

UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA

Faculté des sciences

Département d'informatique



MEMOIRE DE MASTER

En Informatique

Option : Ingénierie du Logiciel / Traitement automatique des
langages

THÈME :

**Conception et Réalisation d'un
Système de Surveillance Médicale
Intelligent pour les Patients
Diabétiques basé sur l'IoT et l'IA**

Réalisé par
Amir Roufeida
Aougbi Yousra

Encadré par
Dr Lahiani Nesrine

Juillet 2024

Remerciements

*Nous remercions le DIEU de nous avoir donné la patience, la santé et le courage pour réaliser ce travail. À travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre encadreur **Dr.Nesrine Lahiani** pour ses conseils et ses encouragements qui nous ont permis de le mener à bien.*

Nous remercions sincèrement les membres du jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail. Nous exprimons également notre gratitude à tous les professeurs et les enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'études jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Enfin, nous exprimons également notre profonde gratitude envers nos parents, dont le soutien inconditionnel et les sacrifices ont été notre source de force et d'inspiration tout au long de ce parcours. Leur amour et leur encouragement ont été essentiels à notre réussite. Merci du fond du cœur pour tout.

Résumé

Le diabète est une maladie chronique qui affecte des millions de personnes à travers le monde, nécessitant des solutions innovantes pour améliorer la qualité de vie des patients. La gestion de cette maladie reste un défi majeur en raison de la nécessité d'un suivi continu et précis des niveaux de glucose, ainsi que du diagnostic des complications potentielles.

Des recherches antérieures ont montré que l'utilisation de dispositifs de l'Internet des Objets Médicaux (IoMT) peut améliorer la collecte de données médicales en temps réel. De plus, l'Intelligence Artificielle (IA) et l'apprentissage automatique ont été utilisés pour développer des modèles de diagnostic afin d'anticiper les variations du diabète. Cependant, ces approches nécessitent une intégration plus poussée pour offrir des solutions complètes et conviviales.

Notre projet vise à répondre à ce besoin crucial en développant un système de surveillance médicale intelligent pour les diabétiques, basé sur l'IoMT et l'IA. Notre plateforme permet une surveillance continue et précise des patients en collectant et transmettant des données médicales en temps réel. Nous avons créé des modèles de diagnostic avancés pour anticiper le diabète et ses variations, et mis en place un système efficace pour stocker les données massives issues des capteurs IoMT dans une base NoSQL.

Les résultats préliminaires montrent que notre système offre une surveillance plus efficace et précise des patients diabétiques. L'évaluation approfondie du système a permis d'analyser son impact en termes d'exactitude, de fiabilité et de convivialité, contribuant ainsi à améliorer les résultats de la gestion du diabète. Cette plateforme devrait grandement bénéficier aux patients diabétiques en fournissant des recommandations personnalisées et en réduisant les risques de complications.

Mots clés :

Internet des Objets (IoT), Intelligence artificielle (IA), Apprentissage automatique, Base de données NoSQL, Diabète, recommandations personnalisées, Surveillance continue.

Abstract

Diabetes is a chronic disease that affects millions of people worldwide, requiring innovative solutions to enhance patients' quality of life. Managing this condition remains a major challenge due to the necessity of continuous and precise glucose level monitoring, as well as diagnosing potential complications.

Previous research has demonstrated that the use of Internet of Things (IoT) devices can enhance the real-time collection of medical data. Additionally, Artificial Intelligence (AI) and machine learning have been employed to develop diagnostic models to anticipate diabetes variations. However, these approaches need further integration to provide comprehensive and user-friendly solutions.

Our project aims to address this critical need by developing an intelligent medical monitoring system for diabetics, leveraging IoT and AI. Our platform facilitates continuous and accurate patient monitoring by collecting and transmitting medical data in real time. We have developed advanced diagnostic models to predict diabetes variations and implemented an efficient system to store vast amounts of data from IoT sensors in a NoSQL database.

Preliminary results indicate that our system delivers more efficient and accurate monitoring of diabetic patients. A thorough evaluation of the system has analyzed its impact in terms of accuracy, reliability, and usability, thereby contributing to improved diabetes management outcomes. This platform is anticipated to greatly benefit diabetic patients by offering personalized recommendations and reducing the risk of complications.

Keywords :

Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Machine learning, NoSQL database, Diabetes, personalized recommendations, Continuous monitoring.

ملخص :

مرض السكري هو مرض مزمن يصيب ملايين الأشخاص حول العالم، ويتطلب حلاً مبتكرة لتحسين نوعية حياة المرضى. تظل إدارة هذا المرض تحديًا كبيرًا بسبب الحاجة إلى المراقبة المستمرة والدقيقة لمستويات الجلوكوز، فضلاً عن تشخيص المضاعفات المحتملة.

أظهرت الأبحاث السابقة أن استخدام أجهزة إنترنت الأشياء يمكن أن يحسن عملية جمع البيانات الطبية في الوقت الفعلي. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتطوير نماذج تشخيصية لتوقع التغيرات في مرض السكري. ومع ذلك، تتطلب هذه الأساليب مزيدًا من التكامل لتقديم حلول شاملة وسهلة الاستخدام.

يهدف مشروعنا إلى تلبية هذه الحاجة الماسة من خلال تطوير نظام مراقبة طبي ذكي لمرضى السكري يعتمد على إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي. تتيح منصتنا المراقبة المستمرة والدقيقة للمريض من خلال جمع البيانات الطبية ونقلها في الوقت الفعلي. لقد أنشأنا نماذج تشخيصية متقدمة لتوقع مرض السكري ومتغيراته، وقمنا بتنفيذ نظام فعال لتخزين البيانات الضخمة من أجهزة استشعار إنترنت الأشياء في قاعدة بيانات .

تظهر النتائج الأولية أن نظامنا يوفر مراقبة أكثر كفاءة ودقة لمرضى السكري. وقد قام التقييم المتعمق للنظام بتحليل تأثيره من حيث الدقة والموثوقية وسهولة الاستخدام، مما يساعد على تحسين نتائج إدارة مرض السكري. ومن المتوقع أن تفيد هذه المنصة مرضى السكري بشكل كبير من خلال تقديم توصيات شخصية وتقليل مخاطر حدوث مضاعفات.

الكلمات الرئيسية :

إنترنت الأشياء ، الذكاء الاصطناعي، التعلم الآلي، قاعدة بيانات، مرض السكري، التوصيات الشخصية، المراقبة المستمرة.

Liste des Acronymes

- API Application Programming Interface.
- BMI Body Mass Index.
- CGM Continuous Glucose Monitoring.
- CGMS Continuous Glucose Monitoring Systems.
- CNGOF Collège National des Gynécologues et Obstétriciens Français.
- DG Diabète Gestationnel.
- Dia BP Diastolic Blood Pressure.
- DID Diabète Insulinodépendant.
- DNID Diabète Non Insulinodépendant.
- EHRs Electronic Health Records.
- FGM Flash Glucose Meters.
- GA Genetic Algorithm.
- GDM Gestational Diabetes Mellitus.
- HbA1c Hémoglobine Glycosylée.
- HDL High-Density Lipoprotein.
- IA Intelligence Artificielle.
- IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IoMT Internet of Medical Things.
- IoT Internet des Objets.
- IP Internet Protocol.
- ISGM Intermittent Continuous Glucose Monitoring Systems.

MCV Maladie Cardiovasculaire.

ML Machine Learning.

NoSQL Not Only SQL.

OGTT Oral Glucose Tolerance Test.

PCOS Polycystic Ovary Syndrome.

QR Quick Response.

RFID Radio Frequency Identification.

RNN Recurrent Neural Network.

SVM Support Vector Machine.

Sys BP Systolic Blood Pressure.)

URI Uniform Resource Identifier.

Wi-Fi Wireless Fidelity.

Table des matières

Liste des Acronymes	V
Table des figures	X
Liste des tableaux	XI
Introduction Générale	1
Contexte de travail	1
Problématique	1
Objectifs du travail	2
Organisation du mémoire	2
1 Etat de l'art	3
1.1 Introduction	3
1.2 Internet des Objets	3
1.2.1 Définition	3
1.2.2 Domaines d'application de l'IoT	4
1.2.3 Fonctionnement de l'IoT	6
1.2.4 Processus de fonctionnement de l'IoT	9
1.2.5 Architecture d'un système d'IoT	10
1.2.6 Avantages et inconvénients de l'IoT	11
1.2.6.1 Avantage	11
1.2.6.2 Inconvénient	11
1.2.7 Définition de la maladie	12
1.2.8 Types de diabète	12
1.2.9 Diabète en Perspective Clinique	14
1.2.10 Capteurs de surveillance du diabète	15
1.3 Comparaison des travaux existants	16
1.3.1 Travail de : Pavleen Kaur ¹ , Ravinder Kumar ¹ et Munish Kumar ² [22]	16

1.3.2	Travail de : Jafar Abdollahi ,Babak Nouri Moghaddam et Mehdi Effat Parvar [2]	16
1.3.3	Travail de : Munish Bhatia , Simranpreet Kaur , Sandeep K. Sood et Veerawali Behal [7]	16
1.3.4	Travail de : Aman Hebbale and GHR Vinay and BVN Vamsi Krishna and Jalpa Shah [19]	16
1.4	Discussion	19
1.5	Conclusion	19
2	Conception du système	20
2.1	Introduction	20
2.2	Motivation de l'étude de cas	20
2.3	Processus de conception du système	21
2.4	Dataset	23
2.5	Prétraitement des Données	23
2.5.1	Normalisation des données	23
2.5.2	Nettoyage des données	24
2.5.3	Catégorisation	25
2.5.4	Équilibrage du Dataset	25
2.6	Construction du Modèle de Diagnostic du Diabète	25
2.7	Évaluation des Modèles et Sélection du Meilleur	29
2.8	Architecture de IOMT	29
2.9	La surveillance en temps réel	31
2.10	Direction et Vitesse des Changements de Glucose	32
2.11	Interprétation des Valeurs de Glucose par Code Couleur	32
2.12	Le système de recommandation	32
2.13	Conclusion	33
3	Implémentation et test du système	34
3.1	Introduction	34
3.2	Environnement de développement	34
3.2.1	Outils de programmation	34
3.2.2	Back-end	35
3.2.3	Front-end	35
3.2.4	Bibliothèques utilisées	35
3.3	Cas d'étude	36
3.3.1	Dataset	36
3.3.2	Prétraitement des Données	38
3.3.2.1	Nettoyage des données	38
3.3.3	Construction du Modèle de diagnostic du Type du Diabète Gestationnel	39

3.4	Les interfaces	40
3.4.1	Page d'accueil	40
3.4.2	Connexion et Inscription	41
3.4.3	Espace Médecin	41
3.4.4	Espace Patient	43
3.4.5	Espace Assistant médical	44
3.5	Validation du système	45
3.5.1	La validation en consultant l'expert du domaine	46
3.5.2	La validation par les mesures de performance	46
3.6	Discussion	49
3.6.1	Analyse des résultats obtenus	49
3.6.2	Comparaison : Notre Approche vs. Travaux existants	50
3.7	Conclusion	51
	conclusion et perspective	52
	Conclusion	52
	Perspective	53
	Bibliographie	54

Table des figures

1	Domaines d'application de l'IoT.	5
2	Architecture de l'IOT[33].	10
3	Fonction des cellules pancréatiques [44].	12
4	Processus de conception du système.	21
5	l'architecture du réseau de neurones profond.	29
6	l'architecture de l'IOMT.	30
7	pseudo-code de verification de l'équilibrage du dataset.	38
8	pseudo-code du nettoyage.	39
9	pseudo-code du Modèle du Diabète gestationnel.	39
10	Page d'accueil.	40
11	Page de connexion et inscription.	41
12	Tableau de bord du médecin	42
13	Les prédicteurs.	42
14	Patientes diagnostiquées avec diabète gestationnel.	43
15	Patients diagnostiqués avec diabète.	43
16	Tableau de bord du patient.	44
17	Messagerie.	44
18	Espace Assistant médical.	45
19	liste des demandes de rendez-vous.	45
20	Matrice de confusion [8].	47
21	histogramme 2 : Étude comparative de la Précision,Exactitude entre quatre algorithmes	49
22	Étude comparative de le F1 score,Rappel entre quatre algorithmes.	49

Liste des tableaux

1	Domaines d'application de l'IoT.	5
2	Exemples d'objets connectés.	7
3	Tableau récapitulatif du fonctionnement de l'IoT [6].	9
4	Limitations de l'Internet des Objets (IoT) [6].	11
5	Corrélation entre les Types de Diabète, Symptômes, Causes, Traitements et Stratégies de Prévention [23].	14
6	Analyse Comparative des Capteurs de Glycémie pour la Gestion du Diabète.	15
7	Synthèse des Travaux Connexes : Contextualisation et Perspectives.	18
8	Description des Attributs du Dataset Médical.	23
9	Caractéristiques démographiques et biométriques étudiées.	24
10	catégorisation des données.	25
11	Direction et Vitesse des Changements de Glucose	32
12	Interprétation des Valeurs de Glucose par Code Couleur.	32
13	Description des Attributs du Dataset du Diabète Gestationnel.	37
14	Validation du Modèle de Diagnostic du Diabète par Comparaison avec les Diagnostics Médicaux.	46
15	Comparaison des Performances des Modèles de Diagnostic du Diabète.	48
16	Comparaison entre notre approche et les approches des travaux existants.	50

Introduction Générale

Contexte de travail

Le diabète, une maladie chronique de plus en plus répandue, entraîne des complications graves si elle n'est pas correctement gérée. Traditionnellement, la surveillance du diabète repose sur des méthodes périodiques, ce qui peut limiter l'efficacité du suivi et de l'ajustement des traitements. Avec l'essor des technologies comme l'Internet des Objets Médicaux (IoMT) et l'Intelligence Artificielle (IA), de nouvelles opportunités se présentent pour une surveillance continue et précise. Ces technologies permettent de collecter et d'analyser des données en temps réel, offrant ainsi une meilleure gestion et personnalisation des soins pour les patients diabétiques.

Problématique

Dans un monde de plus en plus connecté, l'IoT (Internet des objets) et l'apprentissage automatique offrent des opportunités sans précédent dans le domaine de la santé. Dans cette optique, nous nous penchons sur le développement d'un système de surveillance médicale intelligent dédié aux patients diabétiques.

Au cœur de cette recherche résident plusieurs interrogations essentielles :

1. Comment assurer la fiabilité et la précision des diagnostics fournis par le système de surveillance, et comment les professionnels de la santé peuvent-ils interpréter ces résultats pour un suivi médical optimal des patients diabétiques ?
2. Comment optimiser le stockage et la gestion des données volumineuses capturées par les capteurs dans notre système de surveillance médicale des patients diabétiques ?
3. Comment personnaliser les recommandations médicales en fonction des données individuelles des patients diabétiques ?

Objectifs du travail

Notre objectif est de repousser les limites de la surveillance médicale en concevant un système innovant dédié aux patients diabétiques, capitalisant sur les avancées de l'IoT et de l'apprentissage automatique. Pour concrétiser cette vision ambitieuse, nous avons identifié les principaux axes de travail suivants :

1. Développer des modèles de diagnostic avancés pour anticiper le développement du diabète, ses complications et ses différents types chez les patients.
2. Mettre en place un système efficace pour stocker les données volumineuses provenant des capteurs IoMT dans une base de données NoSQL.
3. Mettre en place un mécanisme de recommandations personnalisées basé sur les données médicales collectées par le système.

Organisation du mémoire

Pour mettre en pratique notre travail, nous avons structuré notre mémoire comme suit :

■ Chapitre 1 : État de l'art

Ce chapitre propose une vue d'ensemble approfondie de l'IoT (Internet des Objets). Nous abordons ses domaines d'application, son processus de fonctionnement, son architecture, ses avantages et inconvénients, ainsi que l'importance cruciale des capteurs de surveillance dans ce domaine en évolution rapide, en plus des travaux connexes.

■ Chapitre 2 : Conception du système

Ce chapitre expose la motivation de notre étude de cas, ainsi que la sélection et le prétraitement du jeu de données utilisé. Nous détaillons ensuite la construction des composants de notre système, conformément aux directives de l'expert du domaine. Enfin, nous examinons l'intégration de ces composants dans la création de notre système intelligent de surveillance en temps réel des patients diabétiques basée sur l'IoMT (Internet of Medical Things).

■ Chapitre 3 : Implémentation et test du système

Ce chapitre englobe la présentation de l'environnement dans lequel notre application a été élaborée, mettant en évidence les langages et outils utilisés, ainsi que l'exposition des interfaces principales de la plateforme. Il dévoile les résultats issus de la phase de conception, détaillant la mise en œuvre de notre système. Ensuite, nous procédons à l'évaluation et aux tests des performances de notre système afin de mesurer son efficacité.

Chapitre 1

Etat de l'art

1.1 Introduction

L'IoT (Internet des Objets) révolutionne notre manière d'interagir avec le monde en connectant des objets physiques à Internet. Dans ce chapitre, nous explorerons ses applications variées, son fonctionnement, ses avantages et ses défis, tout en mettant en lumière le rôle essentiel des capteurs de surveillance dans cet écosystème en pleine croissance. En transformant notre interaction avec le monde, l'IoT offre un potentiel infini en reliant les objets physiques à Internet.

1.2 Internet des Objets

Depuis la fin des années 1980, Internet a évolué de manière spectaculaire. La dernière avancée en date est l'utilisation de ce réseau mondial pour la communication avec des objets ou entre objets, évolution nommée Internet des Objets (IoT pour Internet of Things). L'évolution de l'IoT est rapide : depuis 2014, le nombre d'objets connectés est supérieur au nombre d'humains connectés et il est prévu que 50 milliards d'objets seront connectés d'ici 2025 [6].

1.2.1 Définition

L'IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) définit l'IoT comme un « réseau d'éléments chacun muni de capteurs qui sont connectés à Internet »[6].

L'Internet des objets (IoT) relie une multitude d'appareils avec des interrupteurs marche/arrêt à Internet et entre eux. Cela inclut non seulement les appareils du quotidien comme les téléphones, machines à café et lampes, mais aussi les composants industriels tels que les moteurs d'avion ou les foreuses pétrolières. L'IoT dépasse les simples ordinateurs pour englober divers objets de notre vie quotidienne, permettant à ces objets de communiquer et de partager des informations via des techniques et protocoles spécifiques. [16].

1.2.2 Domaines d'application de l'IoT

L'Internet des objets (IoT) trouve des applications dans divers domaines, révolutionnant la manière dont nous interagissons avec la technologie au quotidien. Le tableau suivant montre les domaines d'application de cette technologie :

Domaine	Explication
Les villes intelligentes (Smart Cities)	l'IoT permettra une meilleure gestion des réseaux divers qui alimentent nos villes (eaux, électricité, gaz, etc.) en permettant un contrôle continu en temps réel et précis. Des capteurs peuvent être utilisés pour l'économie de l'eau et pour améliorer la gestion des parkings et du trafic urbain et diminuer les embouteillages et les émissions en CO2 [20].
La santé (Smart Health)	Un ensemble de capteurs connectés permettent de créer un système de suivi à distance, ou chaque patient peut être monitoré sans avoir besoin de se rendre à un centre médical, les données récoltées par ces systèmes serviront à améliorer la qualité des soins et fournir aux centres médicaux des informations en temps réel sur le patient, ce qui leur permettra de prendre des décisions rapides si besoin est. Par conséquent, une base de données massive sera disponible et permettra de demander conseil aux médecins en cas de besoin [6].
Le Transport	Depuis la création de l'IoT en 1999, le nombre des véhicules intelligents est en croissance, presque tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment déjà des capteurs et des moyens de communication pour traiter la congestion du trafic, la sécurité, la pollution et le transport efficace des marchandises, etc. L'objectif est qu'une voiture soit capable de communiquer de façon autonome avec d'autres véhicules ou avec une centrale de surveillance pour prévenir les accidents et réduire les coûts d'assurance [20].
L'énergie(Le Smart Grid)	L'Internet des objets permet aux innombrables appareils qui composent le réseau électrique de partager des informations en temps réel pour une distribution et une gestion plus efficaces de l'énergie [20].
L'industrie	La technologie IoT permettra un suivi total des produits, de la chaîne de production, jusqu'à la chaîne logistique et de distribution en supervisant les conditions d'approvisionnement. Cette traçabilité de bout en bout permet aux usines d'améliorer l'efficacité de ses opérations, d'optimiser la production et d'améliorer la sécurité des employés [20].
Le bien-être et le confort	Dans le contexte de la domotique ou de la maison intelligente, l'IoT permet d'intégrer des capteurs et des dispositifs connectés pour améliorer le confort et faciliter la vie quotidienne des occupants [20].

l'agriculture	L'utilisation d'objets connectés devient de plus en plus populaire dans le domaine de l'agriculture, compte tenu des nombreuses améliorations que peuvent apporter ces derniers en matière de gestion du matériel agricole, diagnostic des conditions météorologiques, aide à la maîtrise de l'irrigation, suivi de la croissance des plantes et végétaux, ce qui va profondément affecter et renouveler les techniques agricoles en place [6].
Les Maisons et Les Bâtiments Intelligents	l'IoT offre de nombreuses possibilités d'amélioration dans les maisons intelligentes et les bâtiments, notamment en termes d'éclairage intelligent, de contrôle de l'air et du chauffage, de gestion de l'énergie et de sécurité. L'intégration des réseaux de capteurs sans fil et de l'IoT permet une gestion plus efficace et intelligente de ces systèmes, offrant ainsi des avantages significatifs en termes de confort, d'efficacité énergétique et de sécurité [17].
sport	De nombreux objets connectés, tels que des montres ou des bracelets connectés, vous permettront pendant la journée de calculer le nombre de pas effectués, la distance parcourue, votre temps d'activités, les calories brûlées, ainsi que pendant la nuit en calculant vos heures de sommeil. Pour les passionnés de high-tech, c'est un grand marché qui s'ouvre à eux ! De la montre connectée au téléviseur connecté, en passant par les appareils photos, les montres, les drones et les lunettes [15].

TABLE 1 – Domaines d'application de l'IoT.

La figure 1 présente les différents domaines d'application de cette technologie :

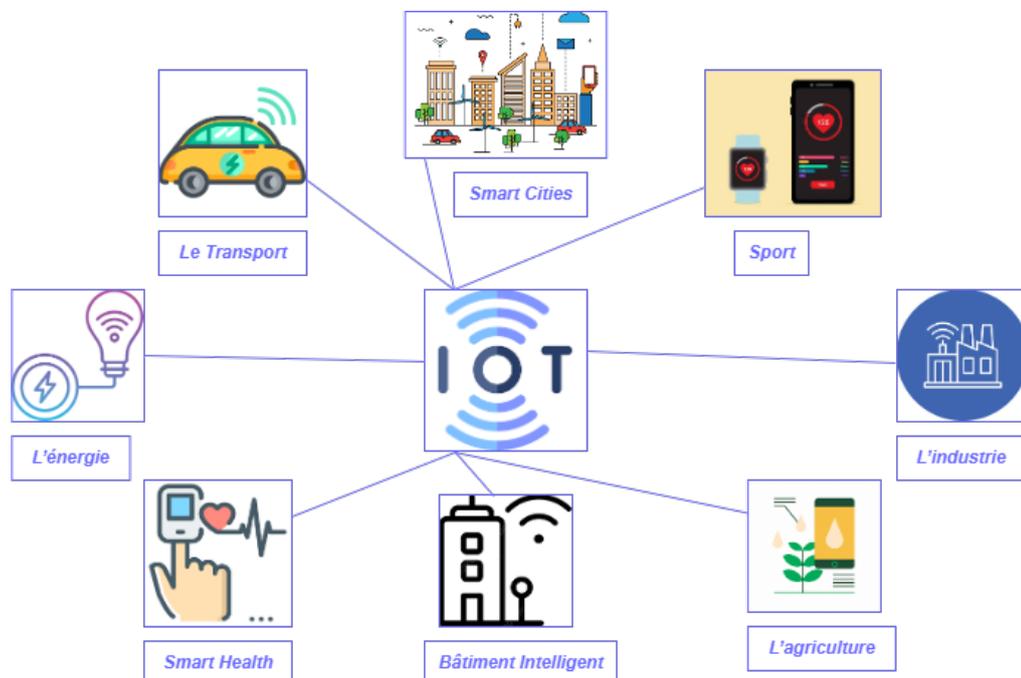


FIGURE 1 – Domaines d'application de l'IoT.

1.2.3 Fonctionnement de l'IoT

Pour garantir le bon fonctionnement de l'Internet des objets (IoT), plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. Dans la suite de cette section, seront examinées certaines de ces technologies qui facilitent l'interconnexion des objets connectés via Internet. Ces technologies permettent l'identification, le stockage, le traitement et le transfert des données dans des environnements physiques et virtuels [6]. Les principales technologies à considérer sont les suivantes :

- **Objets connectés**

L'IoT repose avant tout sur les objets connectés qui ont la capacité de capter des données et de les envoyer via le réseau Internet ou d'autres technologies, pour que celles-ci soit analysées et visualisées. Les objets connectés sont des dispositifs qui ont la capacité d'interagir avec leur environnement de manière autonome (doivent fonctionner indépendamment), elles possèdent entre autres une mémoire, une bande passante, une durée de vie, ainsi qu'une quantité d'énergie consommée qui vient généralement d'une batterie [6].

Exemples d'objets connectés

Le tableau 2 présente des exemples d'objets connectés :

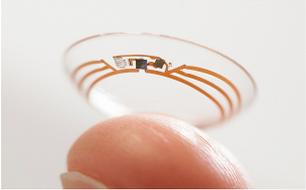
Objet connecté	Explication	Illustration
Le Parrot POT	Le Parrot POT est un pot de fleurs intelligent avec des capteurs et un réservoir d'eau, capable d'entretenir vos plantes en votre absence. L'application associée offre des conseils d'entretien et des rappels. Idéal pour ceux qui n'ont pas la main verte [20].	
Netgear Arlo Pro 100% sans-fil	Le Netgear Arlo Pro est un système de surveillance 100% sans fil, contrôlant plusieurs caméras adaptées pour l'intérieur et l'extérieur via une base centrale. Il offre une solution d'enregistrement sur le Cloud, répondant à divers besoins de surveillance. Netgear se distingue ainsi des caméras filaires traditionnelles [20].	
La montre sport (Garmin Forerunner 735XT)	La montre sport Garmin Forerunner 735XT, conçue pour les sportifs et les coureurs, offre une autonomie de 11 heures, un GPS et un cardiofréquencemètre intégré, le tout avec un écran tactile. Son atout majeur est la possibilité d'organiser des entraînements professionnels [20].	
Le casque Oculus Go	Le casque Oculus Go de Facebook fonctionne sans PC ni smartphone, contrairement aux HTC Vive et Samsung Gear VR. Il offre un champ de vision de 110 degrés, un écran LCD 2560 x 1440, des haut-parleurs avec son spatialisé, et une prise jack. Vendu 199 dollars, sa sortie est prévue début 2018 aux États-Unis, puis plus tard en France [20].	
Lentilles connectées Samsung	Samsung travaille sur un projet ambitieux de lentilles connectées, actuellement au stade de brevet pour protéger l'idée. Toutefois, ce concept reste de la science-fiction pour l'instant, car de nombreux brevets ne passent jamais à la production ou au développement[20].	

TABLE 2 – Exemples d'objets connectés.

— **RFID (Radio Frequency Identification)**

Fait référence à l'utilisation des ondes radio pour identifier automatiquement des entités IoT (objets ou des personnes). Cette technologie permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio . Ils'agit d'une méthode utilisée pour transférer les données contenues dans les étiquettes des objets, ou pour identifier ces derniers à distance [6].

— **WSN (Wireless Sensor Network)**

Décrit un réseau composé d'un ensemble de capteurs qui communiquent à distance, possédant chacun une capacité de traitement et différents types de mémoires, ainsi qu'une source d'alimentation, ces capteurs sans fils sont nécessaires au bon fonctionnement de l'Internet des objets [6].

— **M2M (Machine To Machine)**

Réfère à «l'association des technologies de l'information et de la communication avec des objets intelligents dans le but de donner à ces derniers les moyens d'interagir sans intervention humaine avec le système d'information d'une organisation ou d'une entreprise» [6].

— **Schémas d'adressages**

La capacité d'un système à identifier de manière précise les différents objets est primordiale au bon fonctionnement de l'internet des objets, car cela permet de garder trace et monitorer des millions d'appareils et en prendre le contrôle à distance [6].

— **Stockage et analyse des données**

Une résultante du développement de ce domaine est la quantité phénoménale de données qui est produite, ce qui fait que le stockage de ces données est devenu un problème critique à mesure que cette quantité de données augmente [6].

— **Visualisation** C'est un aspect essentiel de l'IoT, car elle représente l'interaction entre l'utilisateur et son environnement, grâce aux récents progrès en matière d'écrans tactiles en tout genres, l'utilisation destéléphones et tablettes est devenue plus intuitive et plus ludique. Créer des visuels attrayants et faciles à appréhender par les utilisateurs est une étape cruciale [6].

1.2.4 Processus de fonctionnement de l'IoT

L'Internet des Objets (IoT) est un réseau de dispositifs connectés qui collectent, analysent et utilisent des données. Chaque étape de ce processus est essentielle pour le fonctionnement du système. Le tableau 3 décrit ces étapes et leur rôle dans l'ensemble du système IoT :

Étape	Explication
Identification	Les composants connectés dans un réseau IoT doivent être adressables et identifiables pour assurer leur bon fonctionnement. Différents identifiants peuvent être utilisés, tels que les URI (Uniform Resource Identifiers) et les adresses IP (Internet Protocol).
Détection	Les systèmes IoT sont équipés de capteurs qui collectent des données provenant de leur environnement. Ces capteurs peuvent mesurer différentes caractéristiques telles que la température, la position, la proximité...
Communication	Une fois les données collectées par les capteurs, elles doivent être transmises à d'autres systèmes capables de les analyser et de prendre des décisions en fonction des résultats. Différentes technologies de communication sont utilisées, telles que le Wi-Fi, le Bluetooth, les codes QR et les étiquettes RFID.
Informatisation	Les données collectées sont traitées par des microcontrôleurs ou d'autres dispositifs similaires pour permettre leur traitement par le système IoT. Par exemple, les détecteurs de fumée peuvent automatiquement appeler les pompiers en cas d'incendie.
Services	Les systèmes IoT offrent différents services et fonctionnalités en fonction de leur application spécifique. Par exemple, un système de maison intelligente peut contrôler l'éclairage d'une pièce à l'aide d'actionneurs.
Sémantique	La sémantique joue un rôle important dans l'IoT en fournissant un modèle commun de données qui peut être réutilisé et partagé entre les applications et les systèmes. Cela facilite le tri et l'interprétation des données de manière intuitive.

TABLE 3 – Tableau récapitulatif du fonctionnement de l'IoT [6].

1.2.5 Architecture d'un système d'IoT

l'architecture d'un système IoT est composée de plusieurs niveaux qui permettent la communication entre le monde physique des objets et le monde virtuel des réseaux et du cloud. Bien que les architectures puissent varier d'un projet à l'autre, il est possible de schématiser le parcours des données de manière générale [4].

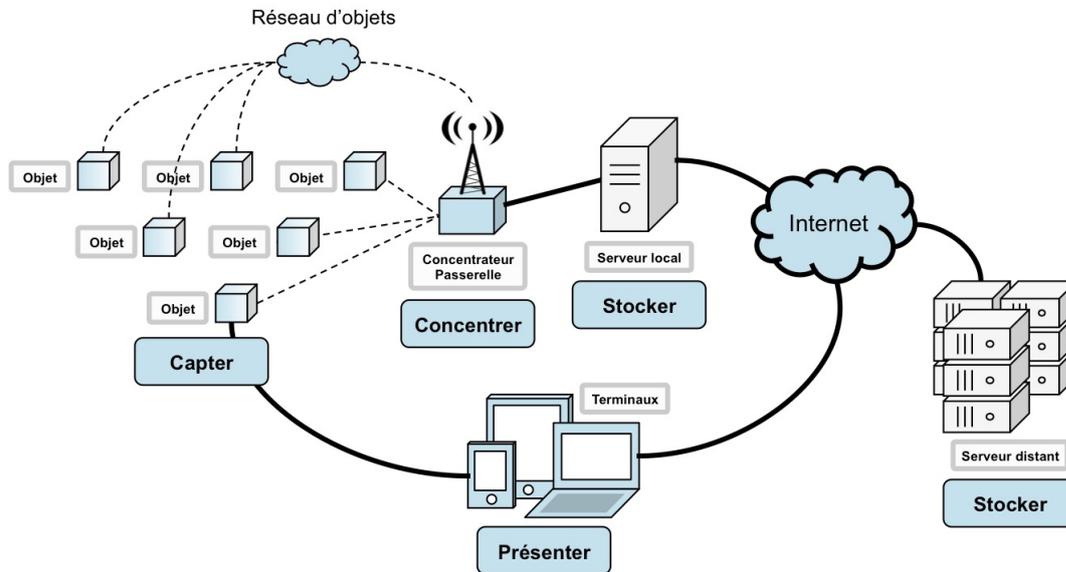


FIGURE 2 – Architecture de l'IOT[33].

La Figure 2 présente de manière visuelle les processus clés de l'Internet des Objets (IoT), qui sont définis comme suit :

1. **Capter**

désigne l'action de transformer une grandeur physique analogique en un signal numérique.

2. **Concentrer**

permet d'interfacer un réseau spécialisé d'objet à un réseau IP standard (e.g. WiFi) ou des dispositifs grand public.

3. **Stocker**

qualifie le fait d'agréger des données brutes, produites en temps réel, méta taguées, arrivant de façon prédictible.

4. **Présenter**

indique la capacité de restituer les informations de façon compréhensible par l'Homme, tout en lui offrant un moyen d'agir et/ou d'interagir.

1.2.6 Avantages et inconvénients de l'loT

1.2.6.1 Avantage

- Améliorer l'efficacité de l'entreprise grâce à la prise de décisions plus intelligentes et plus éclairées [6].
- Permet de gagner du temps, en réduisant les déplacements inutiles [6].
- Améliore la productivité de l'entreprise et l'interaction avec les clients, grâce aux informations sur ces derniers [6].

1.2.6.2 Inconvénient

Le tableau 4 illustre en détail les principales incohérences observées dans les systèmes IoT, fournissant un aperçu approfondi des défis et des limitations rencontrés dans leur mise en œuvre.

Inconvénient	Explication
La sécurité	La sécurité représente l'un des défis majeurs de l'Internet des objets (IoT) en raison de la manipulation d'une quantité considérable de données, ce qui engendre des risques significatifs de pertes financières substantielles et de préjudices potentiels à la réputation des entreprises.
La confidentialité	La préservation de la confidentialité constitue une préoccupation majeure en cas de cyberattaque, où les informations sensibles relatives à l'entreprise (clients, employés, etc.) sont exposées à un risque considérable de modification, de suppression ou de vol. Cette préoccupation est amplifiée dans le contexte des systèmes de l'Internet des objets (IoT) en raison du partage intégral des données.
Les Défaillances	Les défaillances constituent une préoccupation majeure dans le contexte des systèmes de l'Internet des objets (IoT) qui supervisent des biens matériels tels que les voitures intelligentes ou les pompes à insuline. En cas de panne ou de défaillance, les conséquences pourraient être désastreuses.

TABLE 4 – Limitations de l'Internet des Objets (IoT) [6].

1.2.7 Définition de la maladie

Le diabète est un trouble métabolique caractérisé par la présence d'une hyperglycémie attribuable à une réduction de la sécrétion d'insuline ou de l'action de l'insuline, ou les deux. L'hyperglycémie chronique liée au diabète est associée à des complications microvasculaires à long terme assez spécifiques touchant les yeux, les reins et les nerfs, ainsi qu'à un risque accru de maladie cardiovasculaire (MCV). Les critères diagnostiques du diabète sont fondés sur les seuils de glycémie associés aux maladies microvasculaires, la rétinopathie en particulier. Le terme « prédiabète » désigne une anomalie de la glycémie à jeun, une intolérance au glucose ou une hémoglobine glycosylée (HbA1c) comprise entre 6,0% et 6,4%, lesquelles exposent les personnes à un risque élevé de diabète et de complications liées à la maladie [11].

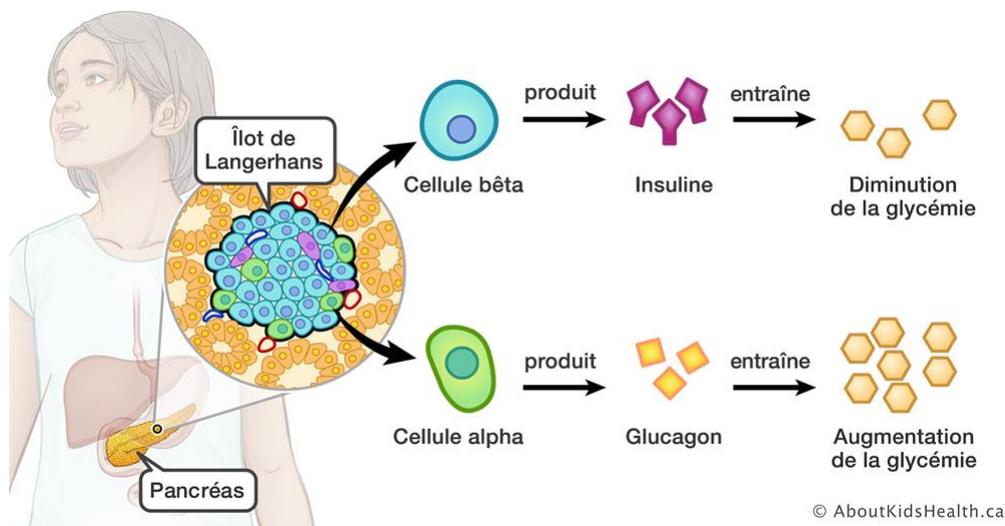


FIGURE 3 – Fonction des cellules pancréatiques [44].

1.2.8 Types de diabète

Les types de diabète sont définis de manière spécifique pour mieux appréhender la diversité des manifestations cliniques de cette maladie métabolique complexe. Leur classification précise est fondamentale pour une compréhension approfondie et une gestion optimale de cette pathologie chronique.

1. **Le diabète de type 1** Anciennement appelé diabète insulino-dépendant (DID) ou encore juvénile car il touche le plus souvent l'enfant et l'adulte jeune de moins de 35 ans³, mais on peut le trouver chez le sujet plus âgé, sa prévalence est faible ; elle est de l'ordre de 0,2 à 0,5% avec une fréquence entre 10 et 15% pour l'ensemble des diabétiques. Le DID, comme son nom l'indique, si l'on est atteint de cette maladie, on devient dépendant d'un apport en insuline car le corps n'est plus capable d'en fabriquer. On doit donc s'injecter plusieurs fois par jour une dose précise d'insuline pour compenser la carence de l'organisme, le régime n'étant absolument pas suffisant pour contrôler la maladie [39].

2. **Le diabète de type 2** Autrefois appelé diabète non insulino-dépendant (DNID) et parfois appelé « diabète gras » du fait de son lien étroit avec l'obésité. C'est le plus fréquent des diabètes puisqu'il constitue 85 à 90% de l'ensemble des diabétiques dans le monde. Il s'installe progressivement et est provoqué par une mauvaise alimentation et un manque d'exercice physique. Il apparaît généralement chez les personnes de plus de 40 ans [39].
3. **Diabète gestationnel** Selon le Collège National des Gynécologues et Obstétriciens Français (CNGOF), le diabète gestationnel (DG) est un trouble de la tolérance glucidique conduisant à une hyperglycémie de sévérité variable, débutant ou diagnostiqué pour la première fois pendant la grossesse quel que soit le traitement nécessaire et l'évolution dans le postpartum [46].
4. **Diabète néonatal** C'est un diabète insulino-dépendant qui apparaît durant les premiers mois de vie. Il peut être transitoire (l'insuline peut être arrêtée, généralement avant l'âge de 6 mois, mais une récurrence du diabète est possible à la puberté ou à l'âge adulte) ou permanent (le traitement ne peut pas être arrêté) [46].

1.2.9 Diabète en Perspective Clinique

Le tableau 5 résume les différents types de diabète, en détaillant leurs symptômes, causes et traitements. Il offre une vue claire des distinctions cliniques entre le diabète de type 1, de type 2, gestationnel et néonatal, facilitant ainsi la compréhension des approches thérapeutiques adaptées à chaque forme de diabète

Types	Symptômes	Causes	Traitements et prévention
Type 1	<ul style="list-style-type: none"> - Une polydipsie (soif importante). - Augmentation du volume des urines (polyurie). - Fort amaigrissement (malgré un appétit augmenté). - Vision trouble. Asthénie. -Haleine à l'odeur fruitée de pomme verte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les causes de ce type de diabète sont encore méconnues en ce jour - Néanmoins, certains chercheurs pensent que la mauvaise alimentation. - la consommation excessive de sucre et de produits gras. -la sédentarité. 	<ul style="list-style-type: none"> -Multi injections. - Pompe à insuline. -Une bonne nutrition est importante.
Type 2	<ul style="list-style-type: none"> -Une soif intense et une faim exagérée (polyphagie). -Somnolence et fatigue constante. -Besoin fréquent d'uriner (particulièrement le soir). -Vision brouillée. -Infections des organes vitaux. -Cicatrisation lente. 	<ul style="list-style-type: none"> -La génétique et l'hérédité. -Le surpoids et l'obésité. -L'hypertension artérielle élevée. -Survenue d'un diabète sucré durant une grossesse. -Taux élevé de cholestérol. -Intolérance au glucose. 	<ul style="list-style-type: none"> -L'adoption d'une meilleure alimentation. -Pratique régulière d'une activité physique. -Prise des médicaments tels que des antidiabétiques oraux. -Hygiène corporelle.
Gestationnel	<ul style="list-style-type: none"> -Fatigue importante. -Soif accrue. -Des urines plus abondantes. -Envie plus fréquente d'uriner. -Maux de tête. 	<ul style="list-style-type: none"> -La résistance des cellules à l'action de l'insuline causée durant la grossesse par les hormones du placenta. -Une importante prise de poids entre deux grossesses . 	<ul style="list-style-type: none"> -Modifications de l'alimentation maternelle. -Contrôle du poids des femmes. -Une bonne hygiène de vie.
Néonatal	<ul style="list-style-type: none"> -Déshydratation. -Hyperglycémie souvent très élevée (5 g/l en moyenne). -Insulinémie (concentration d'insuline dans le sang) basse. 	<ul style="list-style-type: none"> -Une anomalie au niveau du chromosome 6. -Une mutation du gène Kir6.2. 	<ul style="list-style-type: none"> -Réhydratation. -Insuline : injections sous cutanées ou pompe. -Alimentation adaptée au nouveau-né.

TABLE 5 – Corrélation entre les Types de Diabète, Symptômes, Causes, Traitements et Stratégies de Prévention [23].

1.2.10 Capteurs de surveillance du diabète

Le tableau 6 présente une vue d'ensemble des différents types de capteurs utilisés pour la surveillance du diabète, y compris les systèmes de mesure continue du glucose (CGM) et les glucomètres flash (FGM), offrant des solutions variées pour une gestion efficace de la glycémie.

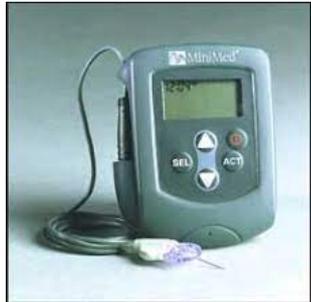
Capteurs	Explication	Illustration
La mesure de la CGM	La mesure continue du glucose (CGM) permet une surveillance constante de la glycémie tout au long de la journée et de la nuit. Elle détecte les variations et les tendances de la glycémie. Les systèmes CGM se classifient principalement en deux types principaux [21].	
Systèmes de CGM (CGMS)	Les systèmes de mesure continue du glucose (CGM) utilisent des capteurs sous-cutanés pour mesurer le taux de glucose dans le liquide interstitiel en temps réel. Les données sont transmises sans fil à un appareil portable comme un smartphone ou un lecteur de glycémie. Certains systèmes incluent des alarmes pour avertir l'utilisateur en cas de glycémie trop élevée ou trop basse [21].	
Glucomètres Flash (FGM)	Les glucomètres Flash, ou systèmes de surveillance du glucose intermittente (ISGM), utilisent des capteurs adhésifs scannables pour mesurer la glycémie à un moment donné. Contrairement aux CGM, ils ne surveillent pas la glycémie en continu et ne disposent pas d'alarmes intégrées [21].	
Les capteurs de glycémie sans fil Freestyle	Les capteurs de glycémie Freestyle sans fil sont des systèmes de CGM, comprenant un capteur sous-cutané, un émetteur et un récepteur. Ils mesurent la glycémie interstitielle en continu, utilisant le liquide interstitiel similaire au plasma sanguin. Ces dispositifs permettent un suivi précis et constant de la glycémie [21].	

TABLE 6 – Analyse Comparative des Capteurs de Glycémie pour la Gestion du Diabète.

1.3 Comparaison des travaux existants

1.3.1 Travail de : Pavleen Kaur¹, Ravinder Kumar¹ et Munish Kumar² [22]

L'objectif de ce travail de recherche est d'améliorer le domaine des soins de santé en exploitant le potentiel de l'Internet des objets (IoT) pour la surveillance médicale. Les auteurs se concentrent sur le développement d'un système permettant la surveillance en temps réel et à distance de la santé en utilisant des capteurs connectés. En analysant les données passées à l'aide d'algorithmes d'apprentissage automatique, ils visent à prédire de manière préventive les problèmes de santé futurs et à fournir des recommandations appropriées aux professionnels de la santé. Ces recommandations sont basées sur les données stockées dans le cloud.

1.3.2 Travail de : Jafar Abdollahi ,Babak Nouri Moghaddam et Mehdi Effat Parvar [2]

L'objectif de cette étude est de proposer un moyen plus précis de diagnostiquer et de prédire le diabète en utilisant des algorithmes d'apprentissage ensembliste et des techniques de sélection de caractéristiques hybrides. En analysant des données éducatives réelles de patients diabétiques indiens publiées sur le site web de l'Université de Californie, les chercheurs cherchent à identifier des variables prédictives du diabète. Une fois le diabète diagnostiqué précocement, il devient possible de réduire considérablement les coûts de traitement, prévenir la progression de la maladie et éviter ses complications, ce qui peut contribuer à améliorer la santé et la qualité de vie des patients diabétiques. Les résultats de cette étude montrent que la méthode proposée présente une précision de 93%, dépassant ainsi les méthodes de base utilisées traditionnellement.

1.3.3 Travail de : Munish Bhatia , Simranpreet Kaur , Sandeep K. Sood et Veerawali Behal [7]

Cette étude présente un système IoT de surveillance du diabète basé sur l'urine avec quatre couches pour diagnostiquer les infections urinaires liées au diabète. Il offre un suivi régulier et des diagnostics préventifs précoces. Les résultats démontrent une nette amélioration par rapport aux techniques actuelles.

1.3.4 Travail de : Aman Hebbale and GHR Vinay and BVN Vamsi Krishna and Jalpa Shah [19]

Ce travail présente un système de soins personnel non invasif basé sur l'Internet des objets (IoT) et l'apprentissage automatique pour prédire le diabète avant qu'il ne se manifeste. En

utilisant un capteur IoT développé, le système surveille les taux de sucre dans le sang et d'autres paramètres vitaux de manière confortable. Un modèle d'apprentissage automatique est intégré à une application Android, permettant aux médecins et aux patients de surveiller facilement les paramètres vitaux et de recevoir des suggestions pour prévenir ou réduire le risque de diabète.

Travail	dataset	Technique et outil	Les critères de performances	Points forts	Limitation
Travail 1 [22].	-Breast cancer. -Diabetes. -Heart disease. -Spect Heart. -Thyroid. -SurgeryData. -Dermatology. -Liver Disorder.	-Random Forest.	Exactitude : 0,81.	Permet la surveillance de la santé en temps réel et à distance -Utilise l'IoT pour connecter les capteurs de santé. -Analyse des données historiques pour prédire les problèmes futurs.	-Taille de l'échantillon restreinte. -Temps de calcul significatif. -Risque de biais potentiel.
Travail 2 [2].	-genetic data. -electronic health records (EHRs).	-Genetic Algorithm (GA)	Exactitude :0.93.	-Utilise l'apprentissage automatique pour une meilleure précision. - Réduit les coûts de traitement grâce à un diagnostic précoce du diabète.	- Qualité des données variable. -Risque de surajustement. -Sensibilité aux choix des méthodes et paramètres.
Travail 3 [7].	-UbD datasets	-Recurrent Neural Network (RNN)	Exactitude :0.97.	-Diagnostic précoce des infections du diabète. -Contribution à la recherche sur les technologies de surveillance médicale à domicile	-Variables non mesurées. -Coûts potentiels élevés pour la mise en œuvre
Travail 4 [19].	-le dataset Practice Fusion	-Support Vector Machine (SVM)	Exactitude :0.82. Rappel :0.63.	-Utilisation d'un capteur IoT non invasif pour surveiller la glycémie de manière confortable. -Stockage des données de manière sécurisée dans une base de données cloud (Firebase).	-Coût du Capteur Potentiellement Élevé. -Validation Clinique Absente. -Taille de l'Échantillon Limitée.

TABLE 7 – Synthèse des Travaux Connexes : Contextualisation et Perspectives.

1.4 Discussion

Les travaux existants ont apporté des contributions importantes, notamment dans la gestion du diabète et les outils de surveillance glycémique. Toutefois, ils présentent certaines limitations : la surveillance en temps réel des patients diabétiques, le diagnostic des types de diabète, et les recommandations personnalisées ne sont pas abordées. De plus, aucun des travaux ne traite du stockage efficace des grandes quantités de données. Nous considérons ces lacunes comme des axes d'amélioration pour notre système, visant à combler ces manques.

1.5 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons exploré l'état de l'art en commençant par l'IoT. Nous avons ensuite procédé à une comparaison des travaux existants, mettant l'accent sur leurs limitations et identifiant les axes d'amélioration pour notre travail. Ces analyses fournissent une base solide pour notre prochaine étape : la conception, qui sera abordée dans le chapitre suivant.

Chapitre 2

Conception du système

2.1 Introduction

Après avoir exploré en détail la technologie IoT, ses domaines d'application et son processus, nous nous concentrons désormais sur un domaine spécifique : le traitement de la maladie, en l'occurrence le diabète. Dans ce chapitre, nous aborderons la conception de notre système en utilisant l'IoMT (Internet des Objets Médicaux), l'IA (Intelligence Artificielle) et les recommandations personnalisées pour les patients diabétiques. Cette approche intégrée vise à fournir une solution innovante et efficace pour améliorer la gestion de cette maladie chronique, en exploitant les avancées technologiques pour offrir des soins de santé plus personnalisés et adaptés aux besoins individuels des patients.

2.2 Motivation de l'étude de cas

Aujourd'hui, le diabète est une pandémie mondiale qui touche plus de 425 millions de personnes et ce chiffre augmente chaque année. En Algérie, la prévalence est estimée à 14,4%. Environ 4 millions de personnes sont atteintes de diabète en Algérie, selon le Dr Djamila Nadir, sous-directrice de la prévention au ministère de la Santé[32].

L'introduction des systèmes de surveillance en temps réel pour les patients diabétiques est encore à ses débuts dans le pays. Ces applications offrent cependant des avantages significatifs, permettant aux patients de surveiller en continu leur glycémie, d'enregistrer leur activité physique et leur alimentation. Ainsi, elles facilitent une gestion proactive de la maladie et encouragent l'autonomie des patients. De plus, en favorisant une meilleure communication avec les professionnels de santé, ces outils jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la qualité de vie des personnes atteintes de diabète.

2.3 Processus de conception du système

Dans le cadre de notre recherche, notre objectif est d'améliorer la gestion du diabète en fournissant des recommandations personnalisées aux patients et aux professionnels de la santé. Pour atteindre cet objectif, nous exploitons les possibilités offertes par l'Internet des objets (IoT) et l'apprentissage automatique. Notre système collecte en temps réel des données médicales à l'aide de capteurs IoT, puis utilise des algorithmes d'apprentissage automatique pour analyser et prédire les tendances du diabète. Pour démontrer l'efficacité de notre système, nous avons réalisé une étude de cas portant sur le diagnostic du diabète. La Figure 4 présente de manière visuelle le processus de conception de notre système.

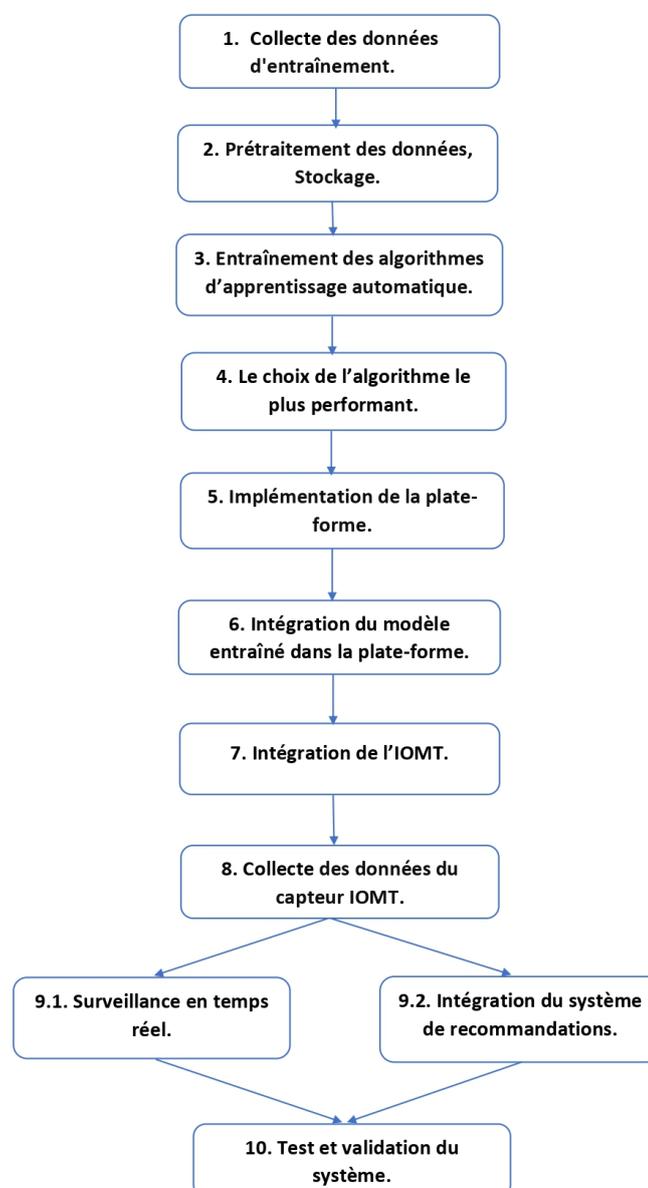


FIGURE 4 – Processus de conception du système.

Dans ce qui suit, nous allons décrire les étapes détaillées du processus de conception du système, en mettant en lumière les phases essentielles de de conception et de mise en œuvre nécessaires pour créer une solution optimale et intégrée.

Notre recherche a avancé en respectant rigoureusement les étapes décrites ci-dessous :

1. La conception de notre système intelligent a débuté par une consultation avec le Dr Oudjer, une éminente autorité du domaine, orientant notre choix vers un dataset approprié pour notre recherche.
2. Ensuite, nous avons entrepris les prétraitements essentiels sur le dataset sélectionné, suivi par le stockage du dataset
3. Pour construire le modèle de diagnostic du diabète, deux étapes sont cruciales :
 - 3.1 Entraîner des algorithmes d'apprentissage automatique pour effectuer les diagnostics.
 - 3.2 Effectuer des tests rigoureux pour évaluer la performance du modèle construit.
4. Par la suite, la sélection du meilleur algorithme, illustrant des performances exceptionnelles en termes de métriques, afin d'assurer l'efficacité du modèle final.
5. Cette étape consiste à mettre en place l'infrastructure nécessaire, y compris la création des interfaces utilisateur ou des API pour son utilisation.
6. Après la phase l'implémentation, l'intégration du modèle dans la plateforme s'effectue en assurant une connexion fluide entre le modèle et l'ensemble de l'infrastructure, garantissant ainsi son accessibilité et sa fonctionnalité optimale.
7. Dans cette phase, nous avons intégré le simulateur dans la plateforme, permettant ainsi la simulation de données de glycémie en temps réel dans notre système.
8. nous entamons la collecte des données à partir du capteur IoMT, assurant ainsi un flux continu d'informations médicales pertinentes.
9. Après la phase de la collecte des données à partir du capteur, deux étapes cruciales se déroulent en parallèle :
 - 9.1 Intégration de l'étape de surveillance en temps réel pour une évaluation constante de l'état de santé
 - 9.2 Développement d'un système de recommandations personnalisées, basées sur les données collectées, pour offrir des conseils adaptés à chaque patient.
10. La dernière étape implique des tests avec des experts de la santé pour évaluer la pertinence clinique et la convivialité du système, ainsi que des mesures de performance pour confirmer son efficacité.

Le détail de chaque étape sera représenté dans les sections suivantes.

2.4 Dataset

Le choix de ce jeu de données a été guidé par plusieurs considérations cruciales. Après consultation avec **Dr. Oudjer**, expert dans le domaine médical, il nous a conseillé ce jeu de données en raison de **sa pertinence et de sa richesse en informations cliniques essentielles** pour notre étude. De plus, d'un point de vue data science, ce jeu de données se distingue par **son volume significatif de 100 000 échantillons initiaux**, une taille nettement supérieure à celle des autres jeux de données disponibles dans ce domaine. En outre, la taille totale du dataset est de **3,63 Mo**, ce qui est suffisamment grand pour garantir une meilleure qualité et représentativité des données, renforçant ainsi la robustesse et la précision de nos modèles de diagnostic.

Un autre aspect déterminant est que ce jeu de données est relativement **récent** et n'a pas encore été largement exploité dans **des travaux de recherche similaires**. Par exemple, dans une étude récente, ils ont validé leur modèle entraîné par un autre jeu de données en utilisant ce dataset (DPD)[14]. Cette nouveauté nous offre une opportunité unique d'apporter une contribution originale et novatrice dans le domaine de la détection précoce des déséquilibres métaboliques chez les diabétiques[30].

Et le tableau suivant montre une description de ce jeu de données :

Attribut	Description
Gender	Le sexe du patient
Age	L'âge du patient en années
Hypertension	La présence ou l'absence d'hypertension chez le patient.
Heart disease	Le statut de maladie cardiaque du patient.
Smoking history	Le degré d'histoire de tabagisme du patient.
Bmi	L'indice de masse corporelle du patient.
HbA1c level	Le niveau d'hémoglobine glyquée dans le sang du patient.
Blood glucose level	Le niveau de glucose dans le sang du patient à un moment donné.

TABLE 8 – Description des Attributs du Dataset Médical.

2.5 Prétraitement des Données

Dans cette section, nous abordons le prétraitement des données, une étape fondamentale qui vise à garantir la qualité, la cohérence et la fiabilité des informations analysées. Le processus de prétraitement de l'ensemble des données se déroule en trois étapes :

2.5.1 Normalisation des données

Dans le cadre du processus de nettoyage, la colonne **corps cétoniques** a été ajoutée suite à des consultations approfondies avec un expert du domaine, Dr Oudjer, en raison de leur rôle clé dans le métabolisme et leur lien avec le diabète. Cet ajout vise à améliorer la précision de notre modèle de diagnostic en détectant les signes précoces de déséquilibre métabolique chez les

diabétiques, permettant ainsi une meilleure identification des individus à risque. Afin d'assurer une cohérence accrue dans la représentation des genres, nous avons standardisé les valeurs de la colonne 'gender'. Désormais, 'male' est codé en 0 et 'female' en 1.

2.5.2 Nettoyage des données

Lors de la phase de nettoyage des données, nous avons opté pour retirer la valeur 'other' de la colonne 'gender'. Par conséquent, toutes les lignes contenant la valeur 'other' dans cette colonne ont été supprimées du jeu de données.

Caractéristique	Échelle	Catégories
Gender	0 1	Male Female
Smoking history	-1 0 0.25 0.5 0.75 1	No Info never not current current former ever
Ketones	-1 0 15 50 150	neg trace 1+ 2+ 3+

TABLE 9 – Caractéristiques démographiques et biométriques étudiées.

2.5.3 Catégorisation

Après avoir nettoyé le dataset, nous avons collaboré avec **le laboratoire frantz fanon de Blida** pour catégoriser certaines caractéristiques numériques, obtenant ainsi des intervalles significatifs. le tableau suivant représente les catégories déterminées à partir des intervalles élaborés.

Attribut	Intervalle	Valeurs
BMI	[18.5-25]	Normal
	>25	Élevé
HbA1c level	<5.7	Normal
	>5.7	Élevé
blood glucose level	[0.7-1.1]	Normal
	<0.7	Hypoglycémie
	>1.1	Hyperglycémie

TABLE 10 – catégorisation des données.

2.5.4 Équilibrage du Dataset

Le déséquilibre dans un ensemble de données peut avoir un impact significatif sur les performances des modèles d'apprentissage automatique. Dans notre cas, avec seulement **8,5%** d'exemples de la classe positive et une écrasante majorité de **91,5%** d'exemples de la classe négative, il y avait un risque que le modèle soit biaisé vers la classe majoritaire et ignore les nuances présentes dans la classe minoritaire.

Afin de remédier à cette disparité, une stratégie de **sous-échantillonnage de la classe majoritaire** a été mise en œuvre. L'objectif était d'ajuster la proportion entre les classes, conduisant ainsi à la création d'un ensemble de données équilibré. Suite à cette intervention, le pourcentage de la classe positive a été réajusté à **45,95%**, tandis que la classe négative représente désormais **54,05%** de l'ensemble.

En rééquilibrant l'ensemble de données, nous avons non seulement réduit le risque de biais du modèle, mais nous avons également amélioré sa capacité à détecter efficacement les exemples de la classe positive, qui peuvent être d'une importance critique dans de nombreuses applications réelles. En conséquence, cette étape d'équilibrage a contribué à maximiser les performances du modèle en garantissant une représentation équilibrée des différentes classes dans l'ensemble de données d'entraînement.

2.6 Construction du Modèle de Diagnostic du Diabète

Au cœur de notre initiative visant à améliorer la gestion médicale des patients diabétiques réside la phase déterminante de construction du modèle. Cette étape critique repose sur la sélection minutieuse d'algorithmes d'apprentissage automatique. Quatre approches algorithmiques

distinctes ont été méthodiquement choisies, chacune apportant une valeur spécifique à notre objectif global :

1. Support Vector Machine(SVM)

Les "Support Vector Machines" (SVM), également connus sous le nom de « maximum margin classifier » (classificateur à marge maximale), représentent des techniques d'apprentissage supervisé. Les SVM sont des séparateurs linéaires basés sur un hyperplan, reposant sur le principe de la maximisation de la marge. La marge représente la distance minimale entre l'hyperplan optimal séparant les deux classes et les points les plus proches des classes à l'hyperplan [5].

Dans notre étude de diagnostic du diabète, nous utilisons un noyau polynomial (kernel='poly') pour modéliser les relations entre les caractéristiques. Le noyau polynomial est défini par la formule suivante :

$$K(x_i, x_j) = (x_i^T x_j + c)^d \quad (1)$$

Où :

- x_i et x_j sont des vecteurs d'attributs,
- d est le degré du polynôme, contrôlant la complexité de la frontière de décision,
- c est un terme constant.

De plus, un paramètre de régularisation modéré ($C = 0.1$).

$$J(w, b) = \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m \xi_i \quad (2)$$

Où :

- w est le vecteur de poids,
- b est le biais,
- ξ_i sont les variables d'écart (slack variables) qui mesurent la marge d'erreur de classification pour chaque point de données,
- C est le paramètre de régularisation qui contrôle le compromis entre la maximisation de la marge et la minimisation de l'erreur de classification.

2. Random Forest

Random Forest est un algorithme d'apprentissage automatique supervisé puissant et polyvalent qui pousse et combine plusieurs arbres de décision pour créer une « forêt » [18].

Dans notre étude, nous utilisons une Forêt d'arbres aléatoires composée de 10 arbres de décision pour anticiper le diagnostic du diabète. Le diagnostic \hat{y}_i pour un échantillon x_i est calculée comme suit :

$$\hat{y}_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \text{arbre}_j(x_i) \quad (3)$$

- \hat{y}_i est le diagnostic
- N est le nombre d'arbres dans la forêt,
- $\text{arbre}_j(x_i)$ est le diagnostic de l'arbre
- j pour l'observation x_i .

3. Réseau de Neurones Simple

Un réseau de neurones est une fonction paramétrée qui est la composition d'opérateurs mathématiques simples appelés neurones, pour les distinguer des neurones biologiques [42]. Dans le cadre de notre étude, nous avons mis en œuvre un réseau de neurones spécifique avec trois couches : une couche d'entrée comprenant 1 neurone, une couche cachée avec 100 neurones, et une couche de sortie avec 1 neurone.

Nous avons utilisé la fonction d'activation ReLU (Rectified Linear Unit) pour les neurones de la couche cachée. Pour la couche de sortie, nous avons utilisé la fonction d'activation sigmoid, qui est couramment utilisée pour les tâches de classification binaire. La fonction de perte que nous avons choisie pour la classification binaire est la Binary Cross Entropy (entropie croisée binaire).

4. Réseau de Neurones Profond

Un réseau de neurones profond, faisant partie du domaine du deep learning, un réseau de neurones profonds se présente comme un algorithme d'apprentissage automatique structuré en plusieurs couches, chaque couche étant composée de neurones interconnectés. Les réseaux de neurones profonds se caractérisent par la présence de multiples couches cachées non linéaires, où chaque couche est définie par des fonctions d'activation. Afin de régulariser le modèle et prévenir le surajustement, des techniques telles que l'utilisation de la couche de Dropout sont fréquemment intégrées. La couche d'entrée du réseau représente les données brutes en entrée, tandis que la couche de sortie génère les diagnostics du modèle [31]. Dans le cadre de notre étude, le réseau de neurones profond que nous avons implémenté se distingue par deux paramètres essentiels : le nombre de couches cachées, fixé à 4, et le taux de Dropout, équivalent à 0.5, représentant ainsi 5% des neurones désactivés à chaque itération pendant la phase d'entraînement. Le réseau de neurones profond que nous avons mis en œuvre est caractérisé par les paramètres suivants :

Nombre de couches cachées (nbcouchescachees) : 4 Taux de Dropout (dropout) : 0.5 (ce qui représente 5% des neurones désactivés à chaque itération pendant l'entraînement)

Nous avons utilisé la fonction d'activation ReLU (Rectified Linear Unit) pour les neurones de la couche cachée. La fonction ReLU est définie comme :

$$\text{ReLU}(x) = \max(0, x) \quad (4)$$

— x représente l'entrée du neurone qui est calculée comme suit :

$$x = \sum_{i=1}^n w_i \cdot a_i + b \quad (5)$$

— w_i sont les poids associés aux entrées a_i .

— a_i sont les valeurs des entrées.

— b est le biais du neurone.

Pour la couche de sortie, nous avons utilisé la fonction d'activation sigmoid, qui est couramment utilisée pour les tâches de classification binaire. La fonction sigmoid est définie comme :

$$\text{Sigmoid}_k(z) = \frac{1}{1 + e^{-z_k}} \quad (6)$$

— Z_k est la somme pondérée des activations provenant de la couche cachée

La fonction de perte que nous avons choisie pour la classification binaire est la Binary Cross Entropy (entropie croisée binaire). La formule de la Binary Cross Entropy est donnée par :

$$\text{BinaryCrossEntropy}(\mathbf{y}, \mathbf{y}_{\text{true}}) = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\mathbf{y}_{\text{true}_i} \cdot \log(\mathbf{y}_i) + (1 - \mathbf{y}_{\text{true}_i}) \cdot \log(1 - \mathbf{y}_i)) \quad (7)$$

— \mathbf{y} C'est un vecteur de probabilités que la classe positive soit présente.

— \mathbf{y}_{true} Les vraies étiquettes (labels) de votre ensemble de données.

— N Le nombre total d'exemples dans votre ensemble de données.

— \log La fonction logarithme népérien naturel.

L'architecture de notre **réseau de neurones profond** se compose de trois couches essentielles : une couche d'entrée, un ensemble de couches cachées et une couche de sortie.

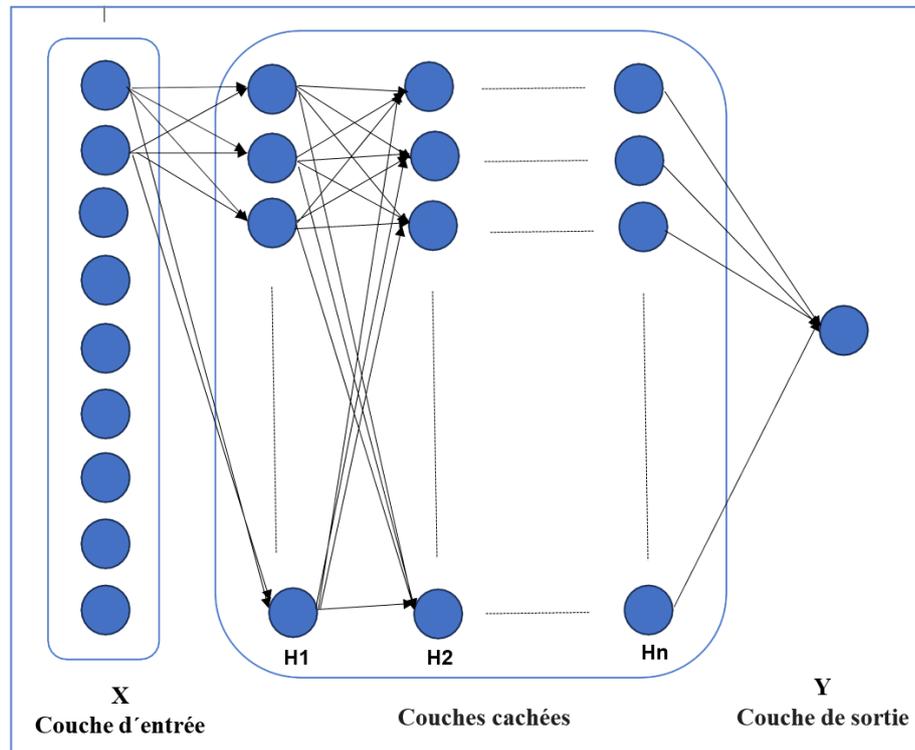


FIGURE 5 – l'architecture du réseau de neurones profond.

2.7 Évaluation des Modèles et Sélection du Meilleur

L'étape d'évaluation des modèles se révèle essentielle pour apprécier leur efficacité dans le diagnostic du diabète, offrant ainsi une perspective critique sur leur performance respective dans le contexte médical. Suite à la comparaison des quatre modèles à l'aide des métriques définies, la sélection du meilleur modèle s'oriente vers **le réseau de neurones profond**. Ses performances équilibrées, reflétées par des mesures telles que l'Accuracy, la Précision, le Rappel, et le Score F1, en font un choix privilégié pour le diagnostic précis des variations liées au diabète. Avec **une exactitude de 97,37%**, **une précision de 99,86%**, **un rappel de 95,74%**, et **un score F1 de 97,03%**, ce modèle s'impose comme le meilleur choix. Ces résultats sont abordés en détail dans le chapitre 3 : Sélection du Meilleur Modèle.

2.8 Architecture de IOMT

L'architecture se compose de trois couches essentielles : la collecte des données, la normalisation des données et le stockage des données. (figure 6)

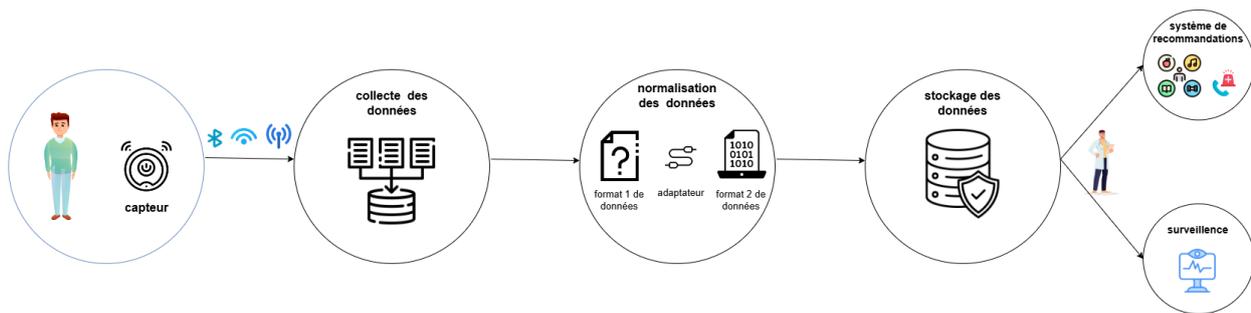


FIGURE 6 – l'architecture de l'IOMT.

1. Collecte des données

Un capteur de glycémie placé sur la peau transmet les données en mesurant en continu le taux de glucose dans le liquide interstitiel. Les données capturées par plusieurs capteurs, donc hétérogènes, sont ensuite acheminées instantanément vers un espace de stockage dédié, où elles sont prêtes à être normalisées et interprétées.

Le pseudo code suivant détaille les étapes effectuées par le côté émetteur (le capteur) pour transmettre les données

Algorithm 1 Côté émetteur (capteur)

- 1: **While** Capteur de glycémie active et nouvelles données disponibles **do**
 - 2: Collecter les données brutes du capteur.
 - 3: Stockage instantané des données brutes.
 - 4: Terminer la connexion.
-

2. Normalisation des données

La normalisation des données provenant de ces dispositifs est une étape cruciale. Elle implique des procédures de nettoyage, notamment le remplacement des virgules par des points pour éviter les problèmes d'encodage UTF-8 lors de la conversion, ainsi que la vérification de l'intégrité des données pour s'assurer qu'elles ne sont pas nulles. De plus, il est essentiel de convertir les données nettoyées en une unité de mesure uniforme, les milligrammes par décilitre (mg/dL), en utilisant un facteur de conversion approprié en fonction de l'unité d'entrée spécifiée. Ces étapes sont nécessaires pour éliminer les incohérences et garantir une base de données homogène.

le côté émetteur (Espace de Stockage instantané) utilise le pseudo code suivant pour recevoir les données brutes afin de les normaliser.

Algorithm 2 Côté émetteur (Espace de Stockage instantané)

- 1: **While** Données reçues à partir de l'espace de stockage instantané **do**
 - 2: Nettoyer les des données brutes
 - 3: Convertir les données nettoyées en un format uniforme.
-

3. Stockage des données

Après avoir effectué la normalisation des données, il devient essentiel de les stocker dans un espace dédié en un format uniforme. Étant donné le caractère volumineux de ces données, la nécessité se fait sentir d'opter pour une solution de stockage efficace, telle que MongoDB, une base de données NoSQL.

L'algorithme suivant décrit les étapes à suivre pour stocker des données hétérogènes dans un espace de stockage permanent.

Algorithm 3 Côté récepteur (Espace de stockage des données permanent)

- 1: **While** Données reçues en un format uniforme **do**
 - 2: Stocker les données permanent.
-

4. système de recommandation et surveillance

En analysant en temps réel les données stockées, le système peut générer des recommandations personnalisées pour le patient, tout en déclenchant des alertes instantanées en cas de situations critiques, offrant ainsi une surveillance continue et réactive de son suivi glycémique.

2.9 La surveillance en temps réel

Dans la gestion du diabète, la surveillance continue des niveaux de glucose est cruciale. Les systèmes de surveillance en temps réel offrent des fonctionnalités avancées telles qu'une flèche de tendance et un code couleur pour indiquer l'intensité et l'évolution du taux de glucose. De plus, le suivi à distance par les professionnels de la santé joue un rôle crucial dans la gestion efficace du diabète.

2.10 Direction et Vitesse des Changements de Glucose

Notre système de surveillance de la glycémie en temps réel fournit une flèche de tendance, utile pour la gestion du diabète en indiquant les variations de taux de glucose. (Table 11) [1].

Flèche de Tendance	Description
↑	Glucose monte vite > 2 mg/dL par minute
↗	Glucose monte 1 à 2 mg/dL par minute
→	Glucose varie lentement < 1 mg/dL par minute
↘	Glucose baisse 1 à 2 mg/dL par minute
↓	Glucose baisse vite > 2 mg/dL par minute

TABLE 11 – Direction et Vitesse des Changements de Glucose

2.11 Interprétation des Valeurs de Glucose par Code Couleur

Notre système utilise des codes couleur pour interpréter rapidement les valeurs de glucose, fournissant ainsi une indication de leur niveau par rapport aux plages cibles. (Table 12) [1].

... Est très élevé (> 240 mg/dL)
... Est hors de la plage cible paramétrée mais entre 240 mg/dL et 70 mg/dL
... Est dans la plage cible paramétrée
... Est bas (< 70 mg/dL)

TABLE 12 – Interprétation des Valeurs de Glucose par Code Couleur.

2.12 Le système de recommandation

Notre système intègre un processus de recommandations personnalisées en fonction des niveaux de glycémie mesurés. Lorsque les valeurs de glycémie sont **très élevées (au-dessus de 240 mg/dL)**, des conseils sont fournis pour aider à réduire les niveaux de glycémie, tels que

éviter les aliments riches en sucre long et en glucides, et consulter un professionnel de la santé pour ajuster le traitement si nécessaire.

De même, lorsque les niveaux de glycémie sont **très bas (moins de 70 mg/dL)**, le système propose des recommandations pour augmenter la glycémie rapidement, telles que la consommation d'aliments contenant du sucre long ou du glucose.

Pour les niveaux de glycémie dans **la plage cible (entre 70 et 110 mg/dL)**, des félicitations sont offertes avec des conseils pour maintenir une glycémie stable grâce à une alimentation équilibrée et à éviter l'exercice physique.

En outre, Le système offre des recommandations de suivi post-diagnostique pour tous les types de diabète, mettant l'accent sur la surveillance régulière de la glycémie.

2.13 Conclusion

Durant ce chapitre, nous avons plongé dans les détails de la maladie du diabète, explorant ses différents aspects. Ensuite, nous avons examiné le processus de conception de notre système, y compris la sélection et le traitement du dataset, la construction de modèles d'IA, et la conception de l'architecture de l'IoMT. Enfin, nous avons abordé le développement des recommandations personnalisées, offrant ainsi une vue d'ensemble complète de notre approche pour améliorer la gestion du diabète à travers une solution intelligente.

Chapitre 3

Implémentation et test du système

3.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons détaillé la conception de notre solution. Dans cette section, nous explorerons les outils logiciels que nous avons employés et la mise en œuvre de notre application. En conclusion, nous conduirons une série de tests pour valider l'efficacité et la fonctionnalité de notre application.

3.2 Environnement de développement

3.2.1 Outils de programmation

✓ **Visual Studio Code** : Visual Studio Code est un éditeur de code source puissant pour Windows, macOS et Linux, avec prise en charge de JavaScript, TypeScript et Node.js. Il offre un écosystème d'extensions varié pour de nombreux langages de programmation [27].

✓ **MongoDB Compass** : MongoDB Compass est une interface graphique robuste qui facilite l'interrogation, l'agrégation et l'analyse des données MongoDB dans un environnement visuel convivial. Cette solution est gratuite et open source, et elle est disponible pour les utilisateurs de macOS, Windows et Linux [28].

✓ **Jupyter notebook** Le Jupyter Notebook est une application web open-source permettant de créer et de partager des documents. Anciennement appelé IPython Notebooks, il s'agit d'un environnement de calcul interactif basé sur le web permettant aux utilisateurs de Python de créer des documents notebooks [9].

3.2.2 Back-end

✓ **Python** :Python est le langage de programmation open source le plus employé par les informaticiens. Ce langage s'est propulsé en tête de la gestion d'infrastructure, d'analyse de données ou dans le domaine du développement de logiciels [24].

✓ **Django** Django est un framework Web Python de haut niveau qui encourage un développement rapide et une conception épurée et pragmatique. Construit par des développeurs expérimentés, il prend en charge une grande partie des tracas du développement Web, permettant de se concentrer sur l'écriture de l'application sans avoir à réinventer la roue. Il est gratuit et open source [12].

✓ **MongoDB** MongoDB est un programme de gestion de base de données NoSQL open source. NoSQL (Not Only SQL) est utilisé comme alternative aux bases de données relationnelles traditionnelles. Les bases de données NoSQL sont très utiles pour travailler avec de grands ensembles de données distribuées. MongoDB est un outil qui permet de gérer des informations orientées documents, de stocker ou de récupérer des informations[43].

3.2.3 Front-end

✓ **HTML** :HTML (Hyper Text Markup Language) est un langage de balises utilisé pour structurer et donner du sens au contenu web [29].

✓ **CSS** :CSS (Cascading Style Sheets) est un langage de règles de style utilisé pour mettre en forme le contenu HTML [29].

✓ **JavaScript** :JavaScript est un langage de programmation qui permet de créer du contenu mis à jour de façon dynamique [29].

✓ **Bootstrap** :Bootstrap est le framework CSS le plus populaire pour le développement de sites Web réactifs et mobiles [45].

3.2.4 Bibliothèques utilisées

✓ **TensorFlow** :TensorFlow est une bibliothèque logicielle open source utilisée pour le calcul numérique haute performance, conçue pour offrir une flexibilité maximale dans le déploiement sur diverses plateformes. Il est largement utilisé pour l'apprentissage automatique et profond [37].

✓ **Scikit-learn** : Scikit-learn est une bibliothèque open source d'analyse de données, largement utilisée dans l'écosystème Python pour l'apprentissage automatique (ML). Elle propose une variété de méthodes algorithmiques pour la prise de décision, incluant la classification, la régression et le clustering [3].

✓ **Pandas** : La bibliothèque de logiciels open source Pandas est spécialement conçue pour la manipulation et l'analyse de données en Python. Elle offre une puissance, une flexibilité et une facilité d'utilisation remarquables [10].

✓ **Djongo** : Djongo fonctionne comme un transpilateur de requêtes SQL vers MongoDB, permettant ainsi de traduire aisément une requête SQL en une requête MongoDB. Cette conversion permet de conserver intactes toutes les fonctionnalités, les modèles, et autres composants de votre application Django [35].

✓ **Pymongo** : La distribution PyMongo contient des outils pour interagir avec la base de données MongoDB à partir de Python. Le package pymongo est un pilote Python natif pour MongoDB [34].

✓ **Channels** : Channels est un projet qui étend les capacités de Django au-delà du protocole HTTP en ajoutant la gestion des WebSockets, des protocoles de discussion, des protocoles IoT, etc. Il repose sur la spécification Python appelée ASGI. Channels exploite la prise en charge native d'ASGI dans Django, offrant la possibilité de gérer des connexions autres que HTTP de manière synchrone ou asynchrone [13].

✓ **Daphne** : Daphné est un serveur de protocole HTTP, HTTP2 et WebSocket conçu pour ASGI (Asynchronous Server Gateway Interface) et ASGI-HTTP. Il a été développé pour alimenter les canaux Django, une fonctionnalité de Django permettant la communication en temps réel entre le serveur et le client [41].

✓ **Reportlab** : Il s'agit d'une bibliothèque logicielle qui permet de créer directement des documents au format PDF (Portable Document Format) d'Adobe à l'aide du langage de programmation Python. Il crée également des graphiques et des graphiques de données dans divers formats bitmap et vectoriels ainsi qu'au format PDF [38].

✓ **Pygame** : Pygame est une bibliothèque multiplateforme gratuite et open-source pour le développement d'applications multimédias comme les jeux vidéo à l'aide de Python [36].

✓ **Matplotlib** : Matplotlib est une bibliothèque complète permettant de créer des images statiques, animées, et des visualisations interactives en Python [25].

3.3 Cas d'étude

Nous avons choisi de développer un modèle de diagnostic du **diabète gestationnel** comme un cas d'étude afin de diagnostiquer le type de diabète.

3.3.1 Dataset

Le dataset sur le diabète gestationnel, initialement constitué de 3525 échantillons, est disponible sur la plateforme Kaggle. En collaboration avec un expert du domaine, le Dr. Oudjer, nous avons restreint l'ensemble à 3012 échantillons, comprenant 16 caractéristiques décrivant

des attributs médicaux essentiels pour prédire le diabète chez les femmes enceintes. Il convient de noter que ce dataset date de l'année 2022 [40].

le tableau suivant montre une description de ce jeu de données :

Attribut	Description
index	Indice de référence pour chaque entrée dans le dataset.
Age	Âge de la patiente.
No of Pregnancy	Le nombre de grossesses antérieures de la patiente .
Gestation in previous Pregnancy	Nombre de fois de diabète gestationnel précédent.
HDL	Le taux de cholestérol HDL (lipoprotéines de haute densité) dans le sang.
Family History	Indique si la personne a des antécédents familiaux de diabète ou d'autres conditions médicales pertinentes.
unexplained prenatal loss	Indique s'il y a eu des pertes fœtales inexplicables antérieures.
Large Child or Birth Default	Indique si la personne a donné naissance à un enfant de poids élevé ou a eu des complications à la naissance.
PCOS	Indique si la personne a le syndrome des ovaires polykystiques (PCOS), une condition médicale qui peut affecter la fertilité et le métabolisme.
Sys BP	La pression artérielle systolique de la personne.
Dia BP	La pression artérielle diastolique de la personne.
OGTT	Le test de tolérance au glucose oral (OGTT) mesure la capacité du corps à métaboliser le glucose.
Hemoglobin	Le taux d'hémoglobine dans le sang.
Sedentary Lifestyle	Indique si la personne mène un style de vie sédentaire, caractérisé par un manque d'exercice physique régulier.
Prediabetes	Indique si la personne est à risque de développer un diabète de type 2, mais n'a pas encore atteint le seuil pour être classée comme diabétique.

TABLE 13 – Description des Attributs du Dataset du Diabète Gestationnel.

3.3.2 Prétraitement des Données

Dans cette partie, nous examinons le processus de prétraitement des données, une étape essentielle visant à assurer la qualité, la cohérence et la fiabilité des informations analysées. Il est à noter que le dataset dont nous disposons est **équilibré**, facilitant ainsi une analyse juste et impartiale. Plus précisément, le pourcentage de cas de diabète gestationnel (GDM) représente **45.55%** du dataset, tandis que le pourcentage de cas de non-diabète gestationnel (non-GDM) représente **54.45%**. De plus, toutes les caractéristiques de ce dataset sont numériques, ce qui nous a dispensés de recourir à une catégorisation.

```
# Calcul des pourcentages
nombre_gdm=1372
nombre_non_gdm =1640
nombre_total_lignes=3012
pourcentage_gdm = (nombre_gdm / nombre_total_lignes) * 100
pourcentage_non_gdm = (nombre_non_gdm / nombre_total_lignes) * 100

# Affichage des résultats
print("Pourcentage de GDM : {:.2f}%".format(pourcentage_gdm))
print("Pourcentage de non GDM : {:.2f}%".format(pourcentage_non_gdm))
```

```
Pourcentage de GDM : 45.55%
Pourcentage de non GDM : 54.45%
```

FIGURE 7 – pseudo-code de verification de l'équilibrage du dataset.

3.3.2.1 Nettoyage des données

Pour assurer la qualité de notre ensemble de données, nous avons entrepris un nettoyage rigoureux. Parmi les 16 caractéristiques initiales, 'HDL', 'bmi' et 'Sys BP' ont été supprimées en raison de valeurs manquantes importantes. Pour 'OGTT', plutôt que de supprimer toute la colonne, nous avons préféré supprimer sélectivement les échantillons avec des valeurs manquantes, représentant 14.55% des cas. De plus, 'Dia BP' a été retirée car elle est complémentaire avec 'Sys BP', et la colonne d'index a été supprimée pour sa non-pertinence, et la suppression de la colonne Hemoglobine a été décidée après consultation d'un professionnel de la santé, étant donné qu'elle n'est pas pertinente pour déterminer la présence ou non du diabète gestationnel chez la patiente, dans le souci de maintenir la qualité des données.

```

# suppression les colonnes
df = df.drop(columns=['HDL'])
df = df.drop(columns=['Hemoglobin'])
df = df.drop(columns=['Case Number'])
df = df.drop(columns=['Dia BP'])
df = df.drop(columns=['Sys BP'])
df = df.drop(columns=['bmi'])
# suppression des lignes qui sont null
df = df.dropna(subset=['OGTT'])

```

FIGURE 8 – pseudo-code du nettoyage.

3.3.3 Construction du Modèle de diagnostic du Type du Diabète Gestationnel

Nous avons construit un modèle de diagnostic du diabète gestationnel en utilisant un réseau de neurones profond (DNN). Pour cela, nous avons divisé les données en ensembles d'entraînement et de test. Ensuite, nous avons défini l'architecture du modèle DNN, comprenant cinq couches cachées avec des fonctions d'activation relu, chacune suivie d'une couche de désactivation (dropout) pour éviter le surapprentissage. La dernière couche du modèle utilise une activation 'sigmoid' pour la classification binaire. Après avoir compilé le modèle avec l'optimiseur 'adam' et la fonction de perte 'binary_crossentropy', nous l'avons entraîné sur les données d'entraînement pendant 50 époques. Enfin, nous avons évalué les performances du modèle sur l'ensemble de test en calculant des mesures telles que la précision, le rappel, le score F1 et la matrice de confusion.

```

25
26 model = Sequential([
27     Dense(128, activation='relu', input_shape=(X_train.shape[1],)),
28     Dropout(0.5),
29     Dense(256, activation='relu'),
30     Dropout(0.5),
31     Dense(512, activation='relu'),
32     Dropout(0.5),
33     Dense(256, activation='relu'),
34     Dropout(0.5),
35     Dense(128, activation='relu'),
36     Dropout(0.5),
37     Dense(1, activation='sigmoid')])
38
39 model.compile(optimizer='adam',
40               loss='binary_crossentropy',
41               metrics=['accuracy', metrics.Precision(), metrics.Recall(), metrics.AUC(name='auc')])
42
43 model.fit(X_train, y_train, epochs=50, batch_size=32, validation_split=0.2)
44

```

FIGURE 9 – pseudo-code du Modèle du Diabète gestationnel.

3.4 Les interfaces

3.4.1 Page d'accueil

Lorsqu'un utilisateur tente d'accéder à notre application via son navigateur Web, il est automatiquement redirigé vers la page d'accueil de la plate-forme (figure 10).

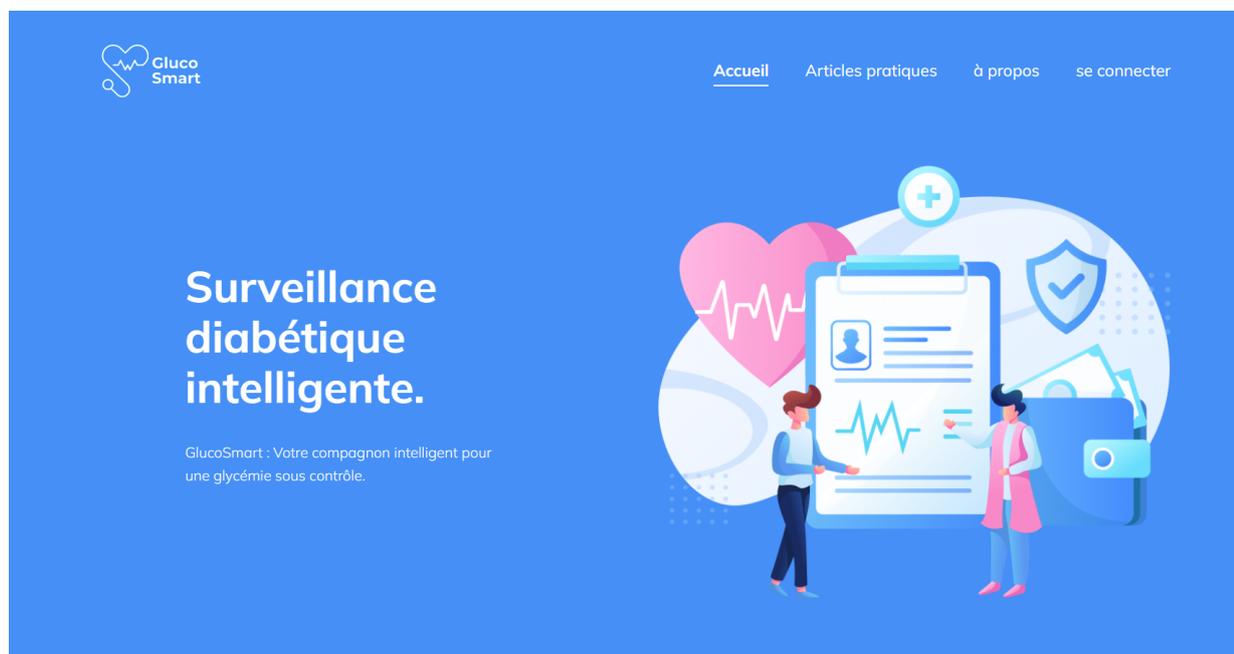


FIGURE 10 – Page d'accueil.

3.4.2 Connexion et Inscription

L'utilisateur est accueilli par une page de bienvenue avec des options pour se connecter ou s'inscrire.

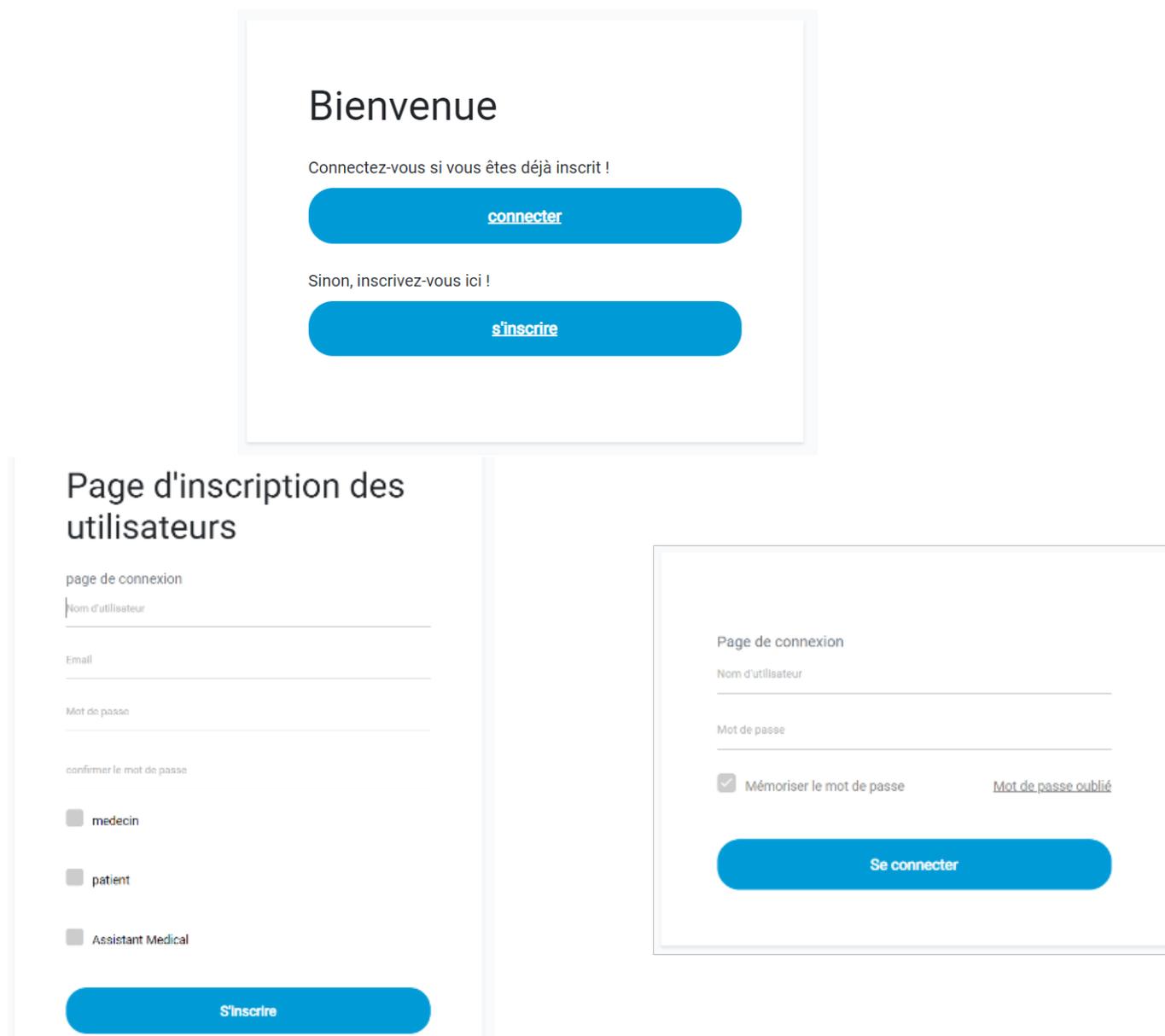


FIGURE 11 – Page de connexion et inscription.

3.4.3 Espace Médecin

Après l'inscription et la connexion, l'utilisateur de type médecin accède au tableau de bord avec un calendrier interactif affichant les rendez-vous confirmés par l'assistant médical.

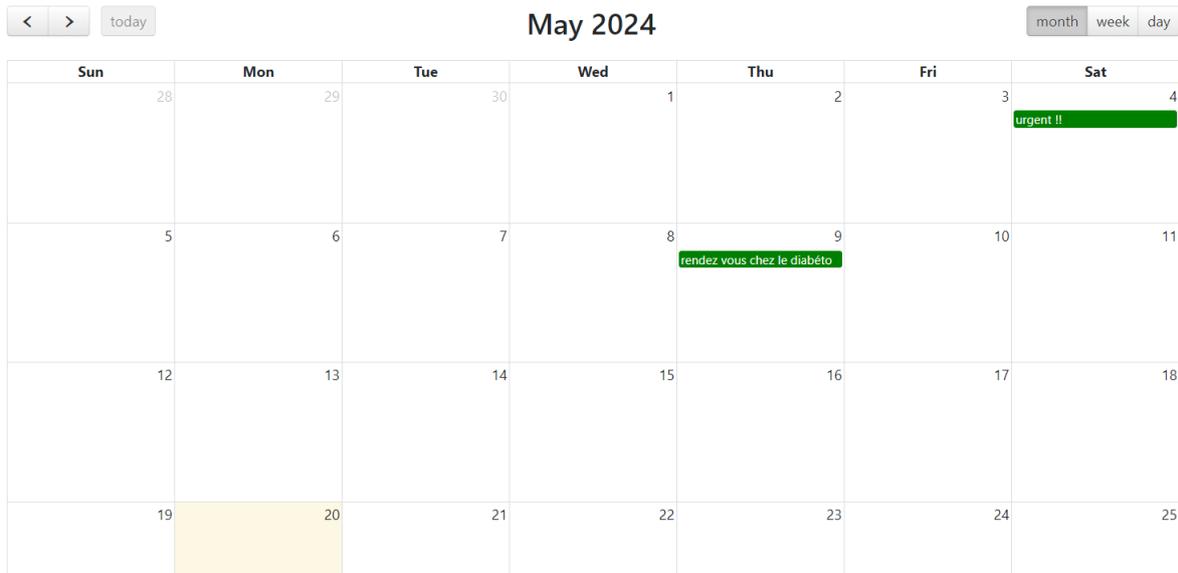


FIGURE 12 – Tableau de bord du médecin .

Comme le montre la figure 13, le médecin peut faire des diagnostics sur le diabète ainsi que sur le type de diabète gestationnel.

Prédicteur du Diabète

Sexe:

Age:

Hypertension:

Maladie cardiaque:

Historique de tabagisme:

IMC:

hémoglobine glyquée:

Taux de glucose sanguin (mg/dL):

Corps cétoniques:

Groupe Sanguin :

Prédicteur du Diabète Gestationnel

Age:

Nombre de grossesses:

Gestation lors de la grossesse précédente:

Antécédents Familiaux:

Perte Prénatale Inexpliquée:

Gros Bébé ou Défaut de Naissance:

syndrome des ovaires polykystiques (PCOS):

Test de Tolérance au Glucose Oral (OGTT):

Mode de vie sédentaire:

Prédiabète:

FIGURE 13 – Les prédicteurs.

Le médecin peut accéder aux listes des patients diagnostiqués avec diabète et avec diabète gestationnel.



Patientes diagnostiquées avec diabète gestationnel

Patient_id	Nom	Prénom	Téléphone	Age	Email	prediction	📊 nutrition	🏃 activité	📶 IOMT	actions
7	patient4	patient4	0123456789	31.0	patient4@gmail.com	GDM	 	 	 	 
10	patient3	patient3	0123456787	43.0	patient3@gmail.com	GDM	 	 	 	 

[Ajouter un nouveau patient](#)

FIGURE 14 – Patientes diagnostiquées avec diabète gestationnel.



Patients diagnostiqués avec diabète

patient_id	Nom	Prénom	Téléphone 1	Email	Prediction	📊 nutrition	🏃 activité	📶 IOMT	Actions	Telecharger document
7	patient1	patient1	0123456788	patient1@gmail.com	diabétique	 	 	 	 	
8	patient2	patient2	0987654321	patient2@gmail.com	diabétique	 	 	 	 	

[Ajouter un nouveau patient](#)

FIGURE 15 – Patients diagnostiqués avec diabète.

3.4.4 Espace Patient

Après l’inscription et la connexion, l’utilisateur de type patient accède à un tableau de bord avec plusieurs fonctionnalités clés. La zone de valeur issue du capteur affiche en temps réel les mesures de glycémie, avec une alarme se déclenchant lorsque ces valeurs dépassent les seuils prédéfinis. Un graphique interactif visualise les tendances de glycémie, et une zone de recommandations personnalisées offre des conseils adaptés aux données de glycémie du patient. De plus, une alerte informe le patient de l’approche d’un rendez-vous médical, aidant à gérer efficacement les consultations.

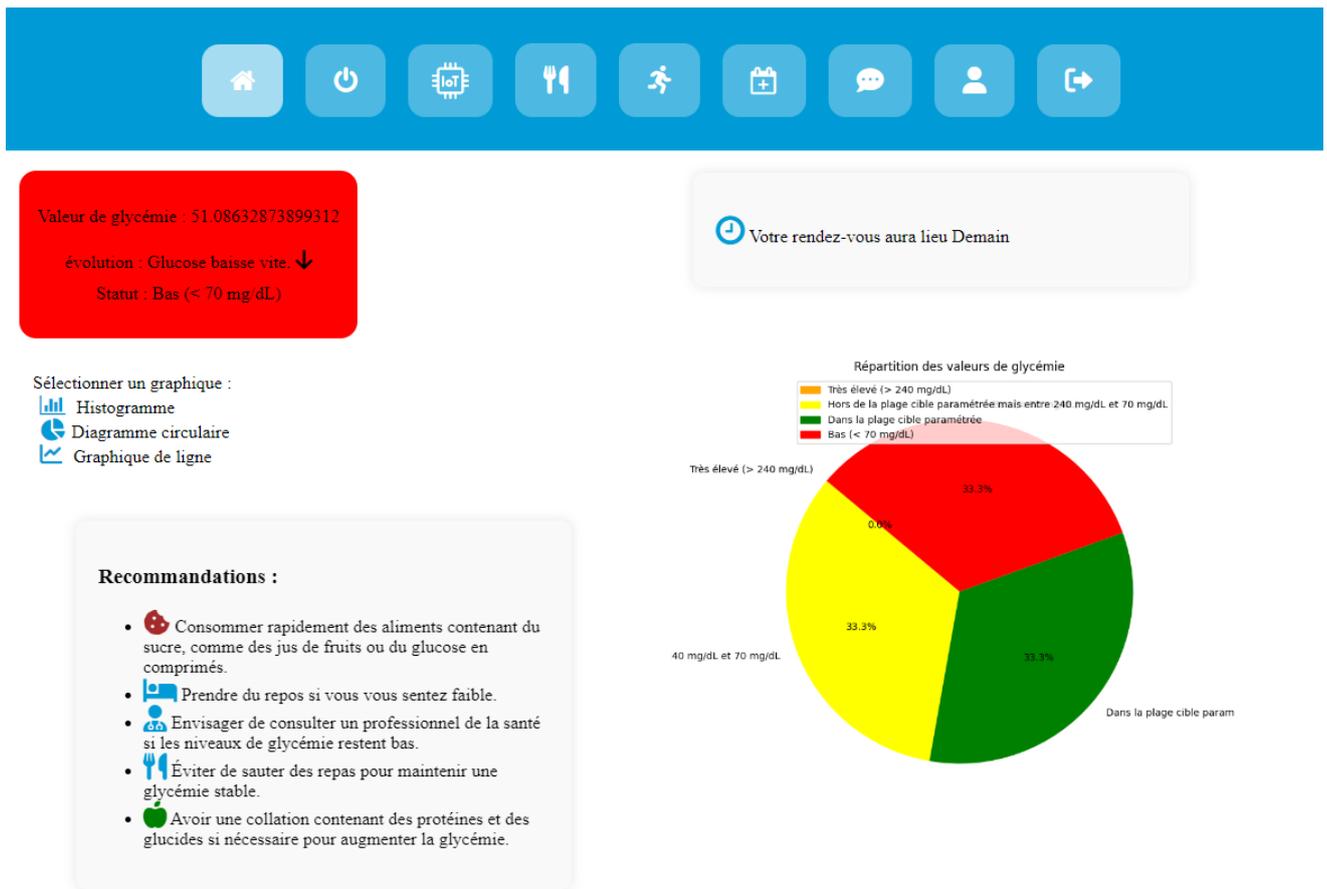


FIGURE 16 – Tableau de bord du patient.

La figure 17 illustre une messagerie intégrée permettant une communication directe entre le médecin et le patient.

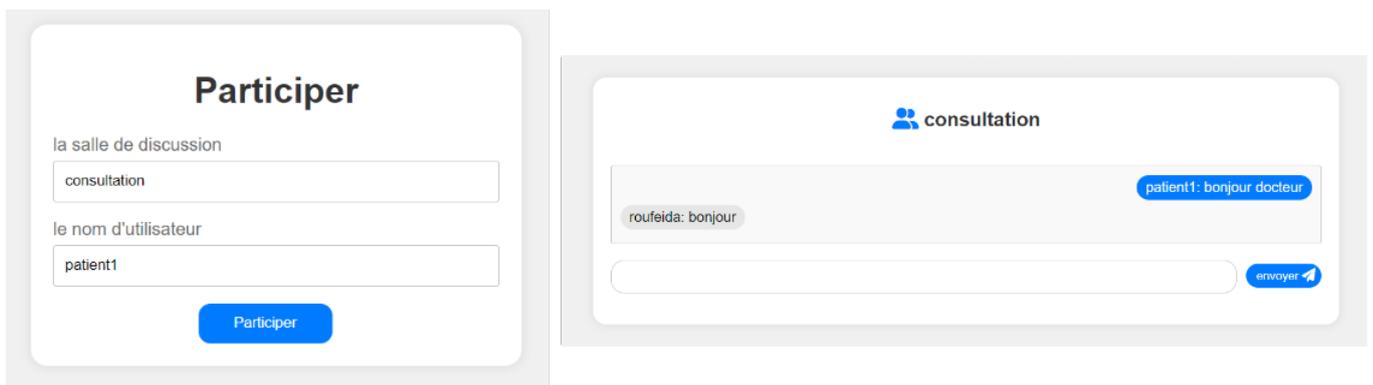


FIGURE 17 – Messagerie.

3.4.5 Espace Assistant médical

Après l'inscription et la connexion, l'utilisateur de type assistant médical accède à un tableau de bord avec un calendrier interactif qui répertorie les rendez-vous confirmés, comme le montre la figure 18.

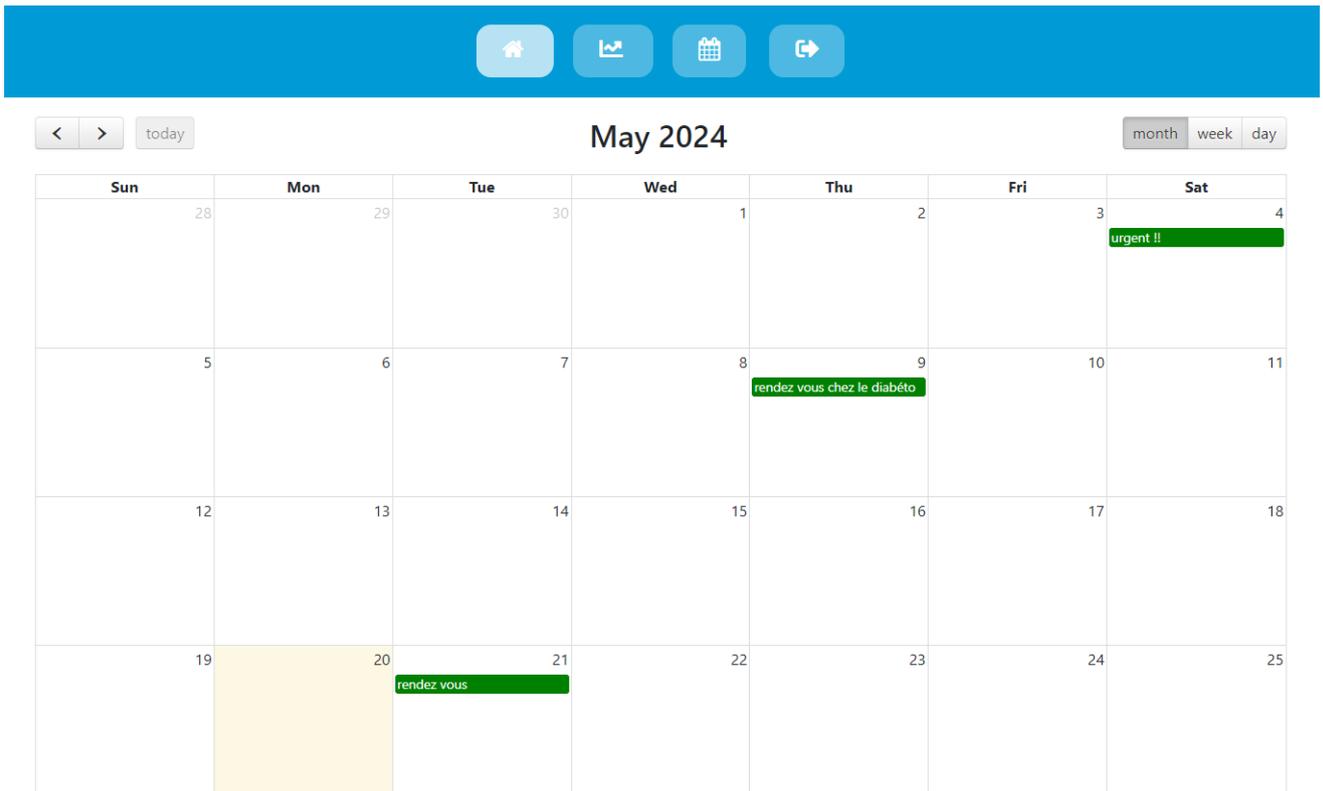


FIGURE 18 – Espace Assistant médical.

La figure 19 montre une liste des demandes de rendez-vous des patients, où l’assistant médical peut traiter les demandes en attente en les acceptant ou les refusant.

Liste des demandes de rendez-vous

Nom du patient	Prénom du patient	ID de la demande	Date	Description	État	Traiter	Actions
patient1	patient1	16	May 21, 2024	rendez vous	refusee		
patient2	patient2	17	May 4, 2024	rendez-vous en urgence	refusee		
patient2	patient2	18	May 12, 2024	rendez vous chez le diabéto	acceptee		

FIGURE 19 – liste des demandes de rendez-vous.

3.5 Validation du système

le processus de validation de notre système s’est déroulé en deux phases :

- La validation en consultant l’expert du domaine.
- La validation par les mesures de performance.

3.5.1 La validation en consultant l'expert du domaine

Après avoir construit notre modèle de diagnostic du diabète, nous l'avons validé en le testant avec l'aide du Dr Oudjer. Nous avons sélectionné un échantillon de patients pour garantir la représentativité. Chaque cas a été évalué à la fois par notre modèle et par le Dr Oudjer, assurant ainsi la fiabilité de notre approche.

ID patient	Données de Test	Diagnostic du Modèle	Diagnostic du Médecin
1	[Femelle, Age : 65, Hypertension : oui, Heart disease : oui, Smoking history :jamais, Bmi : 25, HbA1c level : 9, Blood glucose level :215, Ketones : négatif]	diabétique	diabétique
2	[Femelle, Age : 79, Hypertension : oui, Heart disease : non, Smoking history :jamais, Bmi : 33, HbA1c level : 7, Blood glucose level :120, Ketones : négatif]	diabétique	diabétique

TABLE 14 – Validation du Modèle de Diagnostic du Diabète par Comparaison avec les Diagnostics Médicaux.

Chaque ligne du tableau correspond à un patient, avec les données de test, le diagnostic du modèle et le diagnostic du médecin. Pour les deux patients présentés, les diagnostics du modèle concordent avec les diagnostics médicaux, indiquant une correspondance entre le modèle et l'expertise médicale.

3.5.2 La validation par les mesures de performance

1. **Matrice de confusion** Le Machine Learning consiste à nourrir un algorithme à l'aide de données afin qu'il apprenne par lui-même à effectuer une certaine tâche. Dans les problèmes de classification, il prédit des résultats que l'on doit comparer à la réalité pour mesurer son degré de performance. On utilise généralement **la matrice de confusion**, appelée aussi **tableau de contingence**. Elle mettra non seulement en valeur les diagnostics corrects et incorrects, mais nous fournira également un indice sur le type d'erreurs commises. Pour calculer une matrice de confusion, on a besoin d'un ensemble de données de test et d'un autre de validation, contenant les valeurs des résultats obtenus.

Chaque colonne du tableau contient une classe prédite par l'algorithme et les lignes des classes réelles. [8].

		Actual Value	
		Positive [have disease]	Negative [no disease]
Predicted Value	Positive [have disease]	TP	FP
	Negative [no disease]	FN	TN

FIGURE 20 – Matrice de confusion [8].

On classe les résultats en 4 catégories :

- **Vrais positifs (TP)** : La valeur du diagnostic et la valeur réelle sont positives [8].
Exemple : Une personne malade et prévu malade.
 - **Vrais négatifs (TN)** : Le diagnostic et la valeur réelle sont négatifs [8].
Exemple : Une personne saine et prévu saine.
 - **Faux positifs (FP)** : Le diagnostic est positif alors que la valeur réelle est négative [8].
Exemple : Une personne saine et prévu malade.
 - **Faux négatifs (FN)** : Le diagnostic est négatif alors que la valeur réelle est positive [8]. [8].
Exemple : Une personne malade et prévu saine.
2. **Exactitude** Ce paramètre fait la somme de tous les vrais positifs et vrais négatifs qu'il divise par le nombre total d'instances. Il permet d'apporter une réponse à la question suivante : **de toutes les classes positives et négatives, combien parmi elles ont été prédites correctement ?** Des valeurs élevées de ce paramètre sont souvent souhaitables [26].

$$\text{Exactitude} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}}$$

3. **Précision** La précision indique le rapport entre les prévisions positives correctes et le nombre total de prévisions positives. Ce paramètre répond donc à la question suivante : **sur tous les enregistrements positifs prédits, combien sont réellement positifs ?** [26].

$$\text{Précision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}}$$

4. **Rappel** Le rappel (ou recall en anglais) est un paramètre qui permet de mesurer le nombre de prévisions positives correctes sur le nombre total de données positives. Il permet de répondre à la question suivante : **sur tous les enregistrements positifs, combien ont été correctement prédits ?** [26].

$$\text{Rappel} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}$$

5. **Score F1** Le score F1 (ou F-measure en anglais) est une moyenne harmonique de la précision et du rappel. Sa valeur est maximale lorsque le rappel et la précision sont équivalents [26].

$$\text{score F1} = 2 \times \frac{\text{Précision} \times \text{Rappel}}{\text{Précision} + \text{Rappel}}$$

Nous avons comparé les performances en termes d'exactitude, de précision, de rappel et de score F1 entre quatre algorithmes : SVM, Random Forest, Réseau de Neurones Classique et Réseau de Neurones Profond.

	Accuracy	Précision	rappel	F1 score
SVM	0.8970	0.9345	0.8298	0.8790
Random Forest	0.9145	0.9595	0.9325	0.9512
Réseau de Neurones Simple	0.8754	0.8536	0.8735	0.8634
Réseau de Neurones Profond	0.9737	0.9986	0.9574	0.9703

TABLE 15 – Comparaison des Performances des Modèles de Diagnostic du Diabète.

Les histogrammes suivants comparent **les performances de quatre algorithmes** de diagnostic du diabète.

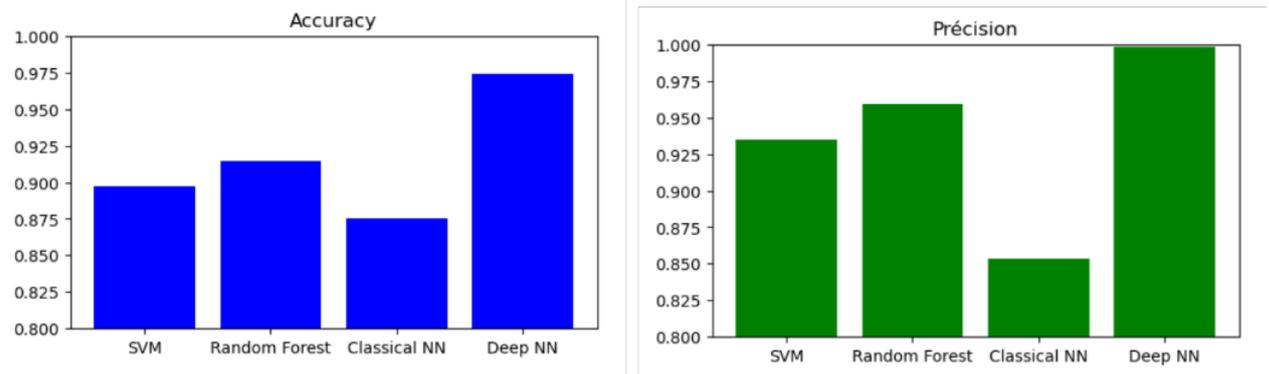


FIGURE 21 – histogramme 2 : Étude comparative de la Précision, Exactitude entre quatre algorithmes

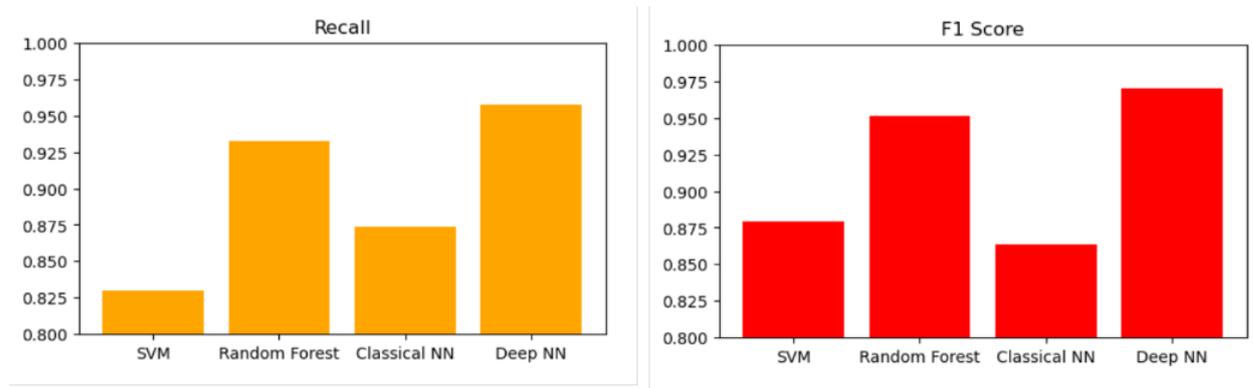


FIGURE 22 – Étude comparative de le F1 score, Rappel entre quatre algorithmes.

3.6 Discussion

3.6.1 Analyse des résultats obtenus

- **SVM** : Le SVM montre une bonne **précision de 0,9345** mais **un rappel plus faible de 0,8298**, ce qui indique qu'il pourrait manquer certains cas positifs dans le diagnostic du diabète. Il convient mieux aux scénarios où minimiser les fausses alertes est crucial, comme pour éviter des diagnostics erronés de diabète.
- **Random Forest** : Le Random Forest offre une performance équilibrée et robuste, avec une **précision de 0,9595** et **un rappel de 0,9325**. Cela le rend particulièrement utile pour des applications nécessitant un bon compromis entre précision et rappel, comme les systèmes de diagnostic du diabète où il est crucial de minimiser à la fois les faux positifs et les faux négatifs.
- **Réseau de Neurones Simple** : Pour le diagnostic du diabète, le Réseau de Neurones Simple est le moins performant avec **une précision de 0.8536** et **un rappel de 0.8735**, inférieurs aux autres modèles évalués. Il peut être utilisé pour des applications moins critiques ou comme référence pour améliorer d'autres modèles.

- **Réseau de Neurones Profond** : le Réseau de Neurones Profond est le modèle le plus performant sur toutes les métriques, avec **une précision de 0.9986** et **un rappel de 0.9574**. Elle excelle en précision et en recall, ce qui en fait un choix idéal pour des applications critiques nécessitant une haute précision et un faible taux de faux négatifs, comme dans le diagnostic clinique du diabète.

3.6.2 Comparaison : Notre Approche vs. Travaux existants

Comme montre le tableau 16, Notre approche se distingue des travaux existants par plusieurs innovations significatives. Contrairement aux méthodes précédentes qui se limitaient aux algorithmes de machine learning classiques, nous avons intégré des techniques avancées de deep learning, choisissant spécifiquement un algorithme avec les meilleures performances en termes de rappel, précision, F1-score et exactitude.

De plus, nous avons introduit un simulateur de valeurs de glycémie, une initiative absente dans la littérature existante, permettant une surveillance en temps réel et des recommandations personnalisées basées sur les données individuelles des patients. Pour gérer efficacement le volume de données générées, nous avons opté pour une base de données NoSQL, évitant ainsi les limitations des bases de données traditionnelles.

Enfin, nous avons également intégré un rôle dédié aux médecins dans notre système, facilitant ainsi le suivi continu et personnalisé des patients diabétiques, visant à améliorer la qualité des soins et la gestion globale de la maladie.

Notre approche	Approches des travaux existants
Utilisation de techniques avancées de deep learning.	Limitation aux algorithmes de machine learning classiques.
Intégration d'un simulateur de valeurs de glycémie.	Absence d'initiative similaire dans la littérature existante.
Utilisation d'une base de données NoSQL.	Utilisation de bases de données traditionnelles.
Intégration d'un rôle dédié aux médecins.	Absence de rôle dédié aux médecins dans les systèmes existants.

TABLE 16 – Comparaison entre notre approche et les approches des travaux existants.

Nous avons apporté des contributions significatives au domaine de la recherche, notamment les suivantes :

- Système de diagnostic du diabète développé à l'aide d'algorithmes de machine learning et de deep learning, privilégiant un réseau de neurones profond pour des performances élevées.
- Intégration de la technologie IoT avec un simulateur générant des mesures de glycémie toutes les deux minutes, permettant une surveillance en temps réel et des recommandations personnalisées.

- Utilisation d'une base de données NoSQL pour gérer efficacement le volume important de données générées et ouvrir la voie à des applications cliniques innovantes dans la gestion proactive du diabète.
- Intégration d'un rôle dédié aux médecins dans notre système, facilitant ainsi le suivi continu et personnalisé des patients diabétiques, visant à améliorer la qualité des soins et la gestion globale de la maladie.

3.7 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de présenter la conception et la réalisation de notre solution visant à améliorer la gestion du diabète. En détaillant les ressources logicielles utilisées et en exposant la mise en œuvre de notre application, nous avons mis en lumière les étapes cruciales de notre processus de développement. Les tests réalisés ont confirmé la robustesse et l'efficacité de notre application, jetant ainsi les bases d'une gestion plus efficace de cette maladie chronique. Nous soulignons également que ce cas d'étude a été validé par le Dr. OUDJER, médecin en diabétologie, exerçant au service de diabétologie de l'hôpital de Faubourg Blida.

conclusion et perspective

Conclusion

Ce mémoire représente le résultat de six mois de recherche intensive dans le domaine de la surveillance et de la prise en charge du diabète grâce aux technologies de l'Internet des Objets (IoT). À travers une étude approfondie de l'état de l'art, nous avons dressé un panorama complet des travaux existants et des avancées réalisées dans ce domaine, illustrant notre engagement à explorer les possibilités offertes par l'IoT pour améliorer la gestion du diabète.

Dans la deuxième phase de notre étude, en collaboration avec des experts, nous avons conçu et validé des modèles de diagnostic du diabète, en exploitant à la fois les techniques de machine learning et de deep learning. Notre approche méthodologique rigoureuse nous a permis de mettre en place un processus détaillé pour la création de notre système, décrivant les étapes clés et l'architecture de l'IoMT que nous avons suivies.

En outre, dans la dernière étape de notre recherche, nous avons concrétisé notre conception en développant une application web innovante, intégrant des fonctionnalités essentielles telles que le suivi en temps réel des patients diabétiques, la gestion du dossier médical et la gestion des alertes en cas d'urgence. Ces travaux ouvrent la voie à des solutions personnalisées et innovantes pour aider les patients diabétiques à mieux gérer leur condition et à améliorer leur qualité de vie.

De plus, ce projet a renforcé nos compétences en Python, Django et l'utilisation de diverses technologies telles que MongoDB. Ces connaissances acquises sont précieuses pour notre développement professionnel et pour la poursuite des recherches dans le domaine de l'Internet des Objets appliqué à la santé.

Cependant, nous avons identifié certaines limitations et suggestions pour les futures recherches. L'absence de capteurs réels d'IoMT limite l'acquisition de données en temps réel directement des patients. Il est également nécessaire de former le personnel médical sur l'intégration de l'IA dans le domaine médical. De plus, il existe un manque de datasets spécifiques pour les différents types de diabète. Nous proposons donc d'élargir l'intégration de l'IoMT pour couvrir tous les aspects de l'EHealth, notamment la surveillance continue et la gestion des maladies chroniques comme le diabète.

ces recommandations visent à améliorer l'impact de l'IoMT.

Perspective

Nous pouvons clôturer ce travail en envisageant d'autres perspectives, telles que :

- Optimiser les performances du modèle de diagnostic du diabète en explorant de nouvelles techniques et en affinant les paramètres existants.
- Élaborer des modèles de diagnostic spécifiques pour les différents types de diabète, afin de fournir des outils de diagnostic et de suivi plus précis.
- Développer un système avancé de recommandations personnalisées, basé sur l'analyse approfondie des données médicales, pour offrir un accompagnement adapté et efficace aux patients dans leur gestion quotidienne de la maladie.
- Mettre en place une infrastructure robuste pour le stockage et la gestion efficace des données massives provenant des dispositifs IoMT dans une base de données NoSQL.

Bibliographie

- [1] Abbott (2023). Freestyle libre - système flash de la mesure du glucose. Consulté le 23 Avril 2024. <https://www.freestyle.abbott/>.
- [2] Abdollahi, J., Moghaddam, B. N., and Parvar, M. E. (2019). Improving diabetes diagnosis in smart health using genetic-based ensemble learning algorithm approach to iot infrastructure. *Future Generation Computer Systems*, 1(2).
- [3] ActiveState (s.d.). What is scikit-learn in python? Consulté le 28 avril 2024, de <https://www.activestate.com/resources/quick-reads/what-is-scikit-learn-in-python/>.
- [4] Afouf, O. (2020). Développement d'un système d'iot (internet of things) dans le cadre de smart university. Master's thesis, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, Oum El Bouaghi, Algérie. Option : Vision Artificielle.
- [5] Bekhelifi, O. (2013). Support vector machines : A brief overview. *Reussir le M2 Info*, page 3.
- [6] Benstaali, K. and Benmesbah, S. (2022). Modélisation des connaissances incertaines dans l'internet des objets (iot) : Contexte des objets connectés médicaux. Master's thesis, Université Saad Dahleb de Blida, Blida, Algérie.
- [7] Bhatia, M., Kaur, S., Sood, S. K., and Behal, V. (2020). Internet of things-inspired healthcare system for urine-based diabetes prediction. *Artificial Intelligence in Medicine*. À paraître dans Artificial Intelligence in Medicine.
- [8] DataScientest (2024). Matrice de confusion : définition et explications. Consulté le 2 mai 2024, de <https://datascientest.com/matrice-de-confusion>.
- [9] DataScientest (s.d.a). Jupyter notebook : Tout savoir. Consulté le 2 mai 2024, de <https://datascientest.com/jupyter-notebook-tout-savoir>.
- [10] DataScientest (s.d.b). Pandas : The python library. Consulté le 28 avril 2024, de <https://datascientest.com/en/pandas-the-python-library>.

- [11] Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee (2018). Definition, classification and diagnosis of diabetes, prediabetes and metabolic syndrome. Brochure.
- [12] Django (s.d.). Django web framework. Consulté le 03 mai 2024, de <https://www.djangoproject.com/>.
- [13] Django Channels Documentation (s.d.). Canaux django. Consulté le 28 avril 2024, de <https://channels.readthedocs.io/en/latest/>.
- [14] Doe, J. and Smith, J. (2024). Integrated ensemble model for diabetes mellitus detection. *ResearchGate*.
- [15] Droua, S. and Terir, K. (2020). Gestion de la confidentialité des données pour les dispositifs iot (internet of things). Mémoire de fin d'étude, Université Mohamed Sadik Benyahia de Jijel, Jijel, Algérie. Mémoire de recherche en Informatique, Option : Informatique légale et multimédia.
- [16] Gherab, R. (2023). Software product line for healthcare platforms compatible with iomt. Master's thesis, Saad Dahleb University of Blida. Department of Computer Science, Faculty of Science.
- [17] Hadjadj, W. (2018). L'utilisation de n-version de programmation pour la prise en charge des fautes dans un environnement iot. Master's thesis, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie, Département De Mathématiques Et D'informatique.
- [18] Harfi, R. (2021). Amélioration des forêts aléatoires pour la classification des données médicales. Master's thesis, Badji Mokhtar – Annaba University. Mémoire de Master, Faculté des Sciences de l'Ingénierie, Département d'Informatique, Filière Informatique, Spécialité Intelligence Artificielle et Traitement de l'Information.
- [19] Hebbale, A., Vinay, G., Krishna, B. V., and Shah, J. (2021). Iot and machine learning based self care system for diabetes monitoring and prediction. In *Proceedings of the 2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*, Bangalore, India. Amrita School of Engineering, Bengaluru, Amrita Vishwa Vidyapeetham, India.
- [20] Hidouci, F. (2019). Réalisation et implémentation d'une application à base de protocole mqtt dans iot. Master's thesis, Université Mohamed Khider – BISKRA. Mémoire de Master académique en Informatique, Parcours : Réseaux et Technologies d'Informations et Télécommunications.
- [21] Jacquemet, S. (2013). Capteurs de surveillance du diabète. *Revue Médicale Suisse*, 609 :1146–1150.

- [22] Kaur, P., Kumar, R., and Kumar, M. (2019). A healthcare monitoring system using random forest and internet of things (iot). *Multimedia Tools and Applications*, 78(4) :4549–4567.
- [23] Labeled, M. (2021). Classification pour diagnostic du diabète utilisant les algorithmes d'apprentissage. Mémoire de master, Université Badji Mokhtar - Annaba. Faculté : Science de l'Ingénieur, Département : Informatique, Domaine : Informatique, Filière : Informatique, Spécialité : Système d'information décisionnel 'SID'.
- [24] Le Journal du Net (s.d.). Python : définition et utilisation de ce langage informatique. Consulté le 03 mai 2024, de <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/>.
- [25] Matplotlib (s.d.). Matplotlib : Visualisation avec python. Consulté le 28 avril 2024, de <https://matplotlib.org/>.
- [26] matrice-confusion (s.d.). Matrice de confusion : comment la lire et l'interpréter? Consulté le 17 mai 2024, de <https://www.jedha.co/formation-ia/matrice-confusion>.
- [27] Microsoft Corporation (s.d.). Visual studio code documentation. Consulté le 03 mai 2024, de <https://code.visualstudio.com/Docs>.
- [28] MongoDB (s.d.). MongoDB compass documentation. Consulté le 03 mai 2024, de <https://www.mongodb.com/docs/compass/current>.
- [29] Mozilla Developer Network (s.d.). What is javascript ? - mdn web docs. Consulté le 21 avril 2024, de https://developer.mozilla.org/fr/docs/Learn/JavaScript/First_steps/What_is_JavaScript.
- [30] Mustafa, I. (2023). Diabetes prediction dataset. Consulté le 03 janvier 2024, de <https://www.kaggle.com/datasets/iammustafatz/diabetes-prediction-dataset>.
- [31] Nawel, K. and Yasmine, M. (2020). Classification de polarité d'opinions à base d'aspects à l'aide de l'apprentissage profond. Mémoire de fin d'étude de master académique, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Faculté du Génie Électrique et Informatique, Département d'Informatique, Spécialité Système Informatique. Année universitaire 2019-2020.
- [32] PhysioPharmLab (2023). Diabète : Près de 4 millions de diabétiques en algérie. *PhysioPharmLab*.
- [33] Plouin, G. and Colomer, N. (2011). Modèles d'architectures de l'internet des objets. *Blog Octo*.

- [34] PyMongo read the docs (s.d.). Pymongo. Consulté le 28 avril 2024, de <https://readthedocs.org/projects/pymongo/>.
- [35] PyPI (s.d.a). djongo 1.3.6. Consulté le 28 avril 2024, de <https://pypi.org/project/djongo/>.
- [36] PyPI (s.d.b). pygame 2.5.2. Consulté le 28 avril 2024, de <https://pypi.org/project/pygame/>.
- [37] Python Package Index (PyPI) (s.d.). Tensorflow - pypi. Consulté le 21 avril 2024, de <https://pypi.org/project/tensorflow/>.
- [38] ReportLab (2024). *ReportLab PDF Library User Guide*. Wimbletech, 35 Wimbledon Hill Road, London SW19 7NB, UK, version 4.2.0 edition. Document généré le 2024/04/27 20:18:12.
- [39] Sahnine, N. and Yahiaoui, Y. (2018). Analyse des moyens à mettre en œuvre pour lutter contre le diabète : Cas chu l'hôpital belloua tizi-ouzou. Mémoire de fin d'étude, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Tizi-Ouzou, Algérie. Master's thesis.
- [40] Santhosh, S. (s.d.). Gestational diabetes mellitus (gdm) data set. Consulté le 2 mai 2024, de <https://www.kaggle.com/datasets/sumathisanthosh/gestational-diabetes-mellitus-gdm-data-set>.
- [41] Snyk Security (s.d.). Daphne - python security vulnerabilities report. Consulté le 28 avril 2024, de <https://snyk.io/advisor/python/daphne#package-footer>.
- [42] Stoppiglia, H. (2002). chap3.pdf. Consulté le 1 avril 2024, depuis https://www.neurones.espci.fr/Theses_PS/Stoppiglia_H/chap3.pdf.
- [43] TechTarget (2023). What is MongoDB ? Features and how it works – TechTarget Definition - techtarget.com. Consulté le 03 mai 2024, de <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/MongoDB>.
- [44] The Hospital for Sick Children (2020). Fonction des cellules pancréatiques. Consulté le 11 juin 2023.
- [45] W3Schools (s.d.). What is bootstrap? - w3schools. Consulté le 21 avril 2024, de https://www.w3schools.com/whatis/whatis_bootstrap.asp.
- [46] Émilie Tina (2017). *Diabète gestationnel : vécu de la pathologie et de la prise en charge au CHU de Caen*. PhD thesis, Gynécologie et obstétrique. ffdumas-01557676f.