 1 : Conv2D (32, 3x3) suivi de MaxPooling2D (2x2)
- Bloc 2 : Conv2D (64, 3x3) suivi de MaxPooling2D (2x2)

Ces couches permettent de détecter progressivement des motifs simples, puis complexes. Ensuite, les données sont aplaties (Flatten) et transmises à deux couches entièrement connectées :

- Dense (128, relu) avec un Dropout (0.3) pour limiter le sur-apprentissage
- Dense (2, softmax) pour effectuer une classification binaire (tumeur / pas de tumeur)

Le modèle est optimisé à l'aide de l'algorithme Adam et de la fonction de perte categorical\_crossentropy. Il a été entraîné pendant 30 époques avec early stopping et ModelCheckpoint afin de conserver les meilleurs poids sur validation.

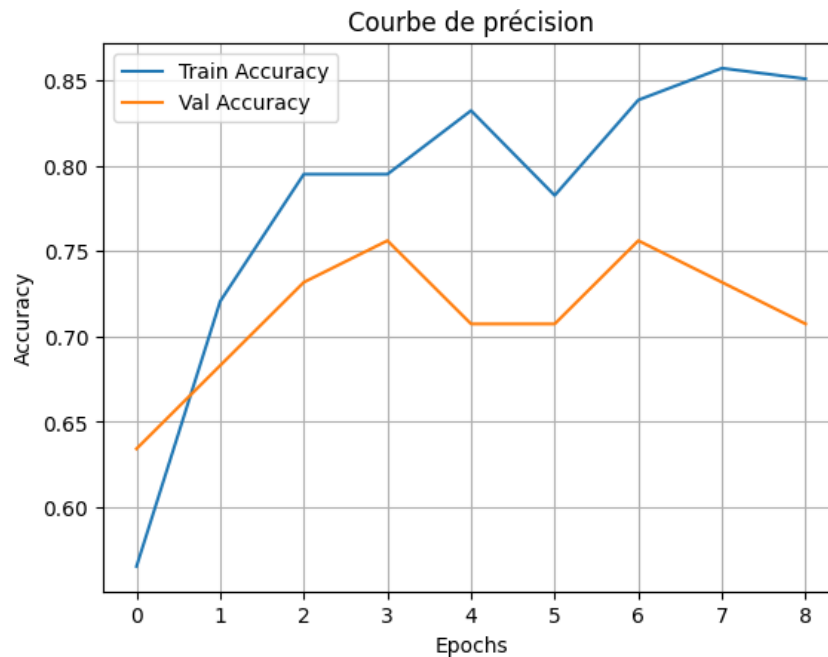
### d. Résultats obtenus

Le modèle de classification des IRM cérébrales a produit des résultats satisfaisants, démontrant une capacité notable à distinguer les images présentant une tumeur de celles saines. Grâce à une architecture CNN optimisée et un prétraitement rigoureux des images, les performances atteintes confirment la pertinence de l'approche adoptée pour une application médicale en contexte réel.

- **Courbes d'apprentissage**

L'entraînement a été effectué sur 30 époques avec validation croisée interne (20 % de validation). L'évolution de la précision au cours de l'apprentissage montre une nette amélioration durant les premières itérations :

- La précision d'entraînement est passée de 46,36 % à plus de 86 % dès les 8 premières époques.
- La val\_accuracy a culminé à 75,61 %, atteignant son maximum à la 4<sup>e</sup> époque.
- La courbe de validation reste stable avec une légère oscillation, suggérant une bonne capacité de généralisation sans sur-apprentissage.



**Figure 20:** courbe de précision (train / validation) au cours de l'entraînement.

- **Performances d'entraînement**

L'entraînement du modèle a montré une évolution stable des performances, avec un arrêt anticipé grâce à la stratégie EarlyStopping, évitant le sur-apprentissage. Les résultats finaux observés sur le jeu de test sont les suivants :

- Accuracy (entraînement) : 86.53 %
- Accuracy (validation) : 75.61 %
- Loss (entraînement) : 0.3292
- Loss (validation) : ~0.615

- **Évaluation finale**

Le modèle a été évalué sur un jeu de test indépendant représentant 20 % des données totales. Les performances finales indiquent une très bonne capacité de classification binaire dans un contexte médical :

- Test Accuracy : 86.27 %
- Test Loss : 0.4861

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

### 4.5 Modèle basé sur l'analyser des images dermatologiques

#### a. Objectif du modèle

Le modèle de classification des lésions dermatologiques a pour objectif de détecter et d'identifier automatiquement les types de lésions cutanées à partir d'images médicales. Grâce à l'apprentissage profond, ce modèle vise à assister les dermatologues dans le diagnostic des maladies de la peau, en particulier dans les contextes où les spécialistes sont rares ou les délais de consultation longs. Il contribue ainsi à une détection plus rapide et plus précise des lésions potentiellement malignes, comme le mélanome, tout en réduisant la charge de travail clinique [57].

#### b. Données utilisées

Le modèle est entraîné sur la base de données HAM10000 ("Human Against Machine with 10000 training images"), une référence dans le domaine de la dermatologie. Elle contient 10 015 images dermatoscopiques couvrant 7 classes de lésions cutanées, notamment :

- Mélanome (mel)
- Nævus bénin (nv)
- Kératose séborrhéique (bkl)
- Carcinome basocellulaire (bcc)
- Carcinome épidermoïde (akiec)
- Dermatofibrome (df)
- Lésion vasculaire (vasc)

Les images sont accompagnées de métadonnées cliniques, et le dataset est accessible publiquement sur la plateforme Kaggle [58].

La base de données a été divisée stratégiquement comme suit :

- Ensemble d'entraînement : 8 012 images (80 %)
- Ensemble de validation : 1 002 images (10 %)
- Ensemble de test : 1 001 images (10 %)

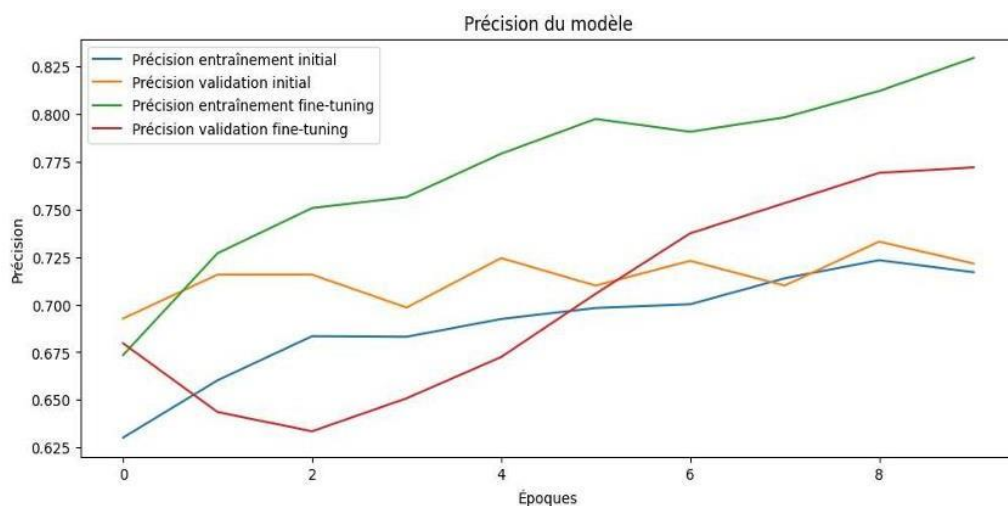
Une stratification a été appliquée afin de conserver une répartition équitable des classes dans chaque sous-ensemble.

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

### c. Architecture du modèle

Le modèle repose sur MobileNetV2, un réseau convolutif léger, optimisé pour l'efficacité tout en conservant de bonnes performances. Il a été initialisé avec des poids pré-entraînés sur la base ImageNet, puis adapté pour la classification dermatologique.

- Backbone : MobileNetV2 sans les couches finales.
  - GlobalAveragePooling2D : Réduction spatiale des cartes de caractéristiques.
  - Dropout (0.5) : Régularisation pour réduire l'overfitting.
  - Dense (7 neurones, activation softmax) : Classification multi-classes.
- **Prétraitement effectué**
    - Redimensionnement à 224x224 pixels
    - Normalisation des pixels entre 0 et 1
    - Data Augmentation : rotations, zooms, translations, flips horizontaux
  - **Entraînement réalisé en deux phases**
    - Phase 1 : Couches convolutionnelles gelées, entraînement des couches de sortie
    - Phase 2 : Fine-tuning en dégelant les dernières couches, avec un taux d'apprentissage réduit (0.0001)



**Figure 21:** L'évolution de la précision du modèle

## Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

### d. Résultats obtenus

Le modèle a montré de bonnes performances globales, avec une précision moyenne encourageante malgré un déséquilibre des classes.

- Accuracy sur l'ensemble de test : 82 %
- F1-score moyen pondéré : 82 %
- Perte (loss) : modérée et bien stabilisée grâce au fine-tuning

Le graphique montre clairement que le fine-tuning étape cruciale pour améliorer les performances du modèle. Voici les principaux points à retenir :

- Précision d'entraînement : Elle s'améliore considérablement lors du fine-tuning
- Précision de validation : Le fine-tuning permet de réduire l'écart entre les performances d'entraînement et de validation, démontrant une meilleure capacité de généralisation.

#### • Interprétation

- Très bonnes performances sur les nævus (nv)
- Confusions fréquentes entre lésions malignes (mel, akiec, bcc)
- Faibles performances sur les classes sous-représentées comme df ou vasc

Le modèle a atteint une précision globale de 82 % sur l'ensemble de test, illustrant une convergence satisfaisante dès les premières époques d'entraînement. Cette performance témoigne de la stabilité du processus d'apprentissage, renforcée par l'utilisation de la régularisation Dropout et d'une stratégie de data augmentation bien adaptée pour limiter le sur-apprentissage.

## 5 Conclusion

La mise en œuvre pratique de la plateforme représente une étape essentielle dans l'application concrète de l'intelligence artificielle au service du diagnostic médical. Grâce à l'intégration de l'IA, la plateforme automatise désormais l'analyse de diverses sources d'informations cliniques, telles que les signaux biologiques, les symptômes rapportés par les patients et les images médicales. **DoctorMind** démontre ainsi sa capacité à traiter et interpréter des données de santé variées de manière rapide, fiable et adaptée aux besoins du terrain. Chaque modèle intégré a été développé en tenant compte des spécificités des données traitées et des exigences cliniques, avec un objectif principal de faciliter l'orientation des patients et de renforcer la détection précoce des pathologies. L'ensemble de ces fonctionnalités s'inscrit dans

### Chapitre III : Les modèles d'analyse médicales intégrés de la plateforme

une approche globale, visant à fournir un outil numérique accessible, performant et capable de répondre aux contraintes liées à la surcharge des établissements de santé ou au manque de personnel spécialisé.

Ces travaux illustrent ainsi la volonté de **DoctorMind** de conjuguer l'IA, rigueur médicale et accessibilité technologique, afin d'apporter des solutions concrètes et innovantes aux enjeux de santé actuels.

**Chapitre IV :**  
**Les langages et les  
technologies utilisés**

### 1 Introduction

Dans le cadre du développement d'applications web modernes, il est nécessaire de recourir à un ensemble cohérent de technologies permettant la mise en œuvre d'un parcours utilisateur fluide, d'un modèle dynamique et de la sécurité. Ce mémoire est dans cette logique où il sera question d'un ensemble de technologies incontournables en développement web (HTML, CSS, JavaScript, React.js et Firebase). Pour faire face à la complexité croissante des interfaces utilisateur tout en répondant aux exigences de productivité et de maintenabilité, plusieurs bibliothèques et frameworks ont émergé. Le pionnier de ces technologies n'est autre React.js, une des bibliothèques les plus connues aujourd'hui, développée par Facebook. Sur la base d'un modèle de programmation orienté composants réutilisables optimisant la gestion des interactions de l'application avec le DOM grâce à l'architecture fonctionnelle de Virtual DOM d'une part, et d'autre part la possibilité de coupler facilement des outils et des bibliothèques, il propose une façon simplifiée de construire des interfaces dynamiques, pérennes et fiables à travers une architecture explicite. Pour le backend et services, Firebase, plateforme cloud portée par l'entreprise Google, propose de nombreux services prêts à l'emploi pour aider au développement plus rapide d'applications. Ce chapitre présente les outils et technologies utilisés pour le développement de la plateforme DoctorMind ainsi que leur rôle respectif dans la mise en œuvre de la solution. Nous traiterons en premier élément concerné les technologies front-end dont React.js qui constitue la base de l'utilisateur interface. Nous traiterons ensuite Firebase, utilisé en tant que service d'authentification, sécurisée notamment pour gérer de manière différenciée les comptes médecins et patients. Enfin, nous traiterons de l'intégration des modèles d'intelligence artificielle au cœur du projet, et nous rendrons compte des modalités d'échanges possibles entre le frontend, d'une part, et des modules de traitement IA en Python, d'autre part au travers d'API.

L'objectif de ce chapitre est de montrer comment l'architecture technique retenue a bien conscience de la séparation entre l'interface utilisateur, la logique de sécurité /authentification et de protection et, enfin, les services dédiés au traitement intelligent des données. Cette séparation a permis de répondre aux exigences fonctionnelles du projet, tout en assurant la modularité, la maintenabilité et l'évolutivité.

### 2 Langage et technologies utilisées

#### 2.1 Présentation de L'HTML, CSS et JavaScript

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

HTML (HyperText Markup Language) représente l'élément fondamental le plus simple et indispensable dans l'édification du web. Elle détermine le sens et la structure essentielle du contenu des pages web. D'autres technologies sont employées en association avec HTML pour définir l'aspect visuel de la page (à l'instar de CSS) ou ses fonctionnalités et interactions (comme JavaScript).

Le terme « Hypertexte » désigne les connexions qui unissent les différentes pages web, qu'elles proviennent d'un même site ou de sites divers. Les liens constituent un élément fondamental de la structure du web. En publiant du contenu sur internet et en l'associant à d'autres pages élaborées par divers utilisateurs, vous vous transformez en un contributeur actif du World Wide Web [59].



**Figure 22 : HTML**

CSS (Cascading Style Sheets) est un langage de feuille de style conçu pour définir l'aspect et la mise en forme des documents rédigés en HTML ou XML, y compris leurs variantes comme SVG, MathML ou XHTML.

CSS définit la manière dont les éléments doivent apparaître à l'écran, sur papier, lors de la lecture vocale ou par le biais d'autres supports.

CSS est l'un des langages essentiels du web ouvert, et il est uniformisé sur les navigateurs en accord avec les spécifications du W3C (World Wide Web Consortium). Dans le passé, CSS a été élaboré à travers des versions successives comme CSS1, CSS2.1 et CSS3. Toutefois, CSS n'est plus diffusé en tant que version unifiée (donc pas de CSS3 ou CSS4), mais plutôt sous forme de modules CSS, chacun avec sa propre version, à l'image de : CSS Color Module Level. Le W3C publie désormais régulièrement des instantanés (snapshots) de l'état final des spécifications CSS, chaque module étant élaboré de manière autonome [60].



**Figure 23:** Feuilles de style en cascade

JavaScript (JS) est un langage de programmation léger et interprété (ou compilé à la volée), qui supporte les fonctions comme des objets de premier ordre. JavaScript, bien qu'il soit principalement associé au développement de pages web, est également utilisé dans des environnements qui ne sont pas des navigateurs, tels que Node.js, Apache CouchDB ou Adobe Acrobat.



**Figure 24:** JavaScript

JavaScript est un langage dynamique basé sur le modèle des prototypes, supportant plusieurs paradigmes de programmation tels que la programmation orientée objet, impérative et déclarative, incluant la programmation fonctionnelle. Parmi ses fonctionnalités dynamiques, on peut citer :

- La création d'objets lors de l'exécution.
- Des listes de paramètres qui peuvent varier.
- L'enregistrement de fonctions dans des variables.
- La création dynamique de scripts (par le biais d'eval).
- L'examen d'objets.
- L'accès au code source d'une fonction (à travers toString) [61].

### 2.2 React JS

ReactJS est une bibliothèque JavaScript libre, initialement développée par Facebook, qui s'est imposée comme l'un des outils les plus puissants pour construire des interfaces utilisateurs

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

dynamiques, efficaces et notamment pour construire des applications monopage (SPA – Single Page Applications). Elle permet de construire des interfaces utilisateurs réactives et modulaires en utilisant une architecture de composants réutilisables permettant de simplifier le développement, la maintenance et l'évolution d'applications web complexes. L'un des principaux avantages de React est sa capacité à manipuler un DOM virtuel c'est-à-dire une représentation mémoire de la structure du document HTML dans le but de faire des mises à jour rapides et efficaces de l'interface sans recharger la page. Le choix de ReactJS comme bibliothèque principale pour le développement de la plateforme DoctorMind repose sur plusieurs arguments techniques, pratiques et stratégiques. Ce choix est justifié par les avantages qu'offre React en termes de performance, modularité, expérience utilisateur, et écosystème riche. À la différence de la plupart des autres frameworks ou bibliothèques, React ne veut pas prendre en charge toute l'architecture d'une application (y compris la gestion de l'état et de la navigation), mais se restreindre à la couche de présentation de l'application. Cela permet d'avoir un bon découplage du code et de choisir les outils, ou bibliothèques options, que l'on souhaite pour gérer le routage, le state management, ou encore le web service. React se démarque aussi par sa syntaxe ou notation JSX (JavaScript XML), qui est une extension syntaxique de JavaScript permettant d'écrire du code HTML au sein du code JavaScript, apportant ainsi une certaine facilité de lecture pour le développeur dont le plus souvent sera confronté à des interfaces graphiques. L'autre force de React est sa courbe d'apprentissage relativement simple. La bibliothèque est construite autour de principes simples et fondateurs que sont les composants fonctionnels, les props (propriétés) et l'état (state). Cela permet de modulariser le développement où chaque composant gère sa propre logique et son rendu. Cela facilite donc la réutilisation du code, la rédaction de tests unitaires et la maintenance sur le long terme. Par ailleurs, React a évolué ces dernières années pour accueillir des fonctionnalités modernes comme les Hooks, permettant la gestion de l'état et du cycle de vie des composants fonctionnels sans classes, avec des Hooks comme useState, useEffect ou useContext qui changent notre façon de coder avec React vers une relative fonctionnelle, simple et concise. En outre, React dispose d'un large éventail de bibliothèques et modules supplémentaires pour la gestion des routes le module React Router, pour le stockage d'un état global on peut utiliser Redux ou Recoil, et enfin pour la création d'interfaces élégantes basées sur les principes du Material Design, le module Material-UI. Ces outils enrichissent l'écosystème React et l'adaptent facilement à des projets aussi variés que simples ou complexes. Le grand nombre de développeurs constituant la communauté React s'assure d'une documentation riche, de mises à jour régulières et d'une continuité dans l'évolution de la technologie en fonction des attentes

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

du marché. Contrairement à d'autres frameworks ou bibliothèques, React ne cherche pas à couvrir l'intégralité de l'architecture d'une application mais se concentre spécifiquement sur la couche de présentation. Cela favorise une meilleure séparation des responsabilités dans le code et permet aux développeurs de choisir librement les outils et bibliothèques complémentaires qu'ils souhaitent utiliser pour gérer les autres aspects de l'application, tels que le routage, la gestion d'état ou les appels API. React se distingue également par sa syntaxe JSX (JavaScript XML), une extension de JavaScript qui permet d'écrire du code HTML directement au sein du code JavaScript. Cette approche rend le code plus lisible et intuitif, surtout pour les développeurs habitués à manipuler des interfaces graphiques [62].



**Figure 25:** logo React js

### 2.3 FireBase

Firestore, fondé en 2011 par Andrew Lee et James Tamplin, a été initialement connu sous le nom d'Envolv. Il est ensuite acquis par Google en 2014. La plateforme a pour objectif d'accélérer le développement d'applications mobiles et web en offrant une série d'outils intégrés construits sur le cloud. Firestore servira pour le développement des applications et notamment pour les jeux mobiles, car on dispose d'une offre complète permettant de gérer les données en temps réel, de synchroniser des données entre utilisateurs ou encore de recevoir des notifications. De plus, Firestore permet aux développeurs de suivre la manière dont les Utilisateurs interagissent avec leur application en leur donnant accès à de nombreux outils d'analyse. Firestore est disponible pour une multitude de plateformes (iOS, Android, Web,

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

Unity, ...) et s'intègre aux applications existantes. Il offre notamment de la documentation et des guides de prise en main [63].



**Figure 26:** logo firebase

Firebase représente une solution Cloud de Google (pour le développement d'applications mobiles et web) comprenant une infrastructure backend en état de marche, conçue pour éviter d'avoir à construire et à maintenir un serveur. Pour le langage Java, un SDK Firebase permet d'implémenter l'authentification, la base de données, le stockage de fichiers, l'hébergement, etc. Firebase repose sur des bibliothèques intégrées par des développeurs à leurs applications. Il faut que cette application soit capable de communiquer de manière sécurisée et efficace avec les serveurs Firebase. Pour ce faire, on utilise des SDK qui vont permettre une communication par les protocoles modernes (HTTP/HTTPS) ainsi que par des connexions persistantes (WebSockets) pour rendre possible les mises à jour en temps réel. Quand un utilisateur réalise, sur l'application, l'une des actions suivantes : remplir un formulaire d'inscription, publier un message, télécharger une photo, l'application utilise le SDK Firebase pour envoyer cette donnée vers le serveur Firebase. Cette donnée est alors automatiquement stockée dans un des services de base de données Firebase (Realtime Database, Cloud Firestore, ...). Grâce à la puissance de l'infrastructure cloud de Google, les données sont sauvegardées, sécurisées, et répliquées sur plusieurs serveurs répartis à différents endroits dans les centres de données, garantissant une haute disponibilité et une tolérance aux pannes. Un des principaux avantages du fonctionnement de Firebase est la synchronisation en temps réel. Avec une telle solution, le fait qu'un utilisateur modifie une donnée immédiatement en informe tous les autres utilisateurs d'un même service de l'application, le tout sans rechargement de page ou requête manuelle. Cela rend ce système particulièrement adapté à des applications de messageries instantanées, tableaux de bord dynamiques, systèmes de commentaires, etc. Firebase propose aussi un système de règles de

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

sécurité qui peut être affiné pour s'assurer qui peut lire ou écrire des données selon l'état de connexion, le rôle utilisateur ou d'autres modalités définies dans le code.

En résumé, que l'on considère Firebase comme un intermédiaire cloud intelligent ou une solution backend faiblement couplée, cette solution prend en charge la gestion des données, des fichiers, de l'authentification, de la synchronisation tout en restant facile à utiliser. Le développeur peut ainsi privilégier le développement de l'application plutôt que le comportement complexe du backend [64].

### 3.Principe de fonctionnement

#### 3.1 Page d'atterrissage (Landing page)

La page d'atterrissage, aussi connue sous le nom de landing page, est la première interface que l'utilisateur voit lorsqu'il se connecte à la plateforme **DoctorMind**. Elle sert de porte d'entrée déterminante en présentant de manière claire, intuitive et captivante les services offerts. Il s'agit avant tout d'orienter l'utilisateur dès le départ, en soulignant les fonctionnalités clés de la plateforme et en simplifiant l'accès aux autres sections du site.



Figure 27: landing page

La section du site dans la figure 6 oriente les utilisateurs, notamment les médecins, dans un processus d'analyse médicale intelligente. La procédure débute par une liaison sécurisée au compte de l'utilisateur, grâce à un mécanisme d'identification solide qui assure la sécurité des informations à chaque phase. Par la suite, l'utilisateur a la possibilité de récupérer les informations issues de l'électrocardiogramme et phono-cardiogramme (ECG/PCG) et d'y ajouter les symptômes du patient directement à partir de n'importe quel terminal grâce à une plateforme sécurisée et rapide. Finalement, le système offre des résultats d'analyse détaillés en quelques.



**Figure 28:** Présentation des fonctionnalités

### 3.2 Gestion de l'inscription / connexion des médecins et patients :

En raison de son importance dans l'architecture de la plateforme DoctorMind, la gestion des utilisateurs est très importante. Les patients et les médecins sont deux types d'utilisateurs distincts, dont les processus d'inscription et de connexion sont considérés différemment en fonction de leur rôle et de leur niveau d'accès.

- **Médecins** : L'inscription des médecins ne s'opère pas librement, ni automatiquement, mais grâce à un traitement manuel au moyen de la console Firebase Authentication, un administrateur- responsable d'ajouter les médecins via leur adresse e-mail et un mot de passe sécurisé. Lors de leur connexion via la plateforme, leurs identifiants sont vérifiés directement par l'application. Après la connexion, ils bénéficient alors d'une redirection conditionnelle vers leur espace médecin, dans lequel sont proposées les fonctionnalités dédiées.
- **Patients** : L'acte d'inscription du patient est tout à fait central dans la démarche de mise à disposition de la plateforme. Cette inscription s'opère à partir d'un formulaire qui permet à l'utilisateur de transmettre des éléments de sa base – nom, e-mail, mot de passe. Ce formulaire permet de créer un compte utilisateur mais aussi de personnaliser la plateforme en fonction du profil du patient. Le patient peut se connecter sur la plateforme à tout moment, muni de ses identifiants. Après authentification il accède à

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

un espace personnel. Il dispose dans cet espace notamment de la possibilité de renseigner ses symptômes, d'un dispositif d'aide au diagnostic, de la possibilité d'accéder aux recommandations suggérées. et aussi d'effectuer une analyse dermatologique.

L'infrastructure de **DoctorMind** est un assemblage de plateformes conditionnelles opérant selon la sélection des attributs à partir du profil de l'utilisateur (voir la figure 8). Lorsque l'utilisateur se connecte, le système se doit de valider les identifiants qu'il a saisis par Firebase Authentication. Celui-ci, s'il appartient à la communauté des médecins enregistrés dans le référentiel d'administration, sera tout de suite dirigé vers cette interface. Dans le cas contraire, il est considéré comme un patient. L'interface « médecin » regroupe plusieurs modules intelligents, tels que le module « ECG » qui permet l'analyse automatisée des signaux électrocardiographiques, le module « PCG » qui offre l'interprétation des sons cardiaques, le module de diagnostic basé sur la sélection de symptômes, le module d'analyse d'images dermatoscopiques et le module de traitement d'IRM, tous reposant sur des modèles d'intelligence artificielle intégrés au backend. L'interface patient quant à elle plus simplifiée, propose un module de sélection de symptômes conduisant à un diagnostic et à une proposition de spécialité médicale et possibilité de rendez-vous ou téléconsultation. Il est également possible de fournir une image dermatologique à diagnostiquer. Le tout est traité de manière sécurisée.

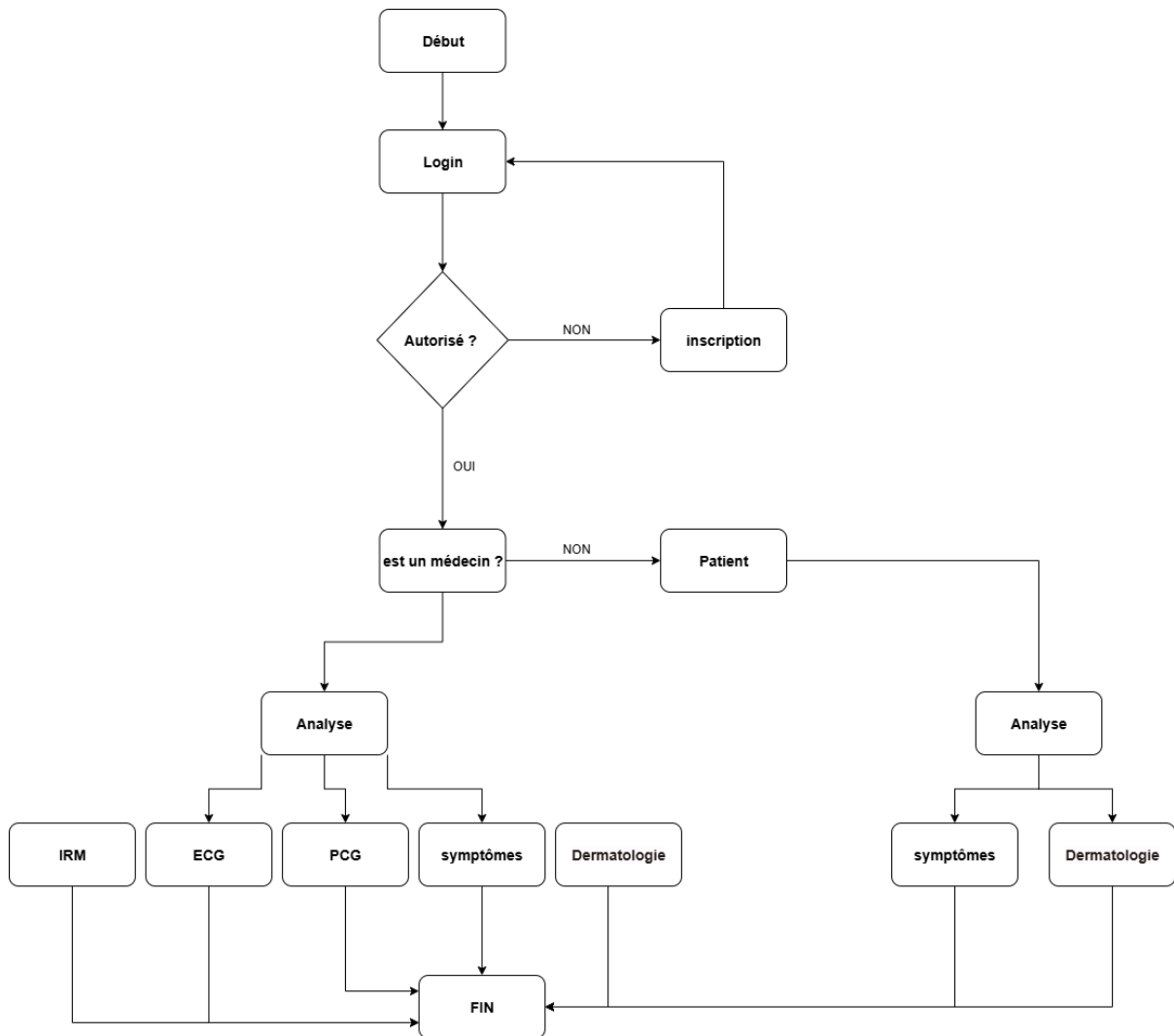


Figure 29: flowchart de DoctorMind

### 3.3 Intégration des modèles de l'IA

L'intégration des modèles d'intelligence artificielle à la plateforme DoctorMind repose sur une architecture orientée services où l'application web développée sous React JS (frontend) dialogue directement avec le backend Python dédié aux traitements intelligents. Cette séparation permet une meilleure scalabilité, une spécialisation des composants, mais aussi une maintenance facilitée des modules d'IA. Concrètement, le côté client développé en React est l'interface utilisateur accessible via un navigateur. C'est à travers celle-ci que l'utilisateur interagira avec les différents modules (symptômes, ECG, PCG, dermatologie, IRM). Lorsqu'un utilisateur soumet les données par exemple un formulaire de déclaration de symptômes, une image médicale ou un fichier audio, ces données sont envoyées au serveur par une requête HTTP. Cette requête est destinée à une API RESTful au sein de laquelle sont hébergés les modèles d'intelligence artificielle préalablement entraînés. Le serveur traite les données

## Chapitre IV : Les Langages et les technologies utilisées

fournis, par exemple un modèle de classification pour les symptômes, un modèle CNN pour l'analyse d'images dermatologiques ou IRM, puis effectue un diagnostic automatisé, et les résultats sont envoyés sous forme de réponse HTTP structurée au client, éventuellement un score de confiance, une orientation vers une spécialité, etc. L'utilisateur reçoit la réponse issue du traitement, l'interprète, puis en visualise les résultats sous une forme claire et accessible. En fonction de ces résultats, il est amené à entreprendre les actions appropriées, telles que le téléchargement du rapport ou la prise de contact avec un professionnel de santé. Ce processus simple, léger et modulaire repose sur des échanges HTTP client React / serveur Python garantissant la simplicité, la sécurité et l'adaptabilité à l'évolution des modèles IA, tout en promouvant la modernité et la rapidité de l'interface utilisateur.

### 4. Conclusion

Ce chapitre a établi les bases techniques du projet **DoctorMind** en détaillant les technologies et les outils utilisés pour sa réalisation. La structure mise en place se base sur une distinction entre l'interface utilisateur, gérée par React.js, les services de Cloud et d'authentification administrés par Firebase, ainsi que les composants d'intelligence artificielle implémentés côté serveur. Cette méthode modulaire facilite la maintenance, l'évolutivité tout en assurant une gestion optimisée de la sécurité et des performances.

**Chapitre V:**  
**Présentation de la**  
**plateforme DoctorMind**

### 1. Introduction

DoctorMind est une plateforme astucieuse de pré-diagnostic médical élaborée pour s'attaquer aux problématiques contemporaines du système de santé, comme l'engorgement des établissements, les temps d'attente prolongés et l'inégalité dans l'accès aux soins. À travers l'intelligence artificielle, elle offre une évaluation rapide et précise des signaux biologiques, des symptômes et des imageries médicales, dans le but d'assister les patients avec un premier diagnostic de leur état médical et de guider judicieusement les professionnels vers le niveau approprié de soins. DoctorMind, accessible, dynamique et innovant, participe à la perfection de l'identification précoce des maladies et à l'amélioration du cheminement médical pour tous.

### 2. Objectifs de DoctorMind

L'objectif principal de la plateforme est de fournir aux patients et aux professionnels de santé un outil intelligent de pré-diagnostic, permettant d'obtenir un premier niveau d'évaluation médicale, de manière rapide, fiable et accessible.

**DoctorMind** vise à répondre aux besoins urgents du système de santé en proposant :

- Une réduction significative de la charge pesant sur les structures médicales, en orientant de manière précoce et appropriée les patients vers le bon niveau de soins (consultation générale, spécialiste, urgence, ou simple surveillance).
- Un gain de temps précieux pour les patients, en leur évitant de longues périodes d'attente et en réduisant les incertitudes liées à l'auto-évaluation de leurs symptômes.
- Une amélioration de la prise en charge médicale, grâce à des outils d'intelligence artificielle capables d'analyser rapidement différents types de données médicales (signaux biologiques, symptômes, imagerie médicale).
- Une contribution à la détection précoce des pathologies graves, en offrant aux utilisateurs des alertes précises en cas d'anomalies détectées.
- Améliorer l'accès au diagnostic précoce, notamment dans les zones à faible couverture médicale.

En somme, **DoctorMind** a pour ambition de démocratiser l'accès à l'évaluation médicale assistée par l'intelligence artificielle, en proposant un outil accessible au plus grand nombre, y compris dans les régions où l'accès aux professionnels de santé est limité. La plateforme vise ainsi à réduire les inégalités en matière de diagnostic, à favoriser la détection précoce des pathologies et à optimiser l'utilisation des ressources humaines et matérielles du secteur médical, contribuant ainsi à un système de santé plus efficace, plus équitable et plus réactif.

### 3. Fonctionnalités principales

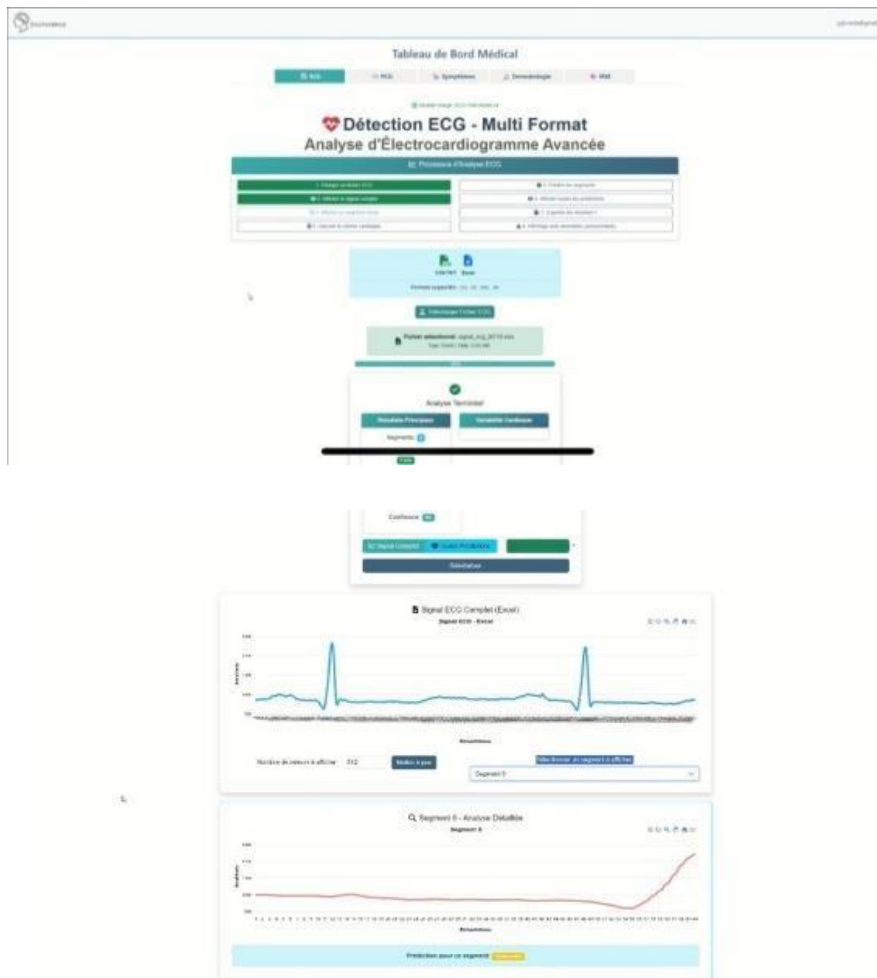
**DoctorMind** intègre plusieurs modules intelligents qui couvrent différents aspects du pré-diagnostic médical. Voici les principales fonctionnalités :

#### 3.1 Analyse des Signaux Biologiques (ECG et PCG)

La plateforme permet l'analyse automatisée des signaux biologiques :

- **Module ECG** : Détection des anomalies cardiaques à partir des électrocardiogrammes.

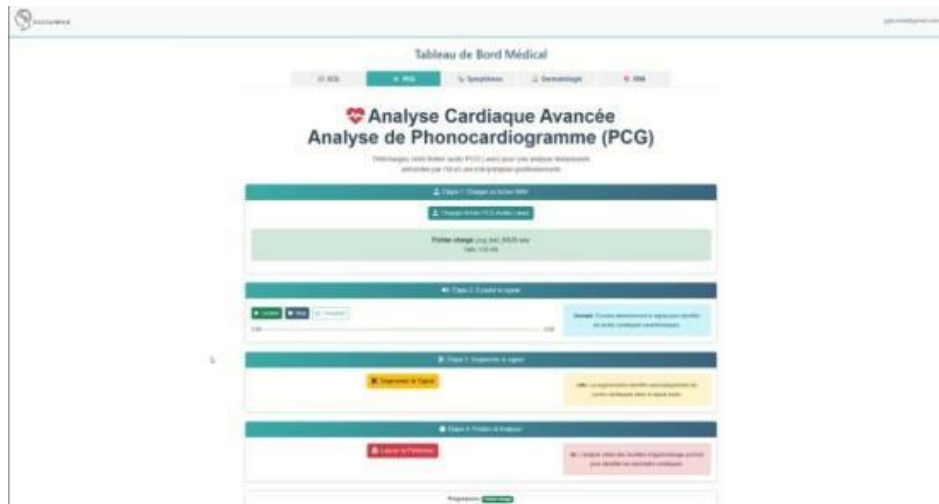
Lorsque le médecin télécharge le fichier ECG le système génère automatiquement le signal complet et afficher les segments choisis, calculer les rythmes cardiaques prédire le segment et afficher toutes les prédictions exporter les résultats.



**Figure 30: Résultats ECG**

- **Module PCG** : Analyse des sons cardiaques pour identifier les souffles, les arythmies ou d'autres pathologies cardiaques.

Chaque signal est prétraité, puis analysé par un modèle d'IA spécialisé, avec génération d'un rapport interprétatif. Lorsque le médecin télécharge le fichier audio de cœur le système segmente le signal identifier les anomalies et fournir une analyse clinique automatique.



### Tableau de Bord Médical

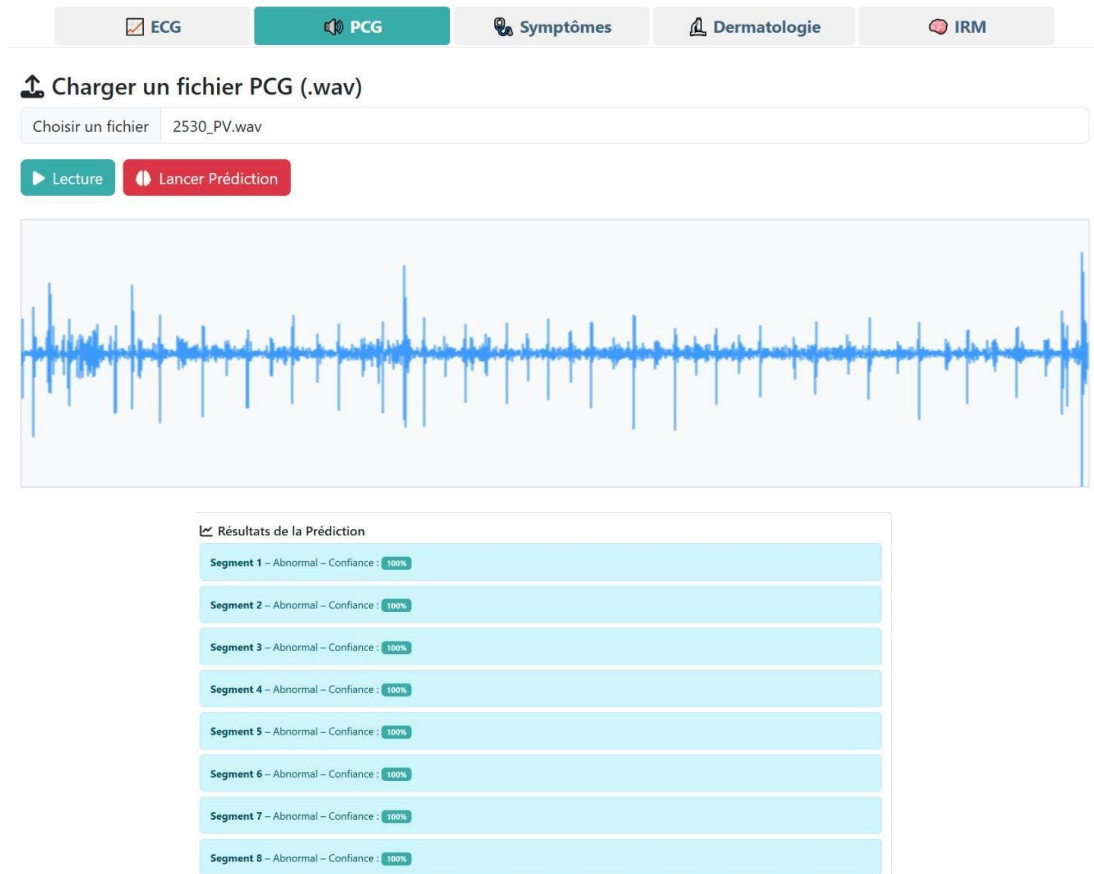


Figure 31: Résultats PCG

### 3.2 Interprétation des Symptômes Textuels

## Chapitre V

L'utilisateur peut renseigner ses symptômes sous forme de réponses à un questionnaire. Grâce à un algorithme d'apprentissage automatique, **DoctorMind** évalue les symptômes et propose les pathologies les plus probables, tout en recommandant une éventuelle consultation médicale.

Lorsque le médecin télécharge les Symptômes le système génère automatiquement un diagnostic préliminaire et une orientation vers la spécialité médicale appropriée.



**Figure 32:** résultats des symptômes

### 3.3 Analyse d'Imagerie Médicale (IRM Cérébrale)

La plateforme intègre un modèle capable de détecter la présence de tumeurs cérébrales sur des images IRM. Ce module vise à renforcer le dépistage précoce des pathologies neurologiques graves. Le médecin télécharge l'image IRM le système génère automatiquement le diagnostic.

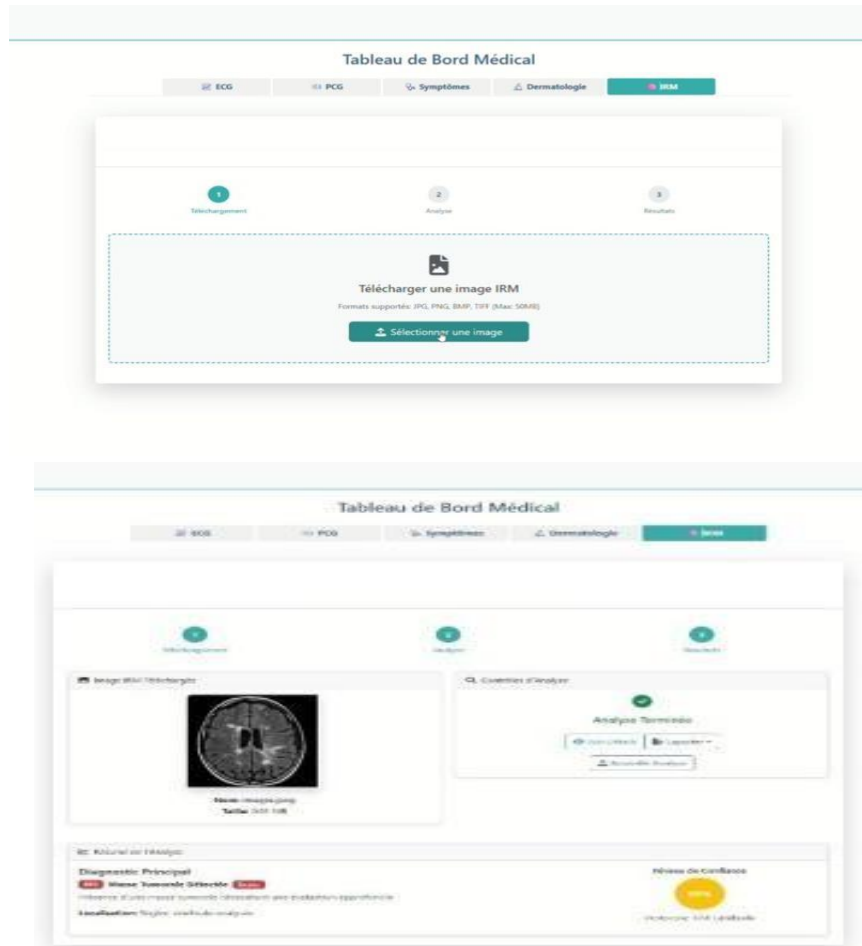


Figure 33: Résultats IRM

### 3.4 Analyse dermatologique

DoctorMind propose également un module d'analyse des images dermatologiques. En chargeant la photo d'une lésion cutanée, l'utilisateur obtient une première évaluation indiquant si la lésion présente des caractéristiques suspectes nécessitant une consultation spécialisée. Le médecin télécharge une image le système analysera et donnera le diagnostic principale avec plus de taille.

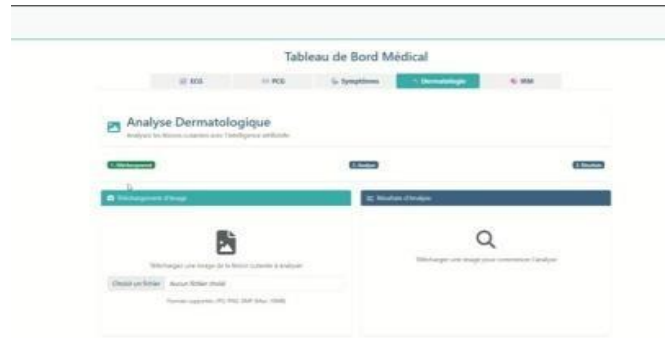


Figure 34: Interface de la dermatologie

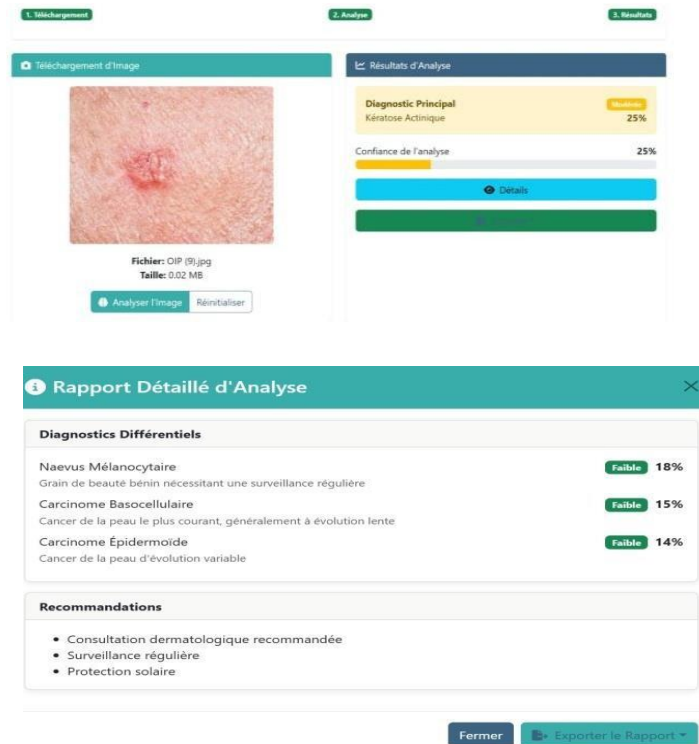


Figure 35: Résultats dermatologie

### 3.5 Génération de Recommandations Médicales

En fonction des résultats générés par ses différents modules d'analyse, **DoctorMind** propose à l'utilisateur des recommandations d'orientation médicale adaptées à son état de santé présumé. Ces recommandations peuvent aller d'une simple surveillance et auto-suivi, à la prise de rendez-vous avec un spécialiste, voire à la nécessité d'une consultation médicale urgente. L'objectif est de guider le patient vers le parcours de soins le plus approprié, en fonction de la

gravité des anomalies détectées ou des symptômes décrits. Ces fonctionnalités représentent une première version de la plateforme. D'autres services médicaux intelligents seront progressivement intégrés, afin d'élargir l'accompagnement médical offert par la plateforme.

#### 4 Utilisateurs ciblés

L'accès à la plateforme **DoctorMind** pour le patient commence par l'interface d'inscription simple une fois le formulaire rempli il suffit de cliquer sur le bouton s'inscrire pour créer un compte sécurisé.



The image shows a web form titled "Inscription Patient" from DoctorMind. It includes input fields for "Nom" (with a sub-label "Entrez votre nom"), "Prénoms" (with a sub-label "Entrez votre prénom"), "Date de naissance" (with a sub-label "jj/mm/aaaa"), and "Email" (with a sub-label "Entrez votre email"). There are two green buttons at the bottom: "S'inscrire" and "Ouvrir un compte à l'adresse email existante".

Figure 36: Inscription de patients

Nous permettons aux patients de renseigner leurs symptômes afin d'obtenir un diagnostic préliminaire automatisé, les orientant vers la spécialité médicale la plus adaptée.



The image shows a web interface titled "Diagnostic Assisté par IA" with a sub-header "Analysez vos symptômes ou téléchargez une image pour un diagnostic instantané et une interprétation professionnelle". There are two tabs: "Symptômes" (selected) and "Dermatologie". A "Déconnexion" button is in the top right. The main area is split into two columns: "Rechercher des symptômes" (with a search bar) and "Symptômes Sélectionnés". The search bar contains "Eruption cutanée". The "Symptômes Sélectionnés" list includes "Eruption cutanée", "Eruptions nodulaires", and "Taches dyschromiques". The "Rechercher des symptômes" list includes "Démangeaisons", "Eruption cutanée", "Eruptions nodulaires", "Taches dyschromiques", "Érythèmes continus", "Frissons", "Char de poule", "Larmoiement", "Douleur à l'estomac", "Acidité", "Ulcères sur la langue", and "Vomissements". A "Obtenir le Diagnostic" button is at the bottom.

Figure 37: interface de symptômes pour patients

**DoctorMind** a été pensée pour répondre aux besoins de plusieurs catégories d'utilisateurs, en mettant l'intelligence artificielle au service de l'accessibilité aux soins :

- **Médecins généralistes** : Ils peuvent utiliser la plateforme comme un outil d'assistance pour affiner rapidement un premier diagnostic, en s'appuyant sur les analyses /automatiques des signaux et des symptômes.
- **Professionnels de santé en zones rurales** : Dans les régions où l'accès aux spécialistes est limité, **DoctorMind** représente un appui essentiel, permettant aux infirmiers et médecins de terrain de disposer d'un avis algorithmique complémentaire pour améliorer la prise en charge des patients.
- **Patients souhaitant un avis préliminaire** : Toute personne présentant des symptômes ou s'inquiétant pour sa santé peut bénéficier d'un pré-diagnostic rapide, depuis chez elle, avant de se rendre en consultation. Cela permet un gain de temps et une meilleure orientation.
- **Étudiants en médecine ou jeunes praticiens** : L'outil peut servir de support pédagogique, en entraînant les utilisateurs à interpréter des signaux médicaux et à reconnaître des pathologies.
- **Pharmaciens et cliniques partenaires** : Dans le cadre de collaborations, ils peuvent recommander l'usage de la plateforme à leurs clients ou patients, notamment pour l'orientation initiale.

Ces utilisateurs partagent le besoin commun d'outils rapides, fiables et accessibles pour améliorer la qualité des soins et optimiser le temps médical. La plateforme s'adresse à un large éventail d'utilisateurs, chacun ayant des besoins spécifiques en matière de pré-diagnostic médical, de suivi de la santé et d'aide à la décision clinique. Les principales catégories ciblées sont les suivantes :

### 4.1 Les patients

**DoctorMind** vise avant tout le grand public, notamment les patients souhaitant obtenir une première évaluation de leur état de santé sans devoir attendre un rendez-vous médical. Il s'agit principalement de personnes présentant des symptômes nouveaux, inexpliqués ou préoccupants, qui se retrouvent souvent démunies face à la diversité des informations disponibles en ligne. En leur fournissant une analyse préliminaire rapide et accessible, la

plateforme leur permet de réduire leur anxiété, d'éviter les erreurs d'autodiagnostic et dégager un temps précieux dans leur parcours de soins.

### **4.2 Les professionnels de santé**

**DoctorMind** constitue également un outil précieux de support à la décision médicale pour l'ensemble des acteurs du secteur de la santé. En fournissant une analyse automatisée des signaux biologiques, des symptômes et des imageries médicales, la plateforme aide à faciliter le triage des patients, optimiser les parcours de soins et améliorer la rapidité des prises de décision cliniques, en particulier dans les contextes de surcharge ou d'urgence. Que ce soit au niveau des médecins généralistes, des spécialistes (cardiologues, dermatologues, neurologues, etc.), la plateforme offre un appui technologique permettant d'orienter efficacement les patients, de limiter les erreurs d'évaluation initiale et de garantir un meilleur suivi des cas à risque.

### **4.3 Les structures de télémédecine et les établissements de soins**

Les centres de télémédecine, les cliniques mobiles, les hôpitaux de proximité ou encore les postes de santé en zones rurales peuvent intégrer **DoctorMind** pour faciliter le tri des patients, prioriser les cas critiques et renforcer l'efficacité des équipes médicales, particulièrement dans les régions où le manque de spécialistes est marqué.

### **4.4 Les compagnies d'assurances santé**

Les assureurs santé représentent également une cible stratégique pour **DoctorMind**. Grâce à la plateforme, ces compagnies d'assurances santé ont l'opportunité de proposer à leurs assurés des services de prévention personnalisés, favorisant ainsi un meilleur suivi de leur état de santé. En facilitant la détection précoce des pathologies et en réduisant le nombre de consultations inutiles, la plateforme permet aux assureurs de maîtriser les coûts liés aux prises en charge médicales évitables. Par ailleurs, en offrant des outils innovants d'évaluation et de suivi de la santé, la plateforme contribue à améliorer la satisfaction des assurés et à renforcer l'image d'innovation des compagnies d'assurance partenaires.

### **4.5 Les chercheurs et développeurs en e-santé**

Enfin, **DoctorMind** peut intéresser la communauté scientifique, les chercheurs en intelligence artificielle appliquée à la santé, ainsi que les étudiants ou développeurs spécialisés dans les technologies médicales, désireux d'expérimenter des algorithmes de pré-diagnostic, d'améliorer les modèles existants, ou de contribuer à l'évolution de la santé numérique.

## 5 Conclusion

La plateforme **DoctorMind** s'inscrit pleinement dans une dynamique d'innovation numérique appliquée au domaine de la santé. Elle répond de manière concrète et ciblée aux défis majeurs auxquels est confronté le secteur médical, tels que la surcharge des consultations, la nécessité croissante d'obtenir des diagnostics rapides et fiables, ainsi que le manque d'outils intelligents accessibles à distance, notamment pour les populations éloignées des structures de soins. Grâce à ses modules spécialisés, couvrant l'analyse des signaux biologiques (ECG et PCG), l'interprétation des symptômes et la détection précoce de pathologies, la plateforme offre aux utilisateurs une première orientation médicale fiable et pertinente, contribuant ainsi à améliorer la prise en charge précoce des patients. En s'adressant à la fois aux professionnels de santé et au grand public, la plateforme adopte un positionnement hybride et inclusif, en parfaite adéquation avec les exigences de la médecine moderne. Ce positionnement stratégique ouvre la voie à une médecine plus réactive, connectée et accessible, tout en laissant entrevoir de nombreuses perspectives d'évolutions futures, notamment l'intégration de nouveaux modules d'intelligence artificielle et le renforcement de la personnalisation des services proposés.

## Conclusion générale

Le projet **DoctorMind** s'inscrit dans une dynamique d'innovation technologique au service du domaine médical, en proposant une plateforme intelligente de pré-diagnostic reposant sur l'intégration de technologies web modernes et de modèles d'intelligence artificielle. Ce travail a permis la conception et le développement d'un système complet et modulaire, combinant une interface utilisateur réactive en ReactJS, un backend léger en Flask pour l'exécution des modèles IA, et un système d'authentification sécurisé basé sur Firebase. La séparation des responsabilités entre les différentes couches applicatives (frontend, backend, sécurité, intelligence) a facilité la maintenabilité et l'évolution de la plateforme tout en assurant sa fiabilité.

**DoctorMind** offre aux patients la possibilité de saisir des symptômes ou de soumettre des données médicales (images, signaux), qui sont ensuite traitées par des modèles spécialisés en classification d'images, analyse de signaux ECG/PCG ou IRM. Les résultats sont retournés en temps réel, sous forme de prédictions ou de suggestions d'orientation médicale, contribuant ainsi à un parcours de soins plus fluide et anticipatif. L'application illustre parfaitement l'usage pertinent de l'IA dans l'e-santé, tout en laissant la place centrale au jugement médical.

Sur le plan pédagogique, ce projet nous a permis de renforcer nos compétences techniques en développement web full-stack, en manipulation de données médicales, en conception d'API sécurisées et en déploiement de modèles IA dans un contexte applicatif réel. Il constitue également une expérience enrichissante en termes de gestion de projet, de collaboration, et de documentation technique.

En somme, **DoctorMind** représente une solution prometteuse, pouvant être déployée à plus grande échelle après validation réglementaire, tout en continuant à évoluer vers une plateforme médicale intelligente, sécurisée, accessible et utile pour la société.

- [1] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3).
- [2] Strengthening Health Systems, OECD, 19 mars 2024. [En ligne]. Disponible : [https://www.oecd.org/en/publications/strengthening-health-systems\\_3a39921e-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/strengthening-health-systems_3a39921e-en.html).
- [3] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3A](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3A). Esteva, B. Kuprel, R. A. Novoa, et al., “Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks,” *Nature*, vol. 542, no. 7639, pp. 115–118, 29 juin 2017.
- [4] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3H](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3H). Semigran, J. Linder, et al., “Evaluation of symptom checkers for self diagnosis and triage: audit study,” *BMJ*, 15 juin 2015. [En ligne]. Disponible : <https://doi.org/10.1136/bmj.h3480>.
- [5] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3G](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3G). S. Sadio, T. Alimata, “Deep Learning pour l’analyse et la classification d’images,” Mémoire de Master, Univ. Temouchent, 2024. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/Mémoire de Master 2 CYSIA Sadio Alimata - Sadio Guindo.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/Mémoire%20de%20Master%20CYSIA%20Sadio%20Alimata%20-%20Sadio%20Guindo.pdf).
- [6] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Image](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Image), [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/nfnnn1C2JcFkS2Vi6>.
- [7] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3A](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3A). Youcefa, M. N. B. M., “Titre non spécifié,” Mémoire, Univ. Ouargla, 2021. [En ligne]. Disponible : <https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/29107>.
- [8] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3A](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3A). E. N. Djemam, “Analyse et Manipulation de l’espace latent d’un GAN pour la génération d’image,” Mémoire, Univ. Guelma, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/14976>.
- [10] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3I](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3I). Aissougui, “Modélisation des micromachines/capteurs en utilisant les réseaux de neurones artificiels,” Mémoire, Univ.

## Bibliographie

Guelma, juin 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/14691>.

[11] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3K](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3K). I. Mouali, “Anticipation de la valeur des crypto-monnaies grâce à l’apprentissage automatique,” Mémoire, Univ. Mouloud Mammeri, 2020. [En ligne]. Disponible : <https://dSPACE.ummt0.dz/items/1ae7e7e1-43dd-446e-bc68-745b243d67e9>.

[12] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Deep](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Deep) Learning: Common Architectures, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/QCbymAx3fB7xm3Nj9>.

[13] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3B](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3B). N. E. I. S. Merouane, “Application des réseaux de neurone pour la classification des,” Mémoire, Univ. Guelma, 19 oct. 2020. [En ligne]. Disponible : [https://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/10178/1/SERIDI\\_MERWAN\\_Automatique..\\_Automatique%20et%20informatique%20industrielle.pdf](https://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/10178/1/SERIDI_MERWAN_Automatique.._Automatique%20et%20informatique%20industrielle.pdf).

[14] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3B](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3B). N. E. I. S. Merouane, “Application des réseaux de neurone pour la classification des,” Mémoire, Univ. Guelma, 10 oct. 2020. [En ligne]. Disponible : [https://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/10178/1/SERIDI\\_MERWAN\\_Automatique..\\_Automatique%20et%20informatique%20industrielle.pdf](https://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/10178/1/SERIDI_MERWAN_Automatique.._Automatique%20et%20informatique%20industrielle.pdf).

[15] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3)The basic architecture of CNN, [En ligne]. Disponible : [https://www.researchgate.net/figure/The-basic-architecture-of-CNN\\_fig2\\_375073939](https://www.researchgate.net/figure/The-basic-architecture-of-CNN_fig2_375073939).

[16] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3M](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3M). Ahmed, “Classification Des Données Basée Sur Les Réseaux,” Mémoire, Univ. Guelma, 23 juin 2024. [En ligne]. Disponible : [https://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/16529/1/F1\\_6\\_MEZAACHE\\_AHMED.pdf](https://dSPACE.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/16529/1/F1_6_MEZAACHE_AHMED.pdf).

[17] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3M](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3M). Ahmed, “Classification Des Données Basée Sur Les Réseaux,” Mémoire, Univ. Guelma, 23 juin 2024. [En ligne].

## Bibliographie

Disponible : [https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/16529/1/F1\\_6\\_MEZAACHE\\_AHMED.pdf](https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/16529/1/F1_6_MEZAACHE_AHMED.pdf).

[18] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Recurrent Neural Network: Types and Advantages, [En ligne]. Disponible : <https://botpenguin.com/glossary/recurrent-neural-network>.

[19] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) B. M. S. Djillali, "Extraction des connaissances à partir d'une base de Données (Application à la Détection de Fraude dans la Consommation d'Electricité et du Gaz)," Mémoire, Univ. Temouchent, 23 sept. 2020. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/3818/1/Rapport\\_de\\_projet\\_de\\_fin\\_d\\_études\\_M2.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/3818/1/Rapport_de_projet_de_fin_d_études_M2.pdf).

[20] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) B. M. S. Djillali, "Extraction des connaissances à partir d'une base de Données (Application à la Détection de Fraude dans la Consommation d'Electricité et du Gaz)," Mémoire, Univ. Temouchent, 23 sept. 2020. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/3818/1/Rapport\\_de\\_projet\\_de\\_fin\\_d\\_études\\_M2.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/3818/1/Rapport_de_projet_de_fin_d_études_M2.pdf).

[21] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) N. G. S. Eddine, "Régulation de la vitesse d'un moteur asynchrone," Mémoire, Univ. Ouargla, 15 juin 2023. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/33698/1/ilovepdf\\_merged-2.pdf](https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/33698/1/ilovepdf_merged-2.pdf).

[22] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) M. M. Ounane, A. Amina, «Extraction des connaissances à partir d'une base de données (application à la détection de fraude dans la consommation d'électricité et du gaz),» Mémoire, Univ. Temouchent, 2023. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/5881/1/Mémoire\\_PFE\\_OUNANE.A%26MESSANI\\_HLM\\_Enc\\_NOUHALOUAN.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/5881/1/Mémoire_PFE_OUNANE.A%26MESSANI_HLM_Enc_NOUHALOUAN.pdf).

[23] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) A. Benssaada, «Sélection des termes co-occurents avec entropie minimale pour la Classification des textes,» Mémoire, Univ.

## Bibliographie

Guelma, 2022. [En ligne]. Disponible : <http://dspace.univ-guelma.dz/jspui/handle/123456789/13228>.

[24] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Image](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Image) : decision tree, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/UEY1VF2a6A4MM9dZ8>.

[25] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3I](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3I). Aissougui, «Modélisation des micromachines/capteurs en utilisant les réseaux de neurones artificiels,» Mémoire, Univ. Guelma, juin 2023. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/14691/1/AISSOUGUI\\_IHEB\\_F1.pdf](https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/14691/1/AISSOUGUI_IHEB_F1.pdf).

[26] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Image](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Image) : photo, [En ligne]. Disponible : <https://static.ib-formation.fr/content/uploads/2024/06/10124445/It-dans-la-sante-ib-cegos.jpg>.

[27] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3B](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3B). Hazem, «Recommandation des Annonces aux Différentes Communautés d'Intérêt sur le Web,» Mémoire, Univ. Guelma, sept. 2021. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/11773/1/BENSALAH\\_HAZEM\\_F5\\_Informatique.pdf](https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/11773/1/BENSALAH_HAZEM_F5_Informatique.pdf).

[28] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Image](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Image) : Nouveau notebook Colab, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/moHc5tQC6G9yFYms8>.

[29] G. S. Sadio, T. Alimata, «Deep Learning pour l'analyse et la classification d'images,» Mémoire de Master, Univ. Temouchent, 2024. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/Mémoire de Master 2 CYSIA Sadio Alimata - Sadio Guindo.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/Mémoire%20de%20Master%20CYSIA%20Sadio%20Alimata%20-%20Sadio%20Guindo.pdf).

[30] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Image](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Image) : NumPy, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/m6deXE19re1jo8KUA>.

[31] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3M](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3M). M. Ounane, A. Amina, «Extraction des connaissances à partir d'une base de données (application à la détection de fraude dans la consommation d'électricité et du gaz),» Mémoire, Univ. Temouchent, 2023. [En ligne]. Disponible: <https://dspace.univ->

## Bibliographie

[temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/5881/1/Mémoire\\_PFE\\_OUNANE.A%26MESSANI\\_HLM\\_Enc\\_NOUHALOUAN.pdf](https://temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/5881/1/Mémoire_PFE_OUNANE.A%26MESSANI_HLM_Enc_NOUHALOUAN.pdf).

[32] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : Matplotlib, [En ligne].

Disponible : <https://images.app.goo.gl/jjHpvjEgE168V2G48>.

[33] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) zenodo, 23 mai 2022. [En ligne]. Disponible : <https://zenodo.org/records/6574269>.

[34] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : TensorFlow, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/s2Z4AhjjAsGgdq1k7>.

[35] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) S. Souha, «Prédiabète : Un Système de Détection et prédiction de diabète,» Mémoire, Univ. Guelma, juin 2022. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/13349/1/SAHLI\\_SOUHA\\_F5\\_1657103614.pdf](https://dspace.univ-guelma.dz/jspui/bitstream/123456789/13349/1/SAHLI_SOUHA_F5_1657103614.pdf).

[36] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : Keras, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/6f5g4jbAQQwdtkzn9>.

[37] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) «Rehaussement de la parole basée sur l'apprentissage profond (Deep Learning),» Mémoire, Univ. Blida, 2023. [En ligne]. Disponible : <https://di.univ-blida.dz/xmlui/handle/123456789/25343>.

[38] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : librosa, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/4BWkBzXk93RcYTFQA>.

[39] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) «Classification des signaux ECG en utilisant l'intelligence artificielle,» Mémoire, Univ. Tiaret, 2023. [En ligne]. Disponible : <http://dspace.univ-tiaret.dz/bitstream/123456789/13619/1/TH.M.GE.2023.11.pdf>.

[40] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) G. S. Sadio, T. Alimata, «Deep Learning pour l'analyse et la classification d'images,» Mémoire de Master, Univ. Temouchent, 2024. [En ligne]. Disponible : <https://dspace.univ->

## Bibliographie

[temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/Mémoire de Master 2 CYSIA Sadio Alimata - Sadio Guindo.pdf](https://temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/M%C3%A9moire%20de%20Master%20CYSIA%20Sadio%20Alimata%20-%20Sadio%20Guindo.pdf).

[41] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : Scikit-Learn, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/hkBkat5TN4Uye6mL7>.

[42] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) «Implémentation et évaluation d'un modèle d'apprentissage automatique pour l'estimation de la valeur marchande de propriétés immobilières,» Mémoire, Univ. Mouloud Mammeri, 2020. [En ligne]. Disponible : <https://dspace.ummo.dz/items/1b2fe46e-c58c-4394-b91f-cbe4f7716179>.

[43] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : Pandas, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/j2z4pwCfphcpuqAt9>.

[44] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) «Couplage entre reconnaissance faciale et d'apparence Pour l'identification de personnes,» Mémoire, Univ. Guelma, 2021. [En ligne]. Disponible : <https://dspace.univ-guelma.dz/xmlui/handle/123456789/11652>.

[45] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : OpenCy, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/42TQBHrciBRbi5zP9>.

[46] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) «Classification multi-label de localisation des protéines,» Mémoire, Univ. Annaba, 2021. [En ligne]. Disponible : <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2022/02/Zadoud-Ahmed.pdf>.

[47] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) Image : Seaborn, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/s9cXBZEka3Rp1NUm6>.

[48] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3) G. S. Sadio, T. Alimata, «Deep Learning pour l'analyse et la classification d'images,» Mémoire de Master, Univ. Temouchent, 2024. [En ligne]. Disponible : [https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/Mémoire de Master 2 CYSIA Sadio Alimata - Sadio Guindo.pdf](https://dspace.univ-temouchent.edu.dz/bitstream/123456789/4402/1/M%C3%A9moire%20de%20Master%20CYSIA%20Sadio%20Alimata%20-%20Sadio%20Guindo.pdf).

## Bibliographie

- [49] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3)Image : Gradio, [En ligne]. Disponible : <https://images.app.goo.gl/nR7aPUyM9P9T7Tqd6>.
- [50] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3B](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3B). Tarek, «Classification d'arythmies cardiaques par des techniques d'apprentissage avancées,» Mémoire, USTHB, 7 juin 2023. [En ligne]. Disponible : [https://fge.usthb.dz/wp-content/uploads/2023/06/benarabi\\_tarek\\_2023\\_thesis-1.pdf](https://fge.usthb.dz/wp-content/uploads/2023/06/benarabi_tarek_2023_thesis-1.pdf).
- [51] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3)«ECG Heartbeat Categorization Dataset,» [En ligne]. Disponible : <https://www.kaggle.com/datasets/shayanfazeli/heartbeat>.
- [52] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3G](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3G). D. C. Springer, L. T., D. B., «Logistic Regression-HSMM-Based Heart Sound Segmentation,» IEEE, 4 avril 2026. [En ligne]. Disponible : <https://ieeexplore.ieee.org/document/7234876>.
- [53] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3)«PhysioNet Challenge2016: Heart sound classification,» 2016. [En ligne]. Disponible : <https://www.kaggle.com/datasets/bjoernjostein/physionet-challenge-2016>.
- [54] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3Z](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3Z). Zhang, et al., «Heart sound classification based on improved MFCC features and convolutional recurrent neural networks,» Computers in Biology and Medicine, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://scholar.google.com/scholar?q=•+Zhang,+Z.,+et+al.+\(2020\).+Heart+sound+classification+with+CNNs.+Computers+in+Biology+and+Medicine.&hl=fr&as\\_sdt=0&as\\_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.com/scholar?q=•+Zhang,+Z.,+et+al.+(2020).+Heart+sound+classification+with+CNNs.+Computers+in+Biology+and+Medicine.&hl=fr&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar).
- [55] Health workforce, World Health Organization, 2020. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_3)Health workforce, World Health Organization, 2023. [En ligne]. Disponible : [https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/health-workforce#tab=tab_1).



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية وزارة

التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب

حاضنة الأعمال عين تموشنت



# Annexe BMC

ملحق نموذج العمل التجاري

Errouane zineb / khelladi zineb Ziadi Feryal /Bengana Rime Abdelmalek Hawaa / Ouis saoussane	الاسم و القب <b>Votre prénom et nom</b> <b>Your first and last Name</b>
DoctorMind L'avenir de la santé commence aujourd'hui avec DoctorMind	الاسم التجاري للمشروع <b>Intitulé de votre projet</b> <b>Title of your Project</b>
+213553727835	رقم الهاتف <b>Votre numéro de téléphone</b> <b>Your phone number</b>
Doctormind@gmail.com	البريد الإلكتروني <b>Votre adresse e-mail</b> <b>Your email address</b>
Ain Temouchent	مقر مزاولة النشاط ( الولاية- البلدية) <b>Votre ville ou commune d'activité</b> <b>Your city or municipality of activity</b>

**Nature de projet** طبيعة المشروع ■

منتج موجه نحو الخدمة

**Service oriented product**

**Produit orienté service**

Le produit présente une nature hybride, combinant une composante logicielle intelligente (analyse et pré-diagnostic via IA) et une composante servicielle (orientation médicale, interactions avec les professionnels de santé).



L'avenir de la santé commence aujourd'hui avec DoctorMind

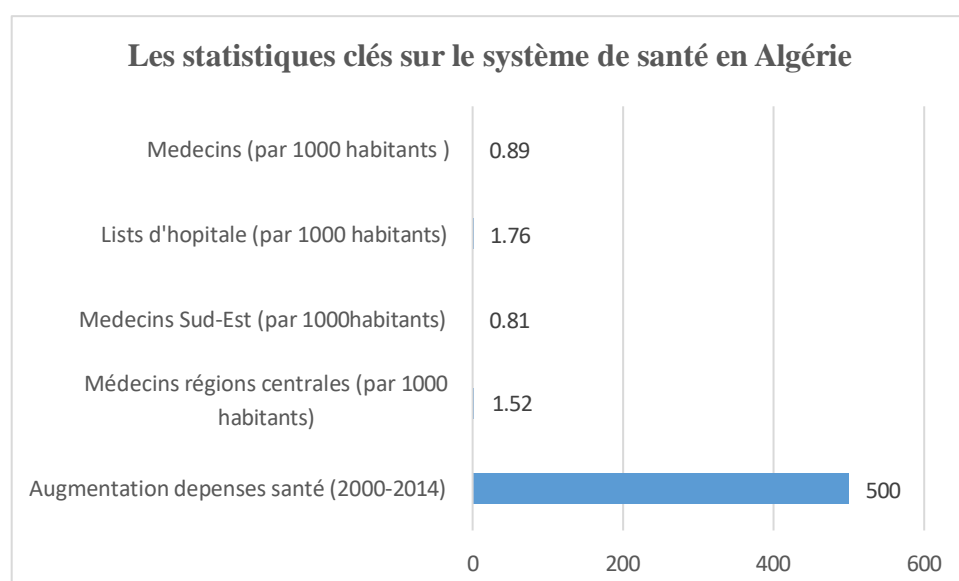
## Problématique

Dans un contexte où l'accès aux soins médicaux devient de plus en plus complexe, la surcharge des professionnels de santé, les délais d'attente prolongés et le manque de solutions numériques accessibles représentent de réels défis. En Algérie comme dans de nombreux pays en développement, les patients doivent souvent parcourir de longues distances pour consulter un médecin généraliste, et l'accès à un spécialiste peut prendre plusieurs semaines. Ce contexte impacte fortement la qualité et la rapidité de la prise en charge des patients.

Selon les données du ministère de la Santé algérien et de l'organisation mondiale de la santé, on dénombre :

- 1 médecin généraliste pour environ 1 118 habitants en Algérie.
- En 2019, on recensait 1,76 lit d'hôpital pour 1 000 habitants, tandis que la moyenne mondiale se situe autour de 2.
- Disparités territoriales dans le Sud-Est algérien, on ne compte que 0,81 médecin pour 1 000 habitants, contre 1,52 pour 1 000 dans les régions centrales
- Une augmentation continue des dépenses publiques de santé +500 % entre 2000 et 2014, sans effet proportionnel sur la qualité des services.

Ces chiffres mettent en évidence une tension croissante sur le système de santé, en particulier face à la croissance démographique, à la transition épidémiologique (hausse des maladies chroniques), et à la faible numérisation des services.



Ces statistiques mettent en évidence plusieurs problématiques structurelles majeures du système de santé algérien. Tout d'abord, la pénurie de médecins, en particulier dans les zones rurales, crée de véritables déserts médicaux et accentue les inégalités d'accès aux soins. Ensuite, la capacité hospitalière reste limitée face à une population en croissance constante, ce qui engendre une saturation des structures existantes. Aussi, bien que les ressources publiques allouées à la santé aient considérablement augmenté, leur gestion et leur utilisation ne semblent pas toujours optimisées, ce qui limite leur impact sur la qualité réelle des services offerts.

**DoctorMind** se positionne comme une solution numérique innovante, conçue pour pallier les limites actuelles du système de santé algérien. Elle vise à compléter les ressources médicales existantes en intégrant l'intelligence artificielle pour l'analyse des signaux biologiques (ECG, PCG), l'interprétation des symptômes textuels, ainsi que la détection précoce des tumeurs cérébrales via l'IRM et des affections dermatologiques grâce à l'analyse d'images cutanées. En offrant un premier niveau d'orientation médicale rapide et accessible, **DoctorMind** contribue à réduire la charge pesant sur les structures médicales traditionnelles. De plus, la plateforme améliore l'accès aux soins, notamment dans les zones sous-équipées, grâce à son fonctionnement 100 % en ligne. L'ensemble de ces éléments renforce la pertinence d'une approche hybride, intelligente et inclusive, adaptée aux défis structurels du système de santé en Algérie.

### 1. Propositions de valeur :



1. القيمة المقترحة :

**DoctorMind** se distingue par une approche hybride alliant technologie avancée, accessibilité universelle et accompagnement personnalisé. Conçue pour répondre aux défis majeurs de la santé en Algérie, notamment l'inégalité d'accès aux soins, le manque de spécialistes et les délais d'attente prolongés. La plateforme propose une valeur ajoutée multiple, centrée sur les besoins spécifiques des usagers.

#### 1.1. Problèmes principaux que **DoctorMind** résout :

**Prédiagnostic rapide et intelligent** : Grâce à l'intégration de l'intelligence artificielle, **DoctorMind** permet une détection précoce et fiable pour l'analyse des signaux biologiques (ECG, PCG), l'interprétation des symptômes textuels, ainsi que la détection précoce des tumeurs cérébrales via l'IRM et des affections dermatologiques grâce à l'analyse d'images cutanées, offrant ainsi une autonomie nouvelle aux utilisateurs.

**Plateforme disponible 24/7** : L'utilisateur peut accéder aux services à tout moment, sans contrainte géographique ni temporelle, ce qui garantit une prise en charge immédiate et rassurante.

**Réduction de la charge des professionnels de santé** : En filtrant les cas urgents et non urgents, **DoctorMind** optimise l'organisation des consultations et libère du temps médical.

### **1.2. Problèmes secondaires adressés :**

**Aide à la décision clinique** : Même sans connexion continue, les outils intelligents offrent un appui précieux à l'utilisateur dans l'orientation de son état de santé.

**Réduction des coûts pour les structures** : Les institutions (cliniques, universités, ONG) peuvent adopter la plateforme comme outil de prévention collective, réduisant ainsi les charges liées à la prise en charge initiale.

**Impact social inclusif** : En ciblant les zones médicalement défavorisées, les familles, les jeunes et les patients chroniques. **DoctorMind** devient un levier d'équité sanitaire et d'inclusion numérique.

**Accompagnement pédagogique pour les étudiants en médecine** : **DoctorMind** offre aux étudiants en médecine une plateforme pratique et interactive pour s'exercer à l'analyse des signaux biologiques (ECG, PCG), l'interprétation des symptômes textuels, ainsi que la détection précoce des tumeurs cérébrales via l'IRM et des affections dermatologiques grâce à l'analyse d'images cutanées. Grâce aux modèles d'intelligence artificielle intégrés, ils peuvent comparer leurs interprétations à des résultats automatisés, renforçant ainsi leur apprentissage clinique par la pratique.

Enfin, **DoctorMind** intègre ou prévoit d'intégrer des services complémentaires à forte valeur ajoutée, tels que les téléconsultations sécurisées, les programmes de coaching santé sur mesure (stress, nutrition, sommeil), des contenus éducatifs interactifs, ainsi qu'un service Premium offrant des analyses avancées et des accès VIP.

Adaptée aux besoins individuels comme collectifs, la plateforme est également pensée pour les institutions (entreprises, établissements d'enseignement, mutuelles), en proposant des solutions personnalisées de suivi et de prévention.

En Algérie, les plateformes de santé numérique existantes, telles que SihhaTech et eTabib (طبيب), se concentrent essentiellement sur la prise de rendez-vous et les consultations médicales classiques. À l'inverse, **DoctorMind** se démarque par l'intégration avancée de l'intelligence artificielle. En complément, la plateforme adopte une approche éducative, à la fois pour les patients et les professionnels de santé, en offrant un accompagnement préventif, personnalisé et adapté aux réalités du contexte algérien.

<b>Critères</b>	<b>DoctorMind</b>	<b>SihhaTech</b>	<b>eTabib (اطيب)</b>
<b>Type de service</b>	Pré-diagnostic intelligent par IA +future téléconsultation + formation santé	Prise de RDV + infos praticiens	RDV + dossier médical
<b>Intégration IA</b>	Oui	Non	Non
<b>Ciblage utilisateur</b>	Grand public + zones éloignées + professionnels + institutions + étudiants	Grand public urbain	Grand public + praticiens
<b>Modules éducatifs/formations</b>	Oui -Prévention, éducation à la santé, formation pour les médecins et étudiants.	Non	Non
<b>Adaptation au contexte algérien</b>	Très forte – pathologies locales intégrées et des besoins spécifiques	Moyenne	Moyenne
<b>Accessibilité</b>	24/7 – Auto-évaluation gratuite et instantanée avec options mensuels	Sur rendez-vous uniquement, créneaux limités	Sur rendez-vous, selon disponibilité des médecins

**Tableau comparatif des solutions de santé numérique en Algérie**

## 2. Segments de clients :



Dans tout projet innovant, bien connaître ses segments de clientèle est essentiel pour assurer la pertinence, l'efficacité et la pérennité de la solution proposée. **DoctorMind**, en tant que plateforme intelligente dédiée au domaine de la santé, s'inscrit dans cette logique en visant une diversité d'utilisateurs potentiels.

Qu'il s'agisse de particuliers, de professionnels de santé ou d'institutions publiques, chaque catégorie représente un besoin spécifique auquel la plateforme entend répondre. Pour structurer cette approche, les segments de clientèle peuvent être regroupés en trois grandes catégories principales, en fonction de leur profil, de leurs attentes et de la manière dont ils interagiront avec la solution.

- **B2C (Business to Consumer) : DoctorMind** cible les utilisateurs individuels, soucieux de leur santé, qui recherchent une solution simple, accessible et intelligente pour surveiller leur état de santé, effectuer des auto-évaluations préliminaires, et anticiper d'éventuels problèmes médicaux.
- **B2B (Business to Business) :** La plateforme est également destinée aux professionnels de santé (médecins, cliniques privées, hôpitaux, laboratoires, compagnies d'assurance) qui souhaitent intégrer un outil d'aide au diagnostic fiable, rapide et modulable dans leur pratique quotidienne, afin de renforcer la qualité des soins et optimiser les processus médicaux.
- **B2G (Business to Government) :** Enfin, **DoctorMind** vise les acteurs institutionnels : ministères de la santé, établissements publics, centres de santé communautaires et organisations non gouvernementales (ONG). Ces structures représentent des partenaires stratégiques pour diffuser des outils innovants à grande échelle, notamment dans les zones à ressources limitées ou dans le cadre de campagnes de santé publique.

Dans cette étude, les segments de clientèle les plus pertinents seront abordés en priorité, en tenant compte de leur influence et de leurs besoins spécifiques. Pour chaque catégorie, nous analyserons les attentes, les défis rencontrés, ainsi que les opportunités d'intervention possibles. L'attention sera particulièrement portée sur les difficultés d'accès aux soins médicaux, les inégalités territoriales, ainsi que les barrières sociales et économiques qui empêchent de nombreuses personnes de consulter un professionnel de santé dans des délais raisonnables.

## **2.1 Segments de clients par ordre de priorité :**

### **Les particuliers (B2C) :**

**DoctorMind** vise principalement les utilisateurs individuels, en particulier lors de son lancement. Cela concerne des adultes, des jeunes ou même des personnes âgées, qui recherchent une méthode simple, rapide et sûre pour évaluer leurs symptômes à la maison. L'exigence principale de cette catégorie est d'être capable à faire l'interprétation des symptômes textuels, ainsi que la détection précoce des tumeurs cérébrales via l'IRM et des affections dermatologiques grâce à l'analyse d'images cutanées, sans nécessité de faire appel à un médecin sur-le-champ. **DoctorMind** répond à cette nécessité pressante en utilisant l'intelligence artificielle, offrant une analyse immédiate et une suggestion appropriée. En outre, cette population rencontre fréquemment des difficultés d'accès aux soins (zones reculées, pénurie de spécialistes, coûts prohibitifs), et parfois des obstacles sociaux (stigmatisation, isolement, crainte du jugement), ce qui souligne la pertinence de cette approche.

### **Accompagnement pédagogique pour les étudiants en médecine(B2C) :**

Ils utilisent **DoctorMind** pour s'entraîner l'analyse des signaux biologiques (ECG, PCG), l'interprétation des symptômes textuels, ainsi que la détection précoce des tumeurs cérébrales via l'IRM et des affections dermatologiques grâce à l'analyse d'images cutanées, se former via des contenus interactifs, ou accéder aux modules d'aide au diagnostic.

### **Les médecins généralistes et spécialistes (B2B) :**

Les praticiens de la santé, notamment les médecins en cabinet privé, ont besoin d'outils intelligents pour faciliter un diagnostic plus rapide et plus précis. **DoctorMind** peut agir comme un assistant médical numérique et donne des résultats fiables en quelques secondes. Cela leur permet d'économiser du temps et d'améliorer leur efficacité tout en pouvant potentiellement optimiser leur interaction avec les patients grâce à un service technologique de pointe. Cette catégorie est prioritaire après les particuliers, car elle a également la possibilité de suggérer l'application à ses patients.

### **Les cliniques privées de petite et moyenne taille (B2B) :**

Ces organisations sont à la recherche de solutions novatrices afin d'optimiser leur qualité de service, tout en contrôlant leurs dépenses. En incorporant **DoctorMind** à leurs consultations, elles sont en mesure d'offrir des évaluations rapides sans nécessiter d'équipement complexe ou de personnel expert en cardiologie. L'application leur procure donc un atout concurrentiel, particulièrement séduisant pour les cliniques localisées dans des régions semi-urbaines ou dépourvues d'équipements.

### **Les hôpitaux publics et privés (B2B) :**

Les hôpitaux ont la capacité d'étendre l'utilisation de **DoctorMind**, en particulier dans les départements d'urgence, les consultations générales ou les unités mobiles. Cependant, les procédures de prise de décision dans ces établissements sont prolongées et fréquemment empreintes de bureaucratie. C'est la raison pour laquelle ils sont perçus comme un objectif stratégique à moyen terme, plutôt qu'une priorité de court terme.

**Les compagnies d'assurance santé (B2B) :**

Les compagnies d'assurance sont naturellement attirées par des solutions qui contribuent à diminuer les dépenses liées aux maladies chroniques ou aux hospitalisations évitables. **DoctorMind** peut intervenir dans la prévention et le suivi à distance, néanmoins, travailler avec ces sociétés requiert une intégration technologique poussée, des assurances juridiques et des discussions commerciales prolongées. C'est alors une cible secondaire.

**Les grandes entreprises privées (B2B) :**

Quelques entreprises instaurent des programmes de bien-être pour leurs collaborateurs. Incorporer **DoctorMind** dans ces démarches offrirait un suivi de santé plus individualisé et préventif. Cependant, ce public nécessite un effort commercial plus intense, car il n'est pas directement associé au domaine médical et requiert une éducation sur la valeur ajoutée du produit.

**Les ONG et Organisations humanitaires (B2B / B2G) :**

Des ONG ou organisations de bienfaisance œuvrant avec des groupes vulnérables (comme les habitants de zones rurales, les réfugiés ou les victimes de désastres) pourraient mettre en pratique **DoctorMind** dans leurs initiatives sur le terrain. Cette application, à la fois légère et facile d'accès, serait parfaitement adaptée à ce genre d'utilisation. Toutefois, ces structures reposent largement sur des financements limités ou fluctuants, ce qui limite leur viabilité économique, bien que leur influence humaine soit significative.

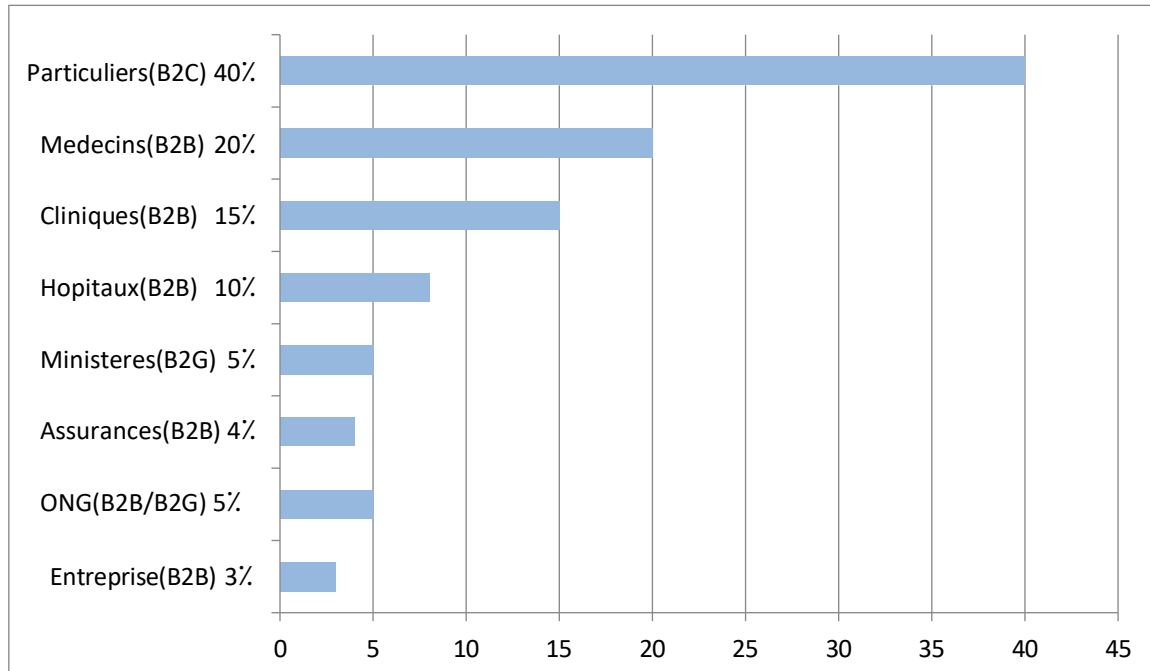
**Les ministères de la Santé et organismes publics (B2G) :**

Les ministères de la Santé, en particulier les institutions publiques, constituent un vecteur crucial de diffusion. En raison d'un partenariat singulier, **DoctorMind** pourrait être mis en œuvre dans les programmes de santé publique, les centres de soins primaires ou dans des zones rurales. Cependant, les procédures administratives peuvent être longues et compliquées, ce qui positionne cette cible comme une stratégie à long terme, bien qu'elle présente un potentiel d'impact à l'échelle nationale.

**2.2 Participation estimée des segments de clients –DoctorMind :**

Ce dossier fournit une évaluation de la contribution de chaque catégorie de client à l'usage de l'application **DoctorMind**. La majorité des utilisateurs de départ sont des particuliers (B2C), suivis par les professionnels de la santé et les établissements médicaux.

Les institutions publiques et autres entités B2B/B2G représentent un potentiel à plus long terme



Afin d'adapter l'offre de **DoctorMind** aux besoins spécifiques de chaque acteur du système de santé, une segmentation des scènes clientèles a été établie. Chaque scène représente un segment stratégique dont les attentes, contraintes et leviers d'engagement sont analysés de manière différenciée.

Scène	Type de client	Justification stratégique
Scène 1	Particuliers (B2C)	Besoin d'autonomie, de solutions rapides et accessibles à tout moment.
Scène 2	Étudiants en médecine (B2C)	Accès à un support d'apprentissage intelligent et à des outils de diagnostic assisté.
Scène 3	Médecins et Cliniques (B2B)	Recherche d'outils professionnels, renforcement

		de la relation patient et gain de temps.
Scène 4	Hôpitaux et Organisation (B2B/B2G)	Nécessité d'adaptabilité, d'échelle et de personnalisation des services proposés.
Scène 5	Agences gouvernementales (B2G)	Fort pouvoir décisionnel, mais cycles de validation longs et protocoles stricts.
Scène 6	Assurances et entreprises (B2B)	Forte valeur ajoutée potentielle, mais besoin d'intégration fluide dans les systèmes existants.

### 3. Relations clients :



### 3. العلاقات مع العملاء:

À **DoctorMind**, nous n'offrons pas seulement une application de santé. Nous établissons un lien humain, pérenne et sur mesure avec chaque utilisateur. Un lien qui s'établit dès la première exploration de l'application et qui la guide tout au long de son chemin vers une santé améliorée. Pour y parvenir, il nous faut d'abord identifier qui sont nos clients et leur proposer une expérience qui leur correspond.

#### 3.1 Une compréhension claire des segments de clientèle :

Nous avons étudié les exigences du marché algérien et identifié trois segments clés : Les malades chroniques (diabète, hypertension, problèmes cardiovasculaires) qui nécessitent une surveillance quotidienne et un soutien sur le long terme. Les jeunes adultes, fréquemment confrontés au stress, à l'anxiété ou à des symptômes indéfinis, et qui cherchent des remèdes instantanés et pratiques via leur mobile. Les familles à la recherche d'une solution simplifiée pour surveiller la santé de chaque membre : enfants, parents, personnes du troisième âge. Cette segmentation nous donne la possibilité de les aborder dans leur propre jargon, en proposant des solutions sur mesure pour leurs exigences particulières.

### **3.2 Attirer l'attention de chaque segment :**

Afin d'attirer chaque catégorie de client, nous avons opté pour des canaux spécifiques à chaque profil :

Nous sommes présents dans les hôpitaux, cliniques et pharmacies pour les malades chroniques, nous distribuons des brochures, créons des affiches explicatives et travaillons en partenariat avec les médecins pour qu'ils orientent leurs patients vers **DoctorMind**. Quant aux jeunes adultes, ils sont très actifs sur les réseaux sociaux. Nous exploitons les plateformes Facebook, Instagram et TikTok afin de leur fournir des contenus interactifs, des vidéos brèves et captivantes, ainsi que des quiz et challenges axés sur la santé. Cela éveille leur curiosité et les incite à essayer l'application.

Concernant les familles, nous organisons des journées de sensibilisation dans les établissements scolaires et les mairies, ainsi que des webinaires gratuits. Nous expliquons comment l'application peut devenir un assistant médical familial, à la fois simple d'utilisation et sécurisé.

### **3.3 Inciter le client à passer à l'action :**

Voici notre méthode pour inciter chaque utilisateur à essayer **DoctorMind** :

- Le patient chronique a droit à un abonnement d'essai gratuit, comprenant des fonctionnalités sophistiquées telles que les alertes de médication, les visualisations graphiques et l'accès aux dossiers médicaux. Lorsqu'il constate les répercussions sur son bien-être, il demeure loyal.
- Le jeune a la possibilité d'essayer l'application sans inscription laborieuse, gratuitement pour une période définie. Cela lui offre la possibilité d'explorer et de reconnaître par ses propres moyens la valeur du service.
- La famille bénéficie de forfaits groupés, plus elle intègre de membres, plus le prix devient intéressant. Une option économique et commode pour l'ensemble du domicile.

### **3.4 Offrir une expérience personnalisée et des services attractifs pour chaque profil :**

#### **Pour les patients atteints de maladies chroniques :**

Comme le diabète, l'hypertension ou les pathologies cardiaques, un accompagnement régulier, structuré et rassurant est essentiel. **DoctorMind** leur propose un suivi automatique des constantes vitales grâce à l'intégration avec des appareils connectés, un historique médical intelligent permettant de suivre l'évolution de leur état de santé avec des alertes personnalisées, ainsi que des rappels de traitement configurables pour éviter les oublis. Ils bénéficient également de téléconsultations avec des médecins spécialisés partenaires, et d'un carnet de santé numérique pouvant être partagé avec leur médecin traitant ou un membre de leur famille.

L'objectif est de réduire les hospitalisations, améliorer l'adhésion au traitement et offrir une tranquillité d'esprit quotidienne.

**Pour les jeunes adultes et les étudiants :**

Dans ses évolutions futures, **DoctorMind** ambitionne de proposer des outils d'auto-évaluation physique et mentale, un espace bien-être (respiration, nutrition, stress), ainsi que des services de coaching santé et de soutien psychologique à distance. L'objectif est d'offrir une expérience jeune, accessible et motivante, favorisant une prise en charge précoce et autonome de la santé.

**Soutien aux familles :**

**DoctorMind** prévoit d'intégrer un tableau de bord familial pour centraliser les données médicales de tous les membres du foyer (enfants, parents, grands-parents). Il facilitera le suivi des vaccins, traitements et bilans, et permettra de partager ces informations avec les médecins ou les proches.

Un espace éducatif offrira des conseils et vidéos pratiques pour accompagner les aidants au quotidien dans la gestion de la santé à domicile.

**Services Premium et exclusifs pour une expérience enrichie :**

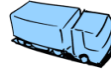
**DoctorMind** propose une offre Premium spécialement conçue pour les utilisateurs les plus exigeants. Elle comprend l'analyse automatisée des signaux ECG et PCG grâce à l'intelligence artificielle, l'évaluation personnalisée du risque cardiovasculaire, ainsi que la détection précoce des tumeurs cérébrales à partir d'IRM. À moyen terme, des programmes de coaching santé ciblés (perte de poids, arrêt du tabac, remise en forme) viendront enrichir cette offre. Des formules d'abonnement familial à tarif réduit seront également disponibles, avec des options VIP donnant accès à des consultations illimitées et à des webinaires ou ateliers santé en priorité.

**3.5 Un service après-vente humain et réactif**

Chez **DoctorMind**, l'accompagnement ne s'arrête pas au téléchargement de l'application. Chaque utilisateur bénéficie d'un suivi personnalisé avec des notifications et recommandations adaptées à son état de santé, d'une assistance réactive via WhatsApp, email ou directement depuis l'application, et de suggestions d'examens ou de contrôles selon l'évolution de son profil. Au-delà de l'utilisation, nous cherchons à créer une véritable communauté autour de la santé connectée. Les patients chroniques peuvent participer à des ateliers ou groupes de discussion en ligne, les jeunes sont encouragés à inviter leurs amis via un système de parrainage récompensé, et les familles peuvent obtenir des avantages exclusifs lorsqu'elles partagent l'application.

L'objectif est de transformer chaque utilisateur en un véritable ambassadeur d'une santé plus accessible, intelligente et centrée sur l'humain.

#### 4. Les canaux de distribution :



4. القنوات:

Pour assurer le déploiement réussi d'une solution de santé numérique telle que **DoctorMind** en Algérie, il est crucial de mettre en œuvre une stratégie de communication multicanale qui associe des approches numériques (online) et physiques (offline). L'objectif est de parvenir à atteindre efficacement les patients, les professionnels du secteur médical, les jeunes ainsi que les personnes âgées.

##### 4.1 Canaux numériques (en ligne) :

###### **Réseaux sociaux (Facebook, Instagram, TikTok) :**

En Algérie, on compte plus de 25,6 millions d'utilisateurs actifs sur les plateformes de médias sociaux, ce qui représente une opportunité stratégique majeure pour promouvoir des solutions de santé numérique telles que **DoctorMind**. Ces canaux offrent un espace idéal pour diffuser du contenu pédagogique, des témoignages de patients, ainsi que des campagnes promotionnelles ciblées. Le public visé comprend essentiellement les jeunes, les adultes connectés et les professionnels de la santé. Pour maximiser l'impact, l'utilisation des réseaux sociaux peut inclure des publicités ciblées basées sur des critères précis comme l'âge, la localisation ou les centres d'intérêt, ainsi que l'organisation de sessions médicales en direct, la diffusion de recommandations quotidiennes de santé, et la création de contenus interactifs tels que des quiz, des vidéos explicatives ou des formats engageants de type « avant/après ».

###### **Notifications push et SMS :**

En Algérie, avec 54,8 millions de contrats mobiles actifs, le SMS reste un canal de communication largement accessible et particulièrement efficace, notamment pour le domaine de la santé. Il peut être utilisé pour envoyer des rappels de rendez-vous, des notifications médicales personnalisées ou encore des messages d'alerte santé. L'envoi de notifications automatiques directement depuis l'application, de conseils hebdomadaires de santé, ainsi que la mise en place de campagnes de prévention ou de suivi médical par SMS constituent des approches simples, ciblées et pertinentes pour toucher un large public, y compris dans les zones à faible connectivité internet.

###### **Email marketing :**

Un moyen efficace de retenir les patients, en particulier ceux atteints de maladies chroniques et les professionnels, L'usage d'une base de données médicale segmentée permet l'envoi de lettres d'information, de bilans de santé et d'offres spéciales.

### **Applications de messagerie instantanée (WhatsApp, Telegram) :**

Plus de 20 millions d'utilisateurs Algérien utilisent régulièrement ces applications. C'est un moyen idéal pour le service client, les réponses promptes et les équipes de suivi.

### **4.2 Canaux physiques (hors ligne) :**

#### **Affichage dans les hôpitaux et cliniques :**

Disposer des posters, brochures et dépliants dans les salles d'attente et les espaces de réception. Augmente la crédibilité du projet en l'intégrant dans un contexte médical reconnu. Parfait pour viser les patients âgés ou qui ne sont pas en ligne.

#### **Partenariats avec les médecins :**

En collaborant avec des spécialistes de la santé, les conseils médicaux pour **DoctorMind** gagnent en légitimité. Facilite l'intégration de l'application dans les routines de suivi médical.

#### **Ateliers et séminaires dans les hôpitaux :**

Il est recommandé de mettre en place des ateliers ou des formations sur l'e-santé, destinés à sensibiliser et former à l'usage des technologies médicales, notamment l'application **DoctorMind**. Ces sessions peuvent impliquer les médecins, les infirmiers ainsi que les patients, afin de favoriser une adoption collective et efficace. Les ateliers peuvent inclure des démonstrations pratiques de l'application, accompagnées de la distribution de dépliants explicatifs, facilitant ainsi la compréhension des fonctionnalités et des bénéfices de la plateforme.

#### **Participation à des salons et conférences médicales :**

Présenter **DoctorMind** lors de conférences santé/tech permettrait de gagner en visibilité, de nouer des partenariats stratégiques et de susciter l'intérêt d'investisseurs et d'institutions.

#### **Pharmacies :**

Travail en partenariat avec des pharmacies pour présenter des affiches promotionnelles ou brochures, et il est envisageable d'inclure un QR code sur les reçus pour l'installation de l'application.

### **4.3 Idées innovantes et différenciatrices :**

- Écrans interactifs installés dans les salles d'attente
- Des écrans montrant des vidéos pédagogiques sur la santé mentale et les fonctionnalités de **DoctorMind**.
- Incorporation de QR Code sur les emballages de médicaments.
- Une promotion exclusive pour le téléchargement de l'application ou pour bénéficier d'un suivi gratuit.
- Déploiement du podcast médical **DoctorMind Santé**

## BMC

- Des épisodes brefs (5-10 minutes) axés sur la prévention, la santé mentale et les maladies chroniques.
- Accords avec les entreprises d'assurance santé.
- Pour incorporer **DoctorMind** en tant que plateforme de suivi médical numérique destinée aux assurés.
- Programme Ambassadeur **DoctorMind** dans les établissements universitaires.
- Former les étudiants à faire la promotion de l'application sur leur campus (clubs, événements, réseaux internes).
- Ces actions apportent une valeur supplémentaire, améliorent la visibilité et consolident la crédibilité du projet.

Segment de clients	Canaux recommandés
Jeunes (18– 30 ans)	TikTok, Instagram, ambassadeurs étudiants, WhatsApp
Adultes actifs (30–50 ans)	Facebook, e-mail, podcast santé, cliniques
Patients chroniques/seniors	SMS, notifications, écrans en hôpital, recommandation médicale
Professionnels de santé	LinkedIn, conférences médicales, partenariats institutionnels, newsletter professionnelle

## Cibles et meilleurs canaux

### 5. Partenariats clés :



5. الشركات الرئيسية:

### 5.1. Partenariats nationaux stratégiques :

**DoctorMind** s'appuie sur un réseau stratégique de partenariats clés pour garantir la qualité, la viabilité et l'impact social de sa plateforme. Ces alliances incluent :

- Institutions médicales (hôpitaux, laboratoires, pharmacies, cliniques privées)
- Les écoles médicales / les universités.
- Les compagnies d'assurance santé
- Les entreprises technologiques.
- Les ONG actives dans la santé comme Croissant-Rouge Algérien.

Ces collaborations nationales jouent un rôle clé dans la consolidation de **DoctorMind**, en lui assurant un soutien multisectoriel. Elles facilitent également :

- l'accès à des bases cliniques pertinentes.
- la validation scientifique et éthique des modèles d'intelligence artificielle.
- l'organisation de campagnes de prévention et de sensibilisation.
- l'élargissement des services proposés (livraison de médicaments, téléconsultation, formation).

En garantissant une adaptation rigoureuse aux normes locales médicales, technologiques et réglementaires, ces partenariats renforcent la mission sociale de **DoctorMind** et propose une santé intelligente, équitable et accessible à tous.

## 5.2. Collaborations internationales :

**DoctorMind** ambitionne également de nouer des partenariats internationaux avec des institutions de recherche, des incubateurs de santé numérique, des réseaux de téléconsultation à l'échelle africaine ou méditerranéenne, ainsi que des ONG mondiales actives dans le domaine médical (comme Médecins Sans Frontières ou la Croix-Rouge Internationale). Ces partenariats visent à :

- Renforcer la robustesse et la capacité de généralisation des modèles d'intelligence artificielle grâce à l'exploitation de bases de données issues de plusieurs centres cliniques.
- Accélérer le transfert de technologie et le partage de bonnes pratiques.
- Bénéficier de labels ou certifications internationales favorisant l'exportabilité de la solution.

Cette ouverture à l'international soutient la vision de **DoctorMind** d'émerger comme une référence régionale en e-santé et de contribuer à l'innovation médicale au-delà des frontières.

## 6. Activités clés :



## 6. الأنشطة الرئيسية:

Les activités clés de **DoctorMind** reposent sur un ensemble d'actions stratégiques et opérationnelles essentielles à la création de valeur et à la pérennité de la plateforme :

**Recherche et développement en intelligence artificielle médicale** : conception, entraînement et validation des modèles d'intelligence artificielle.

**Amélioration continue des algorithmes** : affinement des performances, réduction des biais, adaptation aux nouvelles pathologies ou variantes.

**Mise à jour régulière des bases de données médicales et réglementaires** : intégration de nouveaux cas cliniques, respect des normes de santé en vigueur.

**Maintenance technique de la plateforme** : corrections de bugs, optimisation des performances, sécurité des données utilisateurs.

**Développement de nouvelles fonctionnalités** : ajout progressif de modules complémentaires selon les besoins des utilisateurs et l'évolution du domaine médical.

**Marketing digital et sensibilisation** : campagnes de communication, stratégie de contenu, partenariats avec des influenceurs santé et professionnels.

**Collaboration avec les partenaires médicaux** : échanges continus avec des professionnels de la santé pour valider cliniquement les résultats et adapter l'outil aux pratiques de terrain.

Pôle d'activité	Objectifs opérationnels	Impact attendu
<b>R&amp;D en IA médicale</b>	Développer plusieurs modèles d'IA	Diagnostic intelligent, fiabilité accrue, différenciation technologique.
<b>Optimisation des modèles IA</b>	Améliorer continuellement les performances, réduire les biais, intégrer les nouvelles données collectées.	Meilleure précision, adaptation continue à la diversité des cas.
<b>Actualisation des données cliniques</b>	Mettre à jour les bases médicales avec des cas récents, normes et recommandations.	Conformité médicale, pertinence des résultats, sécurité des utilisateurs.
<b>Maintenance technique</b>	Assurer la stabilité technique, corriger les bugs et renforcer le cyber sécurité de la plateforme.	Expérience utilisateur fluide, fiabilité et protection des données.
<b>Développement de nouvelles fonctionnalités</b>	Créer de nouveaux modules ou outils selon les besoins détectés chez les utilisateurs.	Enrichissement continu de l'application, fidélisation des usagers.
<b>Marketing &amp; sensibilisation</b>	Élaborer des campagnes éducatives, digitales et	Augmentation de la visibilité, acquisition

	institutionnelles pour faire connaître la plateforme.	d'utilisateurs et notoriété sociale.
<b>Partenariats médicaux</b>	Collaborer avec des experts, universités et cliniciens pour la validation scientifique des modules.	Crédibilité, reconnaissance professionnelle et adoption institutionnelle.

### 7. Ressources clés :



### 7. الموارد الرئيسية:

Pour garantir la performance, la fiabilité et la pérennité de la plateforme **DoctorMind**, plusieurs ressources stratégiques sont mobilisées :

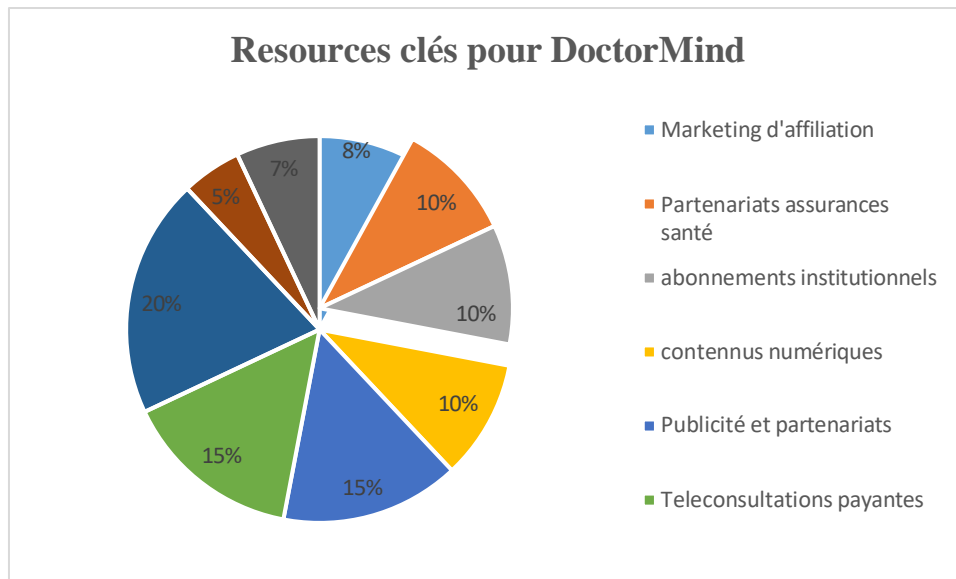
**Ressources humaines** : une équipe pluridisciplinaire composée de développeurs full-stack, de spécialistes en intelligence artificielle, et de professionnels du domaine médical pour l'évaluation fonctionnelle des modèles.

**Ressources technologiques** : des modèles d'intelligence artificielle entraînés pour l'analyse automatisée des signaux et des symptômes, un hébergement Cloud sécurisé garantissant l'accessibilité et la confidentialité des données, ainsi qu'une infrastructure logicielle robuste permettant l'intégration continue des modules.

**Ressources informationnelles** : des bases de données médicales fiables, utilisées pour entraîner, tester et valider les algorithmes.

**Ressources partenariales** : un réseau de partenaires issus du secteur médical (cliniques, professionnels de santé, pharmaciens) pour appuyer la validation clinique, faciliter le déploiement sur le terrain et renforcer la crédibilité du produit.

Ces ressources constituent les fondations essentielles de **DoctorMind** et permettent d'assurer le bon fonctionnement de la plateforme, son évolution continue, ainsi que sa conformité aux exigences du domaine médical.



### 8. Structure des coûts :



### 8. هيكل التكاليف

La réalisation et le déploiement de la plateforme **DoctorMind** ont généré plusieurs catégories de coûts.

#### Les principaux postes de dépenses actuels sont :

- Ressources humaines : Participation de 9 membres de l'équipe, ayant travaillé à titre bénévole, sans rémunération.
- Investissement matériel : Utilisation de 9 ordinateurs personnels (PC) tout au long du développement, de la phase de test et de la mise en production de la plateforme.
- Frais liés à l'énergie : Consommation électrique nécessaire au fonctionnement continu des équipements informatiques pendant les différentes étapes du projet.
- Abonnements à des outils numériques : Souscription à des plateformes en ligne telles que Figma, Canva, ChatGPT, utilisées pour la création des éléments graphiques, des interfaces utilisateur et des supports de présentation du projet.
- Coûts liés à la connectivité internet : Paiement des factures d'abonnement internet, indispensable pour le téléchargement des bibliothèques logicielles, l'accès aux bases de données, la recherche documentaire et l'utilisation d'outils Cloud.
- Petites dépenses opérationnelles diverses : Incluant l'impression de documents, l'achat de petits matériels de bureau ou toute autre dépense ponctuelle liée à la gestion du projet.

**À moyen terme, avec l'évolution des services proposés, les coûts sont appelés à croître, notamment pour :**

## BMC

- La rémunération des médecins partenaires et de professionnels de santé partenaires pour les téléconsultations, la supervision médicale, et la validation des contenus cliniques, et les bases de données.
- Le renforcement du support utilisateur (via WhatsApp, chat ou e-mail).
- L'hébergement sécurisé des données de santé.
- Le développement continu des modules de formation et contenus premium.
- La recherche et le développement d'algorithmes IA personnalisés.

Cette structure de coûts flexible est conçue pour évoluer au rythme du projet, en parallèle des revenus générés par les services payants. Elle permet d'assurer la viabilité de la plateforme tout en restant fidèle à sa mission première : offrir une santé intelligente et accessible pour tous.

Poste budgétaire	Description opérationnelle	Coût estimé par mois
<b>Développement technique (1)</b>	Salaire moyen d'un développeur full-stack en Algérie	≈ 82 500 DZD
<b>Infrastructure d'hébergement</b>	Coûts liés aux serveurs sécurisés, bases de données médicales, et services Cloud (AWS, Firebase).	≈ 1 350 DZD
<b>Rémunération des médecins</b>	Paiement des médecins partenaires pour les téléconsultations, la supervision médicale, la validation des contenus cliniques.	≈ 400,000 DZD
<b>Licences logicielles &amp; IA</b>	Coût mensuel pour accès IA	15 000 DZD
<b>Expérience utilisateur (UI/UX)</b>	Frais de designer freelance occasionnel	30 000 DZD
<b>Marketing digital &amp; communication</b>	Campagnes sociales, Google Ads, etc.	25 000 DZD
<b>Rémunération de l'équipe projet</b>	Salaires potentiels pour cofondateurs	100 000 DZD
<b>Frais juridiques et administratifs</b>	Conformité RGPD, enregistrement légal	20 000 DZD

<b>Événements &amp; concours</b>	Participation à des salons médicaux, concours d'innovation, conférences de santé (frais d'inscription, déplacement, logistique).	10 000 DZD
<b>Équipement et matériel</b>	Achat de matériel informatique, smartphones, dispositifs de test ou d'intégration.	50 000 DZD
<b>Outils collaboratifs &amp; internet</b>	Coûts d'abonnement à des outils collaboratifs (Notion, Zoom), hébergement Cloud, et connexion Internet.	945 0 DZD

### 9. Sources de revenus :



### 9. مصادر الإيرادات:

Le modèle économique de **DoctorMind** repose sur un équilibre entre impact social et durabilité financière. Convaincus que l'accès aux soins et au soutien psychologique doit être universel, nous proposons une version gratuite et complète de l'application, offrant des services essentiels accessibles à tous, sans frais. À l'avenir, certaines fonctionnalités avancées pourront être intégrées sous forme d'options payantes, afin de renforcer l'accompagnement personnalisé tout en soutenant le développement continu de la plateforme. Ces axes de monétisation sont conçus pour préserver l'accessibilité du service tout en assurant sa viabilité à long terme.

#### **Abonnements Premium – Une option facultative pour l'utilisateur :**

Bien que **DoctorMind** propose gratuitement des services essentiels, une formule Premium a été conçue pour les utilisateurs souhaitant un suivi plus approfondi. Accessible par abonnement mensuel ou annuel, cette version offre :

- Des analyses de santé avancées basées sur l'IA, avec alertes et recommandations personnalisées.
- Des programmes de bien-être évolutifs (nutrition, psychologie, coaching).
- Un accès prioritaire à des experts (psychologues, médecins, coaches).

- Un espace personnel sécurisé pour centraliser les documents médicaux.

Cette offre Premium garantit un financement durable pour **DoctorMind**, tout en maintenant l'accès gratuit aux services de base pour tous.

#### **Services de téléconsultation payants :**

**DoctorMind** prévoit d'intégrer un service de téléconsultation médicale payant, permettant aux utilisateurs de consulter à distance des professionnels de santé (généralistes, spécialistes, nutritionnistes, coaches bien-être). Ce service, confidentiel et personnalisé, sera proposé sous forme de séances ou de forfaits, avec des tarifs accessibles selon la spécialité ou l'urgence.

Des partenariats avec des ONG ou institutions publiques permettront d'offrir des créneaux gratuits ou subventionnés aux populations vulnérables. Cette initiative vise à réduire les inégalités d'accès aux soins tout en générant des revenus durables pour soutenir l'évolution de la plateforme.

#### **Publicité ciblée et partenariats sponsorisés :**

**DoctorMind** prévoit, dans le futur, d'adopter un modèle de publicité ciblée et de partenariats sponsorisés. Cette stratégie respectueuse proposera des contenus promotionnels liés aux intérêts santé de l'utilisateur, comme la nutrition ou le bien-être.

Ce modèle soutiendra la gratuité des services essentiels tout en offrant un canal pertinent aux partenaires (cliniques, assureurs, marques santé). Chaque publicité sera clairement identifiée, et les préférences des utilisateurs resteront entièrement contrôlables.

Ainsi, **DoctorMind** transformera la publicité en un levier responsable au service de sa mission sociale.

#### **Vente de programmes spécialisés et de contenus numériques :**

**DoctorMind** prévoit de proposer des contenus numériques payants (guides, vidéos, programmes santé) conçus par des experts. Ces ressources, accessibles à la demande, offriront un accompagnement plus personnalisé sans affecter l'accès gratuit à la plateforme. Ce modèle permet de générer des revenus tout en renforçant l'impact éducatif et la crédibilité de **DoctorMind** dans le domaine de la santé et du bien-être.

#### **Abonnements institutionnels :**

À l'avenir, des formules d'abonnement pourraient être proposées à des établissements (universités, hôpitaux, entreprises, ONG), permettant à leurs membres de bénéficier des services de **DoctorMind**. Cela renforcerait l'impact collectif en matière de prévention et générerait des revenus stables via des contrats adaptés.

#### **Partenariats avec les assurances santé :**

Des accords avec les compagnies d'assurance pourraient permettre l'inclusion de **DoctorMind** dans des offres de couverture santé, avec des remboursements partiels ou complets des services Premium. Cela faciliterait l'accès à l'application tout en encourageant la prévention.

#### **Marketing d'affiliation :**

La plateforme pourrait recommander, de façon ciblée, des produits ou services externes (applications, livres, compléments alimentaires...) en échange d'une commission sur chaque vente. Cette approche resterait éthique, pertinente et non intrusive pour l'utilisateur.

#### **Valorisation des données antonymies :**

En respectant strictement les normes de confidentialité, des données rendues anonymes pourraient être utilisées à des fins de recherche par des universités ou institutions médicales. Ce processus favoriserait l'innovation tout en créant une source de revenus et de reconnaissance scientifique.

#### **Plateforme de formation médicale :**

**DoctorMind** pourrait également proposer des modules payants de formation continue à destination des professionnels de santé (médecins, psychologues, étudiants...). Ces contenus certifiés renforceraient les compétences dans le domaine de la santé numérique et offriraient une nouvelle opportunité de monétisation.

<b>Source de revenu</b>	<b>Description stratégique</b>
<b>Abonnements Premium</b>	Accès étendu à des services avancés, via des formules mensuelles ou annuelles.
<b>Rapports médicaux personnalisés</b>	Génération sur demande de rapports détaillés (PDF) basés sur les analyses de santé de l'utilisateur.
<b>Analyses IA à la demande</b>	Paiement par utilisation pour les modules intelligents de pré-diagnostic avancé.
<b>Accès à des fonctionnalités exclusives (Premium)</b>	Inclut le stockage Cloud, l'alerte santé intelligente, et un accès prioritaire à de nouvelles fonctionnalités.
<b>Téléconsultations payantes</b>	Consultations médicales à distance avec des spécialistes, facturées à la séance ou à la durée.

<b>Formations médicales et contenu pédagogique</b>	Modules e-learning, guides pratiques et vidéos spécialisées vendus aux professionnels, étudiants ou grand public.
<b>Partenariats cliniques et hospitaliers</b>	Contrats avec structures médicales pour référencer leurs services sur <b>DoctorMind</b> contre commission sur les consultations générées.
<b>Publicités ciblées et sponsoring santé</b>	Publicité non intrusive en lien avec le bien-être, la nutrition ou les soins médicaux, proposée à des marques fiables.
<b>Produits numériques à télécharger</b>	Ventes de fichiers (PDF, plans santé, programmes bien-être), avec une approche à la carte.