



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université Constantine 1 Frères Mentouri

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Biologie Appliquée

جامعة قسنطينة 1 الاخوة منتوري

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم : البيولوجيا التطبيقية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologies

Spécialité : Bio-informatique

Intitulé :

Plateforme Patient-Médecin pour le suivi et le pronostic intelligent du diabète

Présenté par : Tair Malak

Namous Kawther

Le : 25/06/2025

Jury d'évaluation :

Président : Dr. MEDJROUBI Mohammed Elarbi (MCB)

Encadrant : Dr. BOUCHEHAM Anouar (MCA)

Co-Encadrant : Dr. CHEHILI Hamza (MCA)

Examineur : Dr. GHERBOUDJ Amira (MCA)

Année universitaire

2024 – 2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Au terme de ce travail, nous exprimons nos plus sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire, en nous soutenant tant sur le plan scientifique que moral, depuis le début de ce projet jusqu'à son aboutissement.

*Nous commençons par adresser notre louange et notre gratitude à **Dieu Tout-Puissant**, pour nous avoir accordé la guidance, la patience et la force nécessaire tout au long de cette expérience humaine et scientifique.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à notre encadrant, **Dr. BOUCHEHAM Anouar**, pour ses conseils précis, son suivi rigoureux et ses encouragements constants, ainsi qu'à **Dr. CHEHILI Hamza**, point de départ de ce projet. Leur engagement et leur disponibilité ont largement contribué à l'orientation et à la qualité de ce travail.*

*Nous remercions également les membres du jury, **Dr. MEDJROUBI Mohammed Elarbi** et **Dr. GHERBOUDJ Amira**, pour le temps qu'elles ont consacré à l'évaluation de notre travail.*

*Nos remerciements vont aussi à **nos familles**, pour leur soutien indéfectible, leur patience exemplaire et leur présence constante, qui ont été une source essentielle de motivation tout au long de notre parcours académique.*

*Enfin, nous adressons notre gratitude à l'ensemble du corps enseignant de l'**Université Constantine1**, et tout particulièrement aux professeurs de la filière **Bio-Informatique**, pour la qualité de leur enseignement et leur accompagnement durant nos années d'études.*

MERCI A TOUS...

Dédicace

À l'âme de mon père, parti avant de me voir diplômée —
À toi, qui fus ma lumière, ma prière et ma force,
Papa, je l'ai fait... pour toi.

À ma chère maman, avec tout mon amour et ma reconnaissance,
Pour ta patience, tes sacrifices, ton soutien sans relâche et ton amour inconditionnel —
Ce succès est le reflet de ton dévouement sans faille.

À mes chers frères et sœurs : **Mehdi, Lamis, Djaber et Malak**,
Vous avez toujours été ma motivation, ma force et mon refuge.

À ma sœur, mon amie, ma complice de vie : **Malak**,
Merci du fond du cœur — d'avoir été là dans chaque étape,
Pour ta patience infinie, et pour avoir marché à mes côtés à travers toutes les saisons...
Tu as été la lumière dans chacun de mes moments sombres.

À ma grande famille,
À tous ceux qui m'ont soutenue — par un mot, un sourire ou une présence chaleureuse,
Aux belles sœurs **Mezghiche**, de la plus jeune à la plus grande,
Que Dieu vous bénisse toutes.

À mes compagnons de route tout au long de ce parcours universitaire,
À ceux qui ont partagé chaque étape avec moi,
Aux amies de l'âme : **Houda, Khouloud, Khadija et Chaïma**,
Merci pour votre sincérité, votre loyauté, et votre présence constante.

Et à celui qui m'a inspirée en silence, à celui qui m'a apaisée de loin,
À un morceau de mon âme, Tannes,
Merci d'avoir été cette force discrète à mes côtés toutes ces années.

À vous tous,
Je dédie ce modeste travail comme témoignage d'amour, de gratitude,
et d'un morceau de mon cœur.

Kawther

Dédicace

بسم الله الرحمن الرحيم

"الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، ويتوفيق شئال الغايات"

Avec une profonde gratitude,

Je dédie ce modeste travail

À tous les cœurs fidèles derrière cette réussite.

À ma mère HOURLA —

Source inépuisable d'amour et de tendresse,

Bras ouverts à toutes mes faiblesses,

Cette réussite est pour toi...

À mon père MOHAMED —

Figure de sacrifice silencieux,

Chaque pas vers l'avenir porte ton empreinte invisible.

À mon frère unique OUSSAMA —

À mes sœurs chéries : IBTISSEM, SOUAD, AMINA et NOUSSAIBA —

Vos voix sont des chansons de force,

Vos encouragements, les ailes de mon ambition.

À mes petits trésors : Miral, Ziad, Salah et Abdeelssalam —

Je vous souhaite d'atteindre les plus hauts sommets,

Et d'être un honneur perpétuel pour notre famille.

À toute la famille TAÏR —

À KAWTHER —

Sœur de cœur et d'âme,

Chaque étape partagée avec toi fut plus douce,

Ton amitié est un trésor dans ce voyage.

À KHADIJA et KHOULOUD —

Vos présences m'ont offert la chaleur d'une famille choisie,

Et la force douce des cœurs sincères.

À toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin —

"أداكم الله لي سندًا لا عمر له..."

TAÏR MALAK...

RÉSUMÉ

Le diabète est l'une des maladies les plus répandues dans le monde, mais comprendre et gérer ses effets sur la santé représente un grand défi. Ce mémoire de master propose la conception d'une plateforme auto-administrée pour faire face au diabète. Cette dernière offre une gestion technologique intelligente aidant les patients diabétiques à contrôler leur maladie eux-mêmes. Cette plateforme permet un tableau de bord complet pour suivre l'état de santé quotidien du patient et organiser son traitement, tout en fournissant des analyses intelligentes utilisant une intelligence artificielle de haute performance et des prévisions basées sur un système expert. Elle couvre également le volet préventif à travers des programmes alimentaires et des activités physiques élaborés par des experts de santé. Notre plateforme contribue également à mettre en relation les patients avec des médecins spécialistes. Elle offre également des consultations ainsi qu'une communication en direct entre le médecin et le patient.

Mots-clés : diabète, plateforme auto-administré, intelligence artificielle, système expert

ABSTRACT

Diabetes is one of the most widespread diseases in the world; nevertheless, understanding and managing its effects on health represents a significant challenge. This master's thesis proposes the design of a self-administered platform to tackle diabetes. The latter offers an intelligent technological management system that helps diabetic patients control their disease themselves. This platform provides a comprehensive dashboard to monitor the patient's daily health status and organize their treatment, while offering intelligent analyses using high-performance artificial intelligence and forecasts based on an expert system. The platform also addresses preventive care by providing dietary programs and physical activities that are developed by health experts. Our platform also helps connect patients with specialist doctors. It also offers consultations as well as direct communication between the doctor and the patient.

Keywords: diabetes, self-administered platform, artificial intelligence, expert system

الملخص

يعد مرض السكري من أكثر الأمراض انتشاراً في العالم، لكن امر فهمه والتعامل مع تأثيراته على الصحة يعد تحدياً كبيراً. تقدم رسالة الماجستير هذه تصميم منصة ذاتية للإدارة في مواجهة السكري حيث تمنح هذه الأخيرة إدارة تكنولوجية ذكية تساعد مرضى السكري في السيطرة على مرضهم بأنفسهم. تتيح هذه المنصة لوحة تحكم شاملة لمتابعة الحالة الصحية اليومية للمريض وتنظيم علاجه، مع توفير تحليلات ذكية باستخدام ذكاء اصطناعي عالي الأداء وتوقعات من نظام خبير. كما تغطي الجانب الوقائي من خلال برامج غذائية وأنشطة بدنية وضعها خبراء في الصحة تساهم منصتنا أيضاً في ربط المرضى بالأطباء المتخصصين. كما أنها تقدم استشارات بالإضافة إلى التواصل المباشر بين الطبيب والمريض

الكلمات المفتاحية: السكري، منصة ذاتية الإدارة، الذكاء الاصطناعي، النظام الخبير

Table des matières

Partie 01 : « l'état de l'art »	13
Chapitre 01 : « diabète : un défi global »	14
1. Introduction	15
2. Classification des types de diabète	15
2.1 Pre-diabète	15
2.1.1 Diagnostic du pre-diabète	15
2.1.2 Prise en charge du pre-diabète	16
2.2 Diabète type 2 (DNID)	17
2.2.1 Les hormones régulant le taux de la glycémie dans le sang	17
2.2.2 La physiopathologie du diabète de type 2	18
2.2.3 Les facteurs de risque et le DT2	19
2.2.4 Les traitements contre diabète type 2	20
2.2.5 Hypertension et DT2	23
2.2.6 Le cancer et le DT2	23
2.3 Diabète type 1 (DID)	26
2.3.1 La progression et la physiopathologie de diabète type 1	26
2.3.2 Étiologie de diabète type 1	27
2.3.3 Prévention et traitement de DT1	27
2.4 Diabète gestationnel (DG)	30
2.4.1 Facteur de risque de DG	30
2.4.2 Physiopathologie de diabète gestationnel	30
2.4.3 L'épidémiologie de diabète gestationnel	31
2.4.4 Dépistage du diabète gestationnel	32
2.4.5 Complication fœtus et maternels	34
2.4.6 Le traitement de diabète gestationnel	35
3. Les agents hypoglycémiants	36
4. Difficulté de la prise en charge diabétique	36
5. Diabète et personnes âgées	37
Chapitre 02 : « diabète et nutrition : vers une gestion optimale »	39
1. Introduction	40
2. Historique	40
3. Pyramide alimentaire diabétique	41
3.1 Les glucides	41
3.2 Les lipides	42

3.3 Les protides (proteines).....	42
4. Recommandations alimentaires liees au diabete.....	43
4.1 Recommandations alimentaires liees au dt1	43
4.2 Recommandations alimentaires liees au dt2	44
4.3 Recommandations alimentaires liees au diabete gestationnel	44
5. Quelques types des regimes alimentaires.....	45
5.1 Le regime mediterraneen	45
5.2 Regime lowcarb.....	46
5.3 Le regime vegetalien	46
Chapitre 03 : « pronostique du diabete : prevention des complications »	47
1. Introduction	48
2. Classifications des complications de diabete	48
2.1 Les complications a long terme	48
2.1.1 Les maladies cardio-vasculaires.....	48
2.1.2 La retinopathie diabetique	53
2.1.3 La nephropathie diabetique	57
2.1.4 La neuropathie diabetique.....	59
2.2 Les complications a court terme.....	65
2.2.1 Hypoglycemie diabete	65
2.2.2 Hyperglycemie diabete.....	67
2.2.3 L'acidocetose diabetique.....	68
Chapitre 04 : « apprentissage automatique et systeme experts : une approches complementaires pour l'analyse et la gestion de la glycemie ».....	69
1. Introduction	70
2. Apprentissage automatique	71
2.1 Types d'apprentissage automatique.....	71
2.1.1 Apprentissage supervise	71
2.1.2 Apprentissage non-supervise	73
2.1.3 L'apprentissage par renforcement	74
2.2 Importance de l'apprentissage automatique	75
2.3 Apprentissage profond (deep learning)	76
2.3.1 Type d'apprentissage profond (deep learning).....	76
2.4 La deference entre "l'intelligence artificielle", "machin learning" et "deep learning"	78
3. Les systemes experts	78
3.1 Composants d'un systeme expert	78
3.2 Avantages et limites des systemes experts	79
3.2.1 Avantages	79
3.2.2 Limites	80

3.3 Applications des systemes experts en medecine	80
4. Difference entre un systeme expert et le machine learning.....	80
Partie 02 : « prototype experimentale »	82
.1 Conception de la plateforme	83
1.1 Fonctionnalites.....	83
1.1.1 Utilisateur non specialiste (patient)	83
1.1.2 Utilisateur specialiste (medecin).....	84
1.1.3 Architecture generale de la plateforme	84
1.2 Framework general	85
1.2.1 Utilisateur specialiste (medecin).....	85
1.2.2 Utilisateur non specialiste (patient)	86
1.2.3 Base de connaissance (utilisee par le systeme expert)	86
1.2.4 Le moteur d'inference de notre systeme expert.....	87
1.3 Schema de donnees pour la collecte et l'analyse des donnees de sante du patient (base de donnees).....	88
2. Implementation	90
2.1 Technologies utilisees pour le developpement de la plateforme	90
2.1.1 Langages de programmation.....	90
2.1.2 Environnement de travaille	92
2.1.3 Frameworks	92
2.1.4 Les package	94
3. Developpement de la plateforme	95
3.1 Creation de l'environnement virtuel et installation de django	96
3.2 Creation du projet et d'application.....	96
3.3 Configuration et routage.....	96
3.3.1 Configuration.....	96
3.3.2 Le routage	98
3.4 Integration de html, css et javascript.....	99
3.5 Gestion des utilisateurs et authentification	101
3.5.1 Creation et integration d'un modele utilisateur personnalise	101
3.5.2 Systeme d'enregistrement, de connexion et de deconnexion	102
3.5.3 Reinitialisation du mot de passe utilisateur	105
3.6 Architecture des modeles et base de donnees.....	106
3.6.1 Modeles des profils personnalises	106
3.6.2 Enregistrement des mesures journalieres et suivi des traitements	108
3.6.3 Gestion des enregistrements de nutrition et d'exercice physique	110
3.7 Visualisation des donnees et resultats d'analyse	111
3.7.1 Afficher les mesures quotidiennes et calculer les moyennes.....	111

3.7.2	Tracer les courbes	113
3.8	Gestion de la relation entre medecin et patient.....	115
3.8.1	Demande de regime	115
3.8.2	Demande de consultation.....	117
3.8.3	Demande de visioconference.....	118
3.9	Systeme de notifications	120
3.9.1	Prise de rendez-vous avec visioconference (google meet)	123
3.10	Creation d'un systeme expert base sur l'intelligence artificielle.....	125
3.11	Integration du modele « deepseek » pour l'analyse intelligente des donnees	127
4.	Plateforme	128
4.1	Page d'accueil « home »	129
4.2	Page a propos de nous « about us ».....	129
4.3	Creation des comptes	130
4.3.1	Connexion	132
4.4	Patient.....	133
4.4.1	Tableau de bord patient.....	133
4.4.2	Profile patient	137
4.4.3	Page analyse	138
4.4.4	Page nutrition	141
4.4.5	Page notification	143
4.5	Medecin.....	144
4.5.1	Tableau de bord medecin.....	144
4.5.2	Profile medecin	145
4.5.3	Patient.....	146
4.5.4	Page notification	146
	Conclusion et discussion	147
	Plan financier.....	150
1.	Les couts et charges	151
1.1	Materiels requis	151
1.1.1	Achat du mobilier.....	151
1.1.2	Financement pour lancer notre projet (fond de roulement).....	152
1.1.3	Cout globale du projet	152
2.	Calcul previsionnel du cout de revient du produit	152
2.1	Tarifs des ventes.....	153
2.1.1	Abonnement de medecin.....	153
2.1.2	Commission sur les medecins	153
2.2	Calcule previsionnel du chiffre d'affaires de la 1' ere annee.....	153

Liste des figures

Figure 1: La relation entre l'insuline et le glucagon et la glycémie	18
Figure 2: La Physiopathologie de diabète type 2	19
Figure 3: la durée d'action des analogue d'insuline rapide/ basales	29
Figure 4: Conduite à tenir pour le dépistage et la prise en charge du diabète gestationnel	33
Figure 5: pyramide alimentaire	43
Figure 6: les complications macro\micro vasculaire de diabète	48
Figure 7 : Comparaison entre un Cœur Sain et un Cœur en Insuffisance Cardiaque	50
Figure 8: les mécanismes Oculaires du Diabète	54
Figure 9: classification d'éléments glucidiques	55
Figure 10: Examen tomographie par cohérence optique (OCT)	56
Figure 11: La néphropathie chez les Diabétiques	57
Figure 12: pied diabétique avec une infection gangrène humide	62
Figure 13: pied d'un patient diabétique avec la neuropathie	63
Figure 14:Exemple d'infection Fongueuse Sur Des Clous Des Pieds	65
Figure 15: Traitement d'hypoglycémie	67
Figure 16 : Types d'apprentissage automatique	71
Figure 17: exemple de l'apprentissage supervisé	72
Figure 18: Exemple de l'apprentissage non supervisé	74
Figure 19 : Exemple de l'apprentissage par renforcement	75
Figure 20: la Relation hiérarchique entre les branches de l'intelligence artificielle (AI) la machine learning (ML) et le deep learning (DL)	76
Figure 21: diagramme du Flux de données.....	85
Figure 22: Base de connaissance	87
Figure 23 : schéma du notre système expert proposé.....	88
Figure 24: Relation entre les tables de l'authentification dans la base de données.	89
Figure 25: Relation entre les tables de fichier models.py de la base de données	89
Figure26 : Les applications installées	97
Figure27 : La connexion à la base de données.....	97
Figure28: La gestion de fichiers statiques.....	98
Figure29: Fichier urls.py du projet	98
Figure 30: partie de fichier urls.py d'application.....	99
Figure31: Structure HTM.	100
Figure 32: Partie de CSS.....	100

Figure 33: Model CustomUser	101
Figure 34: L'intégration dans le fichier settings.py	101
Figure 35: régistration des utilisateurs.....	102
Figure 36: Connexion selon chaque type d'utilisateur	103
Figure 37: La déconnexion des utilisateurs.....	103
Figure 38: Configuration de l'envoi des e-mails via SMTP (Gmail)	104
Figure 39: Envoyer l'email via la fonction dans le fichier views.py	104
Figure 40: La fonction pour accepter ou refuser l'inscription d'un médecin	105
Figure 41: La validation des comptes des médecins dans l'administration	105
Figure 42: Fonction de réinitialisation sécurisée du mot de passe	106
Figure 43: Modèle DoctorProfile	107
Figure 44: PatientProfile.....	107
Figure 45: Enregistrement des mesures utilisant le modèle MedicalRecord	108
Figure 46: Modèle de conserver les détails des doses d'insuline	109
Figure 47: Modèle de conserver les détails des médicaments.....	109
Figure 48: Modèle de conserver les détails des repas.....	110
Figure 49: Modèle de conserver les détails des exercices.....	111
Figure 50: les calcule des mesures quotidiennes	112
Figure 51: Le tableau de « Daily Averages » sur le tableau de bord	112
Figure 52: Affichage du graphique dailychart (Chart.js).....	113
Figure 53: Affichage du graphique weekly_trends (Chart.js).....	114
Figure 54: Affichage du graphique monthlychart (Chart.js)	114
Figure 55: Code de gestion des requêtes de régime.....	115
Figure 56: Enregistrement de la demande de régime dans DietRequest.....	116
Figure 57: La fonction create_diet_plan	116
Figure 58: La fonction request_consultation_view	117
Figure 59: Modèle ConsultationRequest	118
Figure 60: La fonction doctor_consultation_detail	118
Figure 61: La fonction request_video_call	119
Figure 62: Le modèle ConsultationMeeting	119
Figure 63: La fonction approve_video_call.....	120
Figure 64: Le fichier celery.py	121
Figure 65: Fichier tasks.py	121
Figure 66: Ajout des tâches planifiées via l'interface admin	122
Figure 67: Les modèles PatientNotification et DoctorNotification	123
Figure 68: Exemple d'une fonction de génération de notifications.....	123
Figure 69: Création du projet « Meeting » dans Google Cloud	124

Figure70: Fichier google-auth.py	124
Figure 71: La base de connaissances knowledge_base.py.....	125
Figure 72 : Le moteur d'inférence (fichier inference_engine.py).....	126
Figure 73: Les règles conditionnelles dans le fichier rules.py	127
Figure74: Fichier deepseek_api.py	128
Figure 75: Page d'accueil de la plateforme Suk-Scan	129
Figure 76 : Page about us.....	130
Figure 77: la section "Our Team" dans la page "About us"	130
Figure 78: Page de création de compte pour médecin	131
Figure 79: Page de création de compte pour patient.....	132
Figure 80 : page de connexion	133
Figure 81: tableau de bord du patient	134
Figure 82: Les sections "Daily Curve" et " Monthly Average Values" dans le tableau de bord du patient.....	135
Figure 83: La section weekly_trend.....	136
Figure 84: Les sections Medical Diet et Medical Consultation	137
Figure 85: patient profile	138
Figure 86: La page analyse.	138
Figure 87: Interface d'utilisation du système d'expert	139
Figure 88: le résultat d'une analyse de système expert.....	140
Figure 89: résultats d'analyse intelligente par le module deepseek.	141
Figure 90: les sections des repas dans la page nutrition	142
Figure 91 : les aliments autorisés et interdits.....	142
Figure 92: les sections d'exercice recommandés et note du medcin.....	143
Figure 93: Page notification patient.....	144
Figure 94: Tableau de bord médecin.....	144
Figure 95: profile médecin.....	145
Figure 96: page patient pour médecin.....	146
Figure 97: notification médecin.....	146

Liste des tableaux

Tableau 1: diagnostique de pré-diabète comparé avec le diabète et le sujet normal	16
Tableau 2: languages de programation utilisées.....	90
Tableau 3: les Framework Web utilisé	92
Tableau 4: les package utilisés	94

Liste d'abréviation

IG : L'intolérance au glucose

GAJ : Glycémie A Jeun

HGPO : Hyperglycémie provoquée par voie orale

HMJ : Hyperglycémie légère ou Glycémie irrégulière à jeune

ADA: American Diabetes Association

AHA: American Heart Association

NHLBI: National Heart Lung and Blood Institute

FID : International Diabètes Fédération

HG : Hémoglobine Glyquée

OMS : Organisation Mondiale De La Santé

DNID : Diabète Non-Insulino Dépendant

DT2 : Diabète Type 2

SRAA : Système Rénine-Angiotensine-Aldostérone

FDPS : Etude Finlandaise Sur La Prévention Du Diabète

HTA : Hyper- Triglycéridémie Abaissé

SNS : Système Nerveux Sympathique

AMPK: Activates Protein Kinase

LKB1: Live Kinase B1

IGF-1: Insulin-like Growth Factor 1

TZD : Thiazolidinediones

DID : Diabète Insulino-Dépendant

DT1 : Diabète Type 1

AcDT1 : L'anticorps Du Diabète De Type 1

APD : Apparentés Du Premier Degré

CMH : Complexe Majeur D'histocompatibilité

HLA : Human Leukocyte Antigen

DG : Diabète Gestationnel

IMC: Indice De Masse Corporelle

SA : Semaines D'aménorrhée

GH1, GH2 : Glycémie A 1 Heure Et A 2 Heures d'Hyperglycémie Provoquée Par Voie Orale

Kcal : Kilocalorie

Mm Hg : Millimètres De Mercure

EASD: European Association for the Study of Diabetes

IAGG: International Association of Gerontology and Geriatrics

EDWPOP: European Diabetes Working Party for Older People

J-C: Jesus-Christ

ISPAD: International Society for Pediatric and Adolescent Diabetes

AUT : Aliments Ultra Transformés

HTA : Hypertension Artérielle

SCA ST+ : Le syndrome coronaire aigu ST+

SCA ST - : Le syndrome coronaire aigu ST –

IMS : Ischémie Myocardique Silencieuse

EMI : Évaluation des Maladies Ischémiques

ACT : Angioplastie Coronarienne Transluminale

CAP : Pontage Aorto-Coronarien

RD : Rétinopathie Diabétique

MAD : Micro-Angiopathie Diabétique

RDNP : Rétinopathie Diabétique Non Proliférant

FO : Domaine Focal

AMIR : Irrégularités de la Micro-Vascularisation Intra-Rétinienne

RDP : Rétinopathie Diabétique Proliférant

OCT : Tomographie Par Cohérence Optique

OM : Œdème Maculaire

IS : Segments Internes

OS : Segments Externes

OMD : Œdème Maculaire Diabétique

NPDR : Neuropathie Diabétique Sévère

DR : Rétinopathie Diabétique

OT : Optométriste ou Ophtalmologiste

ND : Néphropathie Diabétique

DFG: Debit de Filtration Glomerular

MDRD: Modification of Diet in Renal Disease

UKPDS: United Kingdom Prospective Diabetes Study

NAC : Neuropathie Autonome cardiaque

ACD : Acidocétose Diabétique

AAD : Acidose Autonome Diabétique

SMTP : Simple Mail Transfer Protocol

API : Application Programming Interface

Partie 01 : « L'état de l'art »

Chapitre 01 : « Diabète : Un défi global

1. Introduction

Chaque année, des millions de vies à travers le monde sont touchées par une maladie silencieuse, classée comme l'une des maladies les plus dévastatrices. Le diabète est une maladie chronique grave qui se manifeste lorsque le pancréas ne produit plus suffisamment d'insuline, ou lorsque l'organisme ne parvient pas à l'utiliser efficacement [1].

Le diabète (hyperglycémie chronique) fait partie des maladies les plus répandues dans le monde. En 2019, on comptait 463 millions d'adultes diabétiques, représentant 9,3 % de la population mondiale âgée de 20 à 79 ans. Parmi eux, une majorité (79,4 %) vit dans des nations à faible ou moyen revenu. Un tiers est âgé de plus de 65 ans. Et la moitié reste non diagnostiquée. Aussi, il existe près d'un million d'enfants et d'adolescents qui souffrent de diabète de type 1 avec une incidence croissante. De plus, le diabète augmente par huit le danger d'amputation, triple par rapport à un accident cardiaque ou cérébral, et multiplie par neuf celui de la dialyse rénale, demeurant la principale origine de cécité. Il est à l'origine de 11,3 % de l'ensemble des décès, dont la moitié se produit avant l'âge de 60 ans. Les coûts directs liés au diabète atteignent 760 milliards de dollars, ce qui représente un dollar sur huit consacré aux soins de santé.

2. Classification des types de diabète

Le diabète peut se manifester sous diverses formes (diabète de type 1, de type 2, pré-diabète, diabète gestationnel) et affecter de manière distincte la vie des individus qui en sont atteints. Toutefois, ils partagent tous un point en commun, « un taux de sucre trop élevé dans le sang » :

2.1 Pré-diabète

Le pré-diabète est un état intermédiaire détecté dans toutes les catégories étiologiques du diabète sucré. Il se caractérise par des taux de glycémie veineuse qui ne satisfont pas aux critères diagnostiques du diabète sucré, tout en étant trop élevés pour être qualifiés de normaux.

2.1.1 Diagnostic du pré-diabète

Le pré-diabète est défini par deux conditions anormales distinctes, issues de mécanismes différents et possédant une histoire naturelle divergente, mais toutes deux présentent une résistance à l'insuline :

- **L'intolérance au glucose (IG) :**

Elle est diagnostiquée si la glycémie à jeun (GAJ) est inférieure à 1,26 g/l et que, deux heures après une ingestion orale de 75 grammes de glucose, Hyperglycémie provoquée par voie orale (HGPO), elle se situe entre 1,40 et 1,99 g/l.

- **Hyperglycémie légère ou Glycémie irrégulière à jeun (HMJ) :**

Caractérisée par une GAJ située entre 1 et 1,25 g/l et/ou une mesure à 2 heures après HGPO inférieure à 1,4 g/l. Des organisations savantes telles que l'ADA (American Diabetes Association), l'AHA (American Heart Association) et la FID (International Diabetes Federation) ont abaissé le seuil du GAJ de 1,10 g/l à 1,00 g/l et celui de l'HbA1c de 6,0 % à 5,7 %, afin de caractériser le pré-diabète. Cette limite abaissée, non encore approuvée par l'OMS, a fortement amplifié la fréquence du pré-diabète et pourrait engendrer des répercussions notables sur le plan médical, de la santé publique et socio-économique [2].

Tableau 1: diagnostic du pré-diabète comparé avec le diabète et le sujet normal [2].

	Glycémie à jeun (GAJ)		2h après HGPO (75g de glucose)		Hémoglobine glyquéeHbAc 1(%)
Pré-diabète	1- 1,25 g/l	ou	1,4 - 1,99g/l	Et/ou	>5,7 – 6,4g/l
Diabète	>1,26g/l	ou	>2g/l	ou	>6,5g/l
Normale	<1g/l	et	<1,4g/l	et	<5,7g/l

2.1.2 Prise en charge du pré-diabète

Le pré-diabète représente une phase intermédiaire de l'hyperglycémie, se manifestant par une glycémie à jeun modifiée, une tolérance au glucose dégradée et une HbA1c se situant entre 5,7 et 6,4 %. Le pré-diabète est lié à une augmentation du risque de développer un diabète manifeste et à une hausse du danger de maladie cardiovasculaire. Diverses recherches sur les interventions ont prouvé que l'apparition du diabète peut être évitée ou retardée grâce à un changement

intensif du style de vie et à l'utilisation de médicaments antidiabétiques oraux, en particulier la metformine et les inhibiteurs de l'alpha-glucosidase. La prise en charge du pré-diabète devrait se focaliser sur les changements de mode de vie et la gestion de divers facteurs à risque. Dans les situations à risque élevé, l'option d'utiliser des antidiabétiques oraux peut être considérée [3].

2.2 Diabète Type 2 (DNID)

Le diabète non insulino-dépendant, c'est une maladie métabolique chronique caractérisée par une résistance à l'insuline et une sécrétion insuffisante d'insuline par le pancréas. C'est le diabète le plus fréquent ; en France, il représente 92 % des cas de diabète, cette hyperglycémie peut rester sans symptôme pendant une longue période et est fréquemment détectée par hasard lors d'une analyse sanguine, les délais de diagnostic étant souvent attribués à des conséquences fréquentes.

2.2.1 Les hormones régulant le taux de la glycémie dans le sang

La concentration du glucose dans le sang est un paramètre physiologique qui se situe normalement entre 0,7 et 1,2 g/L. Il est essentiel de réguler le taux de sucre dans le sang, car toutes les fonctions cellulaires utilisent du glucose. Dans la régulation de la glycémie, deux hormones principales jouent un rôle :

- **L'insuline :**

Il s'agit d'une hormone peptidique produite par les cellules B des îlots de Langerhans situés dans le pancréas. C'est une hormone hyperglycémiant : lors d'une hausse de la glycémie, elle favorise un retour à l'état normal par de la glycogénèse, l'inhibition de la glycolyse, l'inhibition de la néoglucogénèse, l'activation de la lipogénèse et l'inhibition de la lipolyse.

- **Le glucagon :**

Il s'agit d'une hormone peptidique produite par les cellules A des îlots de Langerhans situés dans le pancréas. C'est une hormone hyperglycémiant : lors d'une baisse de la glycémie, elle favorise un rétablissement à la normale en stimulant la glycogénolyse, inhibant la glycogénogénèse, activant la néoglucogénèse, inhibant la lipogénèse et stimulant la lipolyse.

- **La relation entre 'L'insuline' et 'Le glucagon' :**

La **Figure 1** ci-dessous illustre la relation entre ces deux hormones :

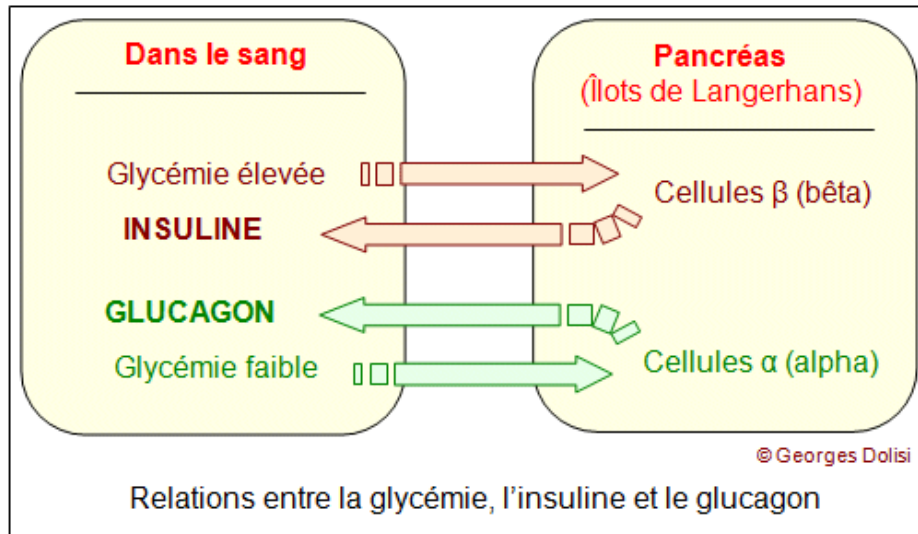


Figure 1: La relation entre l'insuline et le glucagon et la glycémie [4].

Les îlots pancréatiques de Langerhans : tour de contrôle de la glycémie.

Un îlot pancréatique est composé de cellules β sécrétant l'insuline, de cellules α sécrétant le glucagon.

L'insuline diminue la glycémie tandis que le glucagon l'augmente. Ces deux hormones permettent le maintien de la normoglycémie, qui se situe chez un sujet sain entre 3,9 mm (à jeun) et 7,8 mm (2 h postprandial) [5].

2.2.2 La physiopathologie du diabète de type 2

En termes de physiopathologie, l'émergence du diabète de type 2 résulte de la coexistence d'anomalies dans la sécrétion et l'action de l'insuline. Le trouble sécrétoire, dont la source reste indéterminée, se traduit continuellement par une carence relative en insuline qui peut varier en gravité [6].

La forme standard du diabète de type 2 associe deux dysfonctionnements métaboliques :

- **Une résistance à l'insuline :**

En particulier au niveau des tissus adipeux, hépatiques et musculaires. Elle correspond à une moindre réponse des tissus cibles de l'insuline à son action. Ainsi, une concentration plus élevée d'insuline sera nécessaire. Au niveau musculaire, cela va entraîner une diminution du transport du glucose et de la synthèse du glycogène.

- **Déficit de l'insulinopénie :**

Chez les patients souffrant de DNID, on note une déficience dans la sécrétion d'insuline. Elle résulte à la fois de l'hyperstimulation constante provoquée par la résistance à l'insuline et des prédispositions génétiques qui touchent la cellule bêta du pancréas. L'importance relative de ces deux anomalies va varier en fonction des patients [5].

La Figure 2 ci-dessous montre la liaison entre l'insulinorésistance et l'insulinopénie, et comment interagir pour provoquer une élévation des niveaux de glucose sanguin.

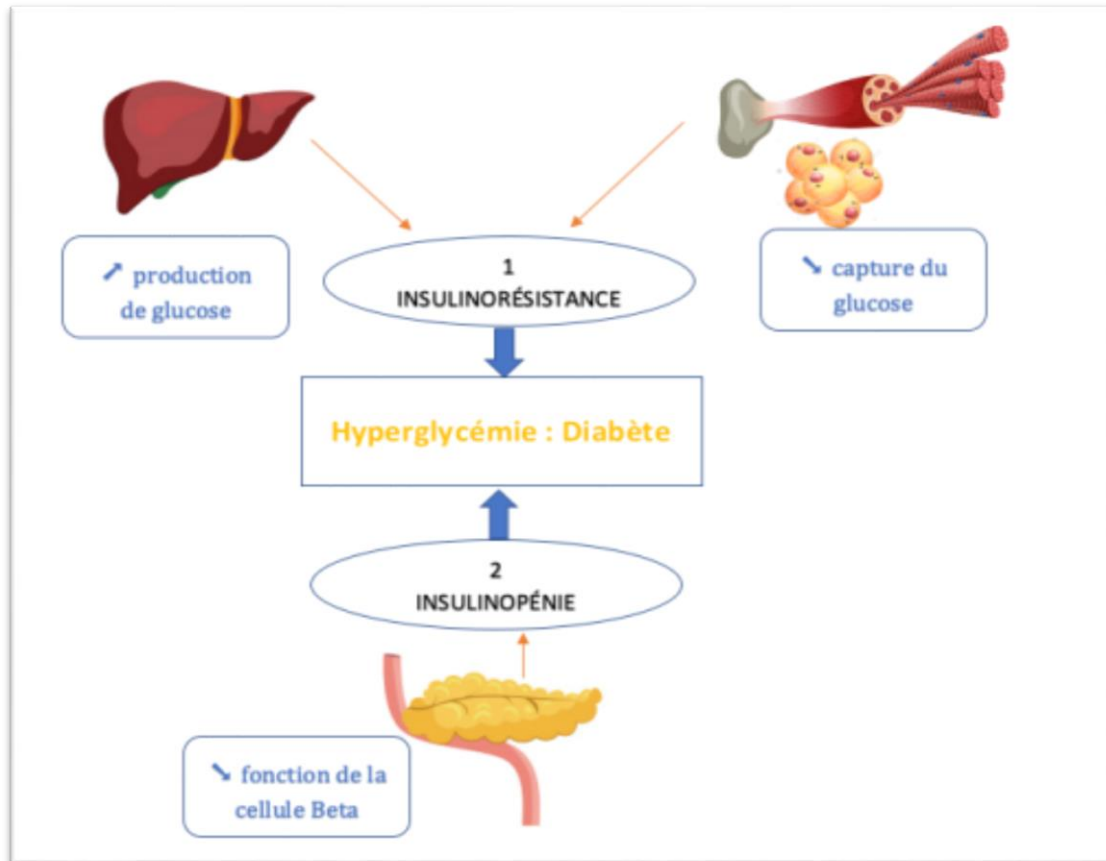


Figure 2: La Physiopathologie de diabète type 2 [5].

2.2.3 Les facteurs de risque et le DT2

Bien que la pathogénèse du diabète soit complexe, on qu'il y a plusieurs facteurs de risque liés au DT2. On retrouve des facteurs non modifiables (génétique, âge, sexe biologique, etc.) et d'autres modifiables (mode de vie principalement), ce qui en fait une maladie potentiellement évitable [7].

- **Age et risque génétique :**

L'âge constitue un facteur de risque pour le diabète de type 2, qui sont davantage courant chez

les personnes âgées de plus de 45 ans. Aussi L'existence d'une prédisposition génétique chez le patient augmente le risque de développer un diabète de type 2, en d'autres termes, un proche parent (père, mère, frère ou sœur) est ou a souffert de cette maladie [8].

- **Mode de vie :**

Face à l'« épidémie galopante » du diabète de type 2 et son lien étroit avec l'obésité, l'Organisation Mondiale de la Santé, (OMS) a plaidé pour l'instauration de stratégies visant à prévenir cette maladie. Des recherches interventionnelles effectuées en Chine, Europe et aux États-Unis, démontré que les stratégies hygiéno-diététiques peuvent diminuer approximativement de 50 % le risque d'apparition d'un diabète de type 2 chez les individus à risque. Aussi différentes approches médicamenteuses ont aussi démontré leur efficacité dans la prévention du diabète de type 2, mais en général avec des diminutions moins significatives, variant de 25 à 35 %. Cela s'applique à la metformine, l'acarbose, l'orlistat ainsi qu'à différents inhibiteurs du système rénine-angiotensine [9].

2.2.4 Les traitements contre diabète type 2

L'objectif d'un traitement en diabétologie est de prévenir et de réduire les complications de la maladie, mais aussi d'améliorer la qualité de vie des patients. Actuellement, diverses classes thérapeutiques permettent de traiter le diabète de type 2. On peut montrer deux types de traitement [10] :

- **Traitements médicamenteux :**

Au cours des dix dernières années, la gestion du diabète de type 2 (DT2) a considérablement évolué, offrant une multitude d'options pharmacologiques qui peuvent optimiser le contrôle de la glycémie et diminuer le risque de complications. Les divers mécanismes physiopathologiques susceptibles d'être corrigés sont variés. De manière simplifiée, les médicaments peuvent être classés en ceux qui favorisent la sécrétion d'insuline, diminuent l'insulinorésistance ou agissent indépendamment de l'insuline.

En dépit de ces diverses options, il est évident que beaucoup de patients atteints de DT2 sont toujours insuffisamment ou mal gérés, ce qui peut être qualifié de cette situation peut être due à une prescription inappropriée des médicaments disponibles et à une non-conformité au traitement, mais aussi à des médicaments disponibles qui manquent d'efficacité devant cette situation l'industrie pharmaceutique déploie d'importants efforts pour explorer de nouvelles

stratégies thérapeutiques susceptibles d'améliorer le traitement des patients atteints de DT2. Le but est stabiliser le taux d'hémoglobine glyquée (HbA1c < 6,5 %) sans intensifier le risque d'hypoglycémie et en toute sécurité, tout en fournissant une meilleure défense contre les complications micro et macroangiopathiques [11].

Il existe de nombreux médicaments utilisés dans le cadre du DT2, le dictionnaire Vidal en propose une classification selon leur mode d'action :

- Médicaments améliorant la sensibilité à l'insuline : la principale molécule étant la metformine, souvent utilisée comme premier traitement.
- Médicaments stimulant la production d'insuline : ils appartiennent par exemple à la famille des sulfamides hypoglycémiant. Souvent, ils sont utilisés en plus de la Metformine lorsque le diabète n'est pas équilibré par cette molécule seule.
- Médicaments réduisant l'absorption des sucres : ce sont les inhibiteurs de l'alpha-glucosidase. Ils empêchent la transformation des disaccharides en monosaccharides et de ce fait, empêchent le dernier stade de la digestion des sucres qui ne peuvent donc pas être absorbés.
- Médicaments favorisant l'élimination des sucres : nouvelle classe d'antidiabétiques. Ils inhibent l'action du Co-transporteur de sodium-glucose de type 2, ayant pour conséquence de limiter la réabsorption de glucose au niveau rénal et de favoriser son élimination urinaire.
- Injections d'insuline : qui sont prescrites lorsque les antidiabétiques oraux ne parviennent pas à réguler efficacement la glycémie [5].

• **Traitements non-médicamenteux**

La prise en charge non pharmacologique est une étape essentielle dans la gestion du diabète chez les personnes âgées, tout comme pour les individus plus jeunes. Toutefois, il est nécessaire de personnaliser les conseils diététiques et d'exercice physique en fonction du profil du patient. En général, les conseils nutritionnelle pour les seniors atteints de diabète ne varient guère :

Nutrition :

En règle générale, les conseils diététiques pour les personnes âgées atteintes de diabète ne varient pas ou très peu par rapport à ceux des personnes âgées non diabétiques, comme stipulé par exemple dans le Programme national nutrition santé. Il faut abandonner la recherche d'aliments prohibés et l'idée de « régime pour diabétiques ». L'objectif principal sera d'offrir une alimentation saine, diversifiée, équilibrée, adaptée à chaque personne en tenant compte de ses préférences gustatives, de sa capacité à mastiquer et à avaler, tout en répondant à ses besoins énergétiques et protéiques ainsi qu'à ses besoins en micronutriments. Il sera également essentiel d'assurer une hydratation adéquate et de préserver autant que possible le plaisir de la nourriture. Chez les seniors, l'adhésion à ce régime alimentaire équilibré est fréquemment compromise par des contraintes budgétaires. Ou d'accès aux produits frais. Si la personne âgée atteinte de diabète souffre de dénutrition, souvent négligée ou minimisée dans cette population en raison de

l'importance du surpoids et de l'obésité, son régime alimentaire sera amélioré et/ou complété.

Activité physique :

Il est essentiel d'encourager la réalisation d'une activité physique régulière, ajustée aux capacités du patient : la marche régulière est le pilier de l'activité physique pour les personnes âgées, associée, lorsque c'est faisable, à un entraînement de résistance. Il est suggéré que la prise de vitamine D pourrait renforcer la force et la trophicité musculaire, néanmoins le degré de preuve n'est pas très fort. Les recommandations pour l'activité physique des personnes âgées atteintes de diabète sont généralement les mêmes que celles que toute la population devrait suivre, à quelques exceptions près. La Société francophone du diabète a élaboré des recommandations sur ce sujet pour le diabète de type 1 et de type 2. Par conséquent, l'augmentation de l'activité physique de manière personnalisée et judicieuse est cruciale pour la prise en charge des patients atteints de diabète, ainsi que des personnes âgées diabétiques. Malheureusement, l'application de ces mesures s'avère complexe et est naturellement liée à la manifestation clinique et à la qualité du vieillissement de l'individu. C'est ainsi qu'il existe une très grande hétérogénéité entre les patients vigoureux qui ont poursuivi une activité sportive jusqu'à un très grand âge et ceux qui, malheureusement, sont très malades et sont devenus sédentaires. L'objectif reste de conserver, voire d'optimiser, l'activité physique de ces individus grâce à des méthodes aisées à instaurer sur le long terme [12].

Rôle de l'activité physique et la prévention du diabète de type 2 :

L'exercice physique constitue une modification du mode de vie efficace pour prévenir la manifestation d'un DT2 chez les individus à risque (intolérants au glucose). Les conclusions de l'étude finlandaise sur la prévention du diabète (FDPS), menée par Tuomilehto et al sont particulièrement parlantes : « Une répartition aléatoire a été effectuée parmi 522 sujets en surpoids présentant une intolérance au glucose, qui ont été suivis chaque année pendant 4 ans. ». Les participants ont été répartis au hasard en deux groupes :

Un groupe intervention : recommandations personnalisées pour réduire le poids (-5 %), diminution des consommations de lipides et de graisses saturées, élargissement des apports en fibres alimentaires et intensification de l'exercice physique à plus de 30 minutes par jour ;

Un groupe contrôle : informations générales et sensibilisation sur la nutrition et l'activité physique. Après 4 ans, le taux global de DT2 était de 11 % dans le groupe ayant reçu l'intervention, contre 23 % dans le groupe contrôle. Donc, suite aux modifications de mode de

vie, le risque de diabète de type 2 a diminué de 58 % dans le groupe d'intervention. Il y'a quatre autres importantes recherches sur la prévention du DT2 par des changements de mode de vie (activité physique et alimentation) ont été publiées :

Une recherche chinoise : étude Da Qing IGT et diabète

Une recherche américaine : programme de prévention du diabète américain

Une recherche indienne, ainsi qu'une recherche japonaise : présentent des résultats semblables : « Diminution de l'incidence du DT2 de 28% à 67 % chez des individus présentant un risques métaboliques élevés » [13].

2.2.5 Hypertension et DT2

Le patient DT2 présente, dans la plupart des cas, un excès pondéral ou une obésité, avec une distribution de l'adiposité prédominant au niveau abdominal. La grande majorité des patients DT2 présentent un syndrome métabolique, combinant outre l'obésité abdominale et l'hyperglycémie, une HTA et une dyslipidémie athérogène (hyper- triglycémie et/ou cholestérol HDL abaissé). Le tissu adipeux péri viscéral est très actif sur le plan métabolique, ce qui peut expliquer les relations fortes entre obésité, diabète de type 2 et HTA. Il est capable de sécréter de nombreuses substances dont certaines sont susceptibles d'activer le SRAA (système rénine-angiotensine-aldostérone). Par ailleurs, l'insulinorésistance associée à l'obésité abdominale entraîne chroniquement un hyperinsulinisme qui contribue à activer le système nerveux sympathique (SNS). Comme l'obésité est présente bien avant l'apparition du DT2, l'HTA est fréquemment présente au moment du diagnostic de DT2, dans au moins un tiers des cas et ce, contrairement à ce qui est observé dans le DT1. A terme, avec le vieillissement (rigidité artérielle déjà évoquée, encore aggravée par la présence d'une dyslipidémie) et, éventuellement, la survenue d'une altération de la fonction rénale, environ 80% des patients DT2 finiront par présenter une HTA. Celle-ci est objectivée plus fréquemment chez les patients suivis dans les centres de référence diabétologiques que chez ceux suivis en médecine générale. L'HTA du patient DT2 en surpoids ou obèse est généralement assez résistante au traitement. Les mesures hygiéno-diététiques sont évidemment cruciales, mais souvent mal suivies. Diverses études ont montré que la plupart des patients DT2 nécessitent la prescription d'au moins 3 antihypertenseurs pour atteindre les objectifs tensionnels (à tout le moins si ceux-ci sont fixés à un niveau <130/80 mm Hg) [14].

2.2.6 Le cancer et le DT2

Un lien entre le diabète et le cancer a été clairement établi, Selon de récentes séries d'études et méta-analyses, les cancers touchant le pancréas, le foie, le côlon, les seins, les voies urinaires

et l'endomètre surviennent plus fréquemment chez les patients diabétiques, Il convient de noter que ces travaux concernent dans leur grande majorité des patients diabétiques de type 2.

Le carcinome hépatocellulaire est augmenté d'un facteur de deux à trois en cas de diabète. Ce phénomène peut s'expliquer par une concentration d'insuline plus élevée au niveau hépatique en raison de la circulation portale et, également, par un risque accru de stéatose hépatique non alcoolique chez les diabétiques qui peut conduire à la stéato-hépatite, à la cirrhose et au carcinome hépatocellulaire. On observe aussi une fréquence plus élevée de cancer du pancréas chez les personnes atteintes de diabète type 2, avec une hausse d'approximativement 80%.

Il est néanmoins parfois ardu de déterminer si l'apparition d'un néoplasie pancréatique est la cause ou le résultat du diabète.

D'autres types de cancer présentent une association, bien que moins prononcée, avec le diabète qui reste significative. Par exemple, chez les femmes atteintes de diabète présentent un risque accru de cancer de l'endomètre et du sein, et ce, indépendamment du fait qu'elles soient ou non obèses. En effet, les données épidémiologiques montrent un risque relatif de 2,1 pour le cancer de l'endomètre et de 1,2 pour le cancer du sein chez les patients atteints de diabète comparativement aux individus non diabétiques.

- **Traitement antidiabétiques et cancer**

Il apparaît que les médicaments antidiabétiques oraux ont une influence divergente sur l'apparition du cancer. Il semble que la metformine ait un effet bénéfique en réduisant légèrement le risque de développement du cancer. Ce potentiel protecteur pourrait être attribué, d'une part, à la diminution indirecte du taux d'insuline circulant qu'elle provoque et, d'autre part, à sa capacité à influencer certaines voies de signalisation au sein de la cellule. Effectivement, Cette molécule déclenche la voie de signalisation de la protéine kinase activée par l'AMP (AMPK), qui à son tour stimule une protéine suppresseur de tumeur LKB1. En outre, la metformine bloque la voie de signalisation intracellulaire qui dépend de l'insuline et de l'IGF-1 et qui stimule la multiplication cellulaire.

D'autre coté les sulfonylurées pourraient augmenter l'apparition de cancer en raison de l'action sécrétagogue d'insuline qu'elles induisent. Les données épidémiologiques sur les glizatonnes sont pour l'instant trop faibles pour tirer des conclusions bien que ces molécules sembleraient posséder une activité antiproliférative de par leur liaison au récepteur PPAR γ impliqué dans la différenciation cellulaire [15].

- **Triple thérapie orale dans le diabète type 2**

La combinaison classique de traitement oral comprend la metformine et un sulfamide.

De nombreuses recherches ont examiné l'impact de l'intégration d'une glitazone à cette bithérapie initiale.

Plusieurs études cliniques de 16 à 26 semaines ont prouvé la sécurité et la bonne tolérance du traitement combiné metformine-sulfamide-glitazone. Dans les essais contrôlés ou les essais ouverts, l'ajout d'une TZD (thiazolidinediones) chez des patients n'étant pas parfaitement maîtrisés avec une bithérapie standard a généralement entraîné une baisse des niveaux d'hémoglobine glyquée (HbA1c) comprise entre 1 et 2%, en comparaison avec le placebo ou la valeur au début de l'étude.

Suite à un premier essai évaluant la troglitazone, la majorité des recherches ont porté sur la rosiglitazone. La première recherche de grande ampleur a impliqué 837 patients traités avec une combinaison de metformine et de glibenclamide à des doses maximales tolérées, répartis aléatoirement en trois groupes :

- Placebo (traitement sans effet thérapeutique actif)
- Rosiglitazone 4 mg/jour
- Rosiglitazone 8 mg/jour

Elle révèle une réduction des niveaux d'HbA1c de 0,58% et de 1,09% suite à l'ajout de rosiglitazone à 4 et 8 mg respectivement, comparativement au placebo. Une autre étude randomisée de grande envergure a révélé que l'intégration de la rosiglitazone à 4 mg par jour, associée à une combinaison optimisée de glyburide et de metformine, diminue le niveau d'HbA1c de 1,0% comparativement à l'ajout d'un placebo suite à 24 semaines d'observation.

Plusieurs études ouvertes ayant inclus un nombre réduit de patients traités avec une combinaison metformine-sulfamide, à laquelle a été incorporée une dose de 4 ou 8 mg de rosiglitazone, ont révélé ces résultats.

Des recherches à long terme en ouvert ont confirmé l'efficacité de cette thérapie combinée en trois volets. Dans une étude portant sur la troglitazone, l'efficacité constatée à six mois (43% des patients montrant un taux d'HbA1C inférieur à 8% dans le groupe traité avec de la troglitazone comparativement à 6% seulement dans le groupe placebo, recevant un mélange de metformine et de sulfamide) a persévéré jusqu'à douze mois lors d'une observation ouverte.

Dans une recherche non contrôlée menée auprès de quarante-huit patients latino- ou afro-américains, 60 % d'entre eux ont bien réagi après quatre mois suite à l'ajout de rosiglitazone à un traitement intégrant déjà des doses maximales tolérées de sulfamides (glibenclamide ou glipizide) et la metformine, maintenant une excellente [16].

2.3 Diabète type 1(DID)

Le diabète de type 1 anciennement appelé diabète insulino-dépendant (car il implique nécessairement un traitement par insulinothérapie, contrairement au diabète de type 2 qui peut être pris en charge différemment). Ou diabète juvénile, est une maladie auto-immune. Cela signifie que le système immunitaire attaque les cellules du pancréas responsables de la production d'insuline [17]. Cette forme de diabète se déclare surtout chez les jeunes avant l'âge de 20 ans. Dans le cas du diabète de type 1, la glycémie n'est plus régulée. Ce type de diabète ne se traite que par des injections quotidiennes d'insuline, besoin vital, associées à une surveillance alimentaire et glycémique [18].

2.3.1 La progression et la physiopathologie de Diabète type 1

En dépit des progrès réalisés dans le diagnostic et le traitement du diabète de type 1 (DT1), la gestion de cette maladie demeure extrêmement onéreuse. La préservation à long terme des cellules bêta pancréatiques pour éviter le DT1 demeure un enjeu crucial non résolu dans la physiopathologie du DT1 au stade préclinique. Depuis plus d'un siècle, plusieurs études signalent une réduction de la dimension du pancréas dans le cas du diabète, en se basant sur des analyses post-mortem et des examens radiologiques (par échographie, scanner, IRM), montrant une diminution de 31 à 52% chez les diabétiques de type 1 de longue date et de 26 à 31% chez les diabétiques de type 1 récents. Les îlots de Langerhans ne constituent que 1 à 2% du volume fonctionnel du pancréas. Ainsi, la réduction de volume est secondaire à une diminution du volume exocrine. On a également observé cette diminution de volume chez des donneurs d'organes qui étaient positifs pour l'anticorps du diabète de type 1 (AcDT1).

Ces résultats indiquent que la réduction de la dimension du pancréas s'accompagne d'une diminution de la masse cellulaire bêta. D'autres recherches ont aussi révélé une baisse des fonctions exocrines, sans impact clinique (réduction de la chymotrypsine et de l'élastase), chez des patients atteints de DT1 récents.

Les hypothèses proposées pour la réduction de la taille du pancréas dans le DT1 sont :

- La diminution de l'action insulinothrophique sur les cellules acineuses.
- La dégradation immunologique du tissu exocrine pancréatique.
- Les influences épigénétiques, génétiques et environnementales.

Les avancées dans la technologie de l'IRM continuent d'améliorer la qualité de l'interprétation pancréatique, l'IRM étant devenue un outil diagnostique indispensable pour les pathologies pancréatiques. L'objectif de cette étude était de mesurer par IRM le volume pancréatique (VP)

des apparentés du premier degré (APD) avec ou sans AcDT1 et de le comparer à celui de sujets contrôles, n'ayant pas d'histoire familiale de DT1 [19].

2.3.2 Étiologie de Diabète Type 1

L'ensemble de ces éléments engendre un déséquilibre du système immunitaire, qui tend à rompre la tolérance immune à l'égard des cellules β . Les îlots seront infiltrés par les cellules immunitaires, un phénomène plus couramment appelé insulite. C'est à ce moment-là qu'elles peuvent mettre en œuvre leur activité cytotoxique sur les cellules β et provoquer un état inflammatoire chronique. Il faut se rappeler que l'origine précise de la maladie demeure encore aujourd'hui non identifiée. Un certain nombre de chercheurs contestent l'idée que la maladie soit uniquement de nature auto-immune. Toutefois, il est indéniable que l'inflammation joue un rôle crucial dans le DT1 [20].

2.3.3 Prévention et traitement de DT1

La prévention vise à éviter l'hyperglycémie et/ou les complications à long terme, Elle peut être mise en œuvre à diverses étapes du processus pathologique. Il existe trois catégories de prévention :

- **Niveaux des préventions :**

La prévention primaire : Il serait souhaitable d'éviter l'exposition des individus génétiquement prédisposés à des facteurs déclenchants externes connus. Cependant, jusqu'à ce jour, cette approche s'est avérée inefficace du fait de notre ignorance quand à ces facteurs.

La prévention secondaire : Cherche, à travers des interventions pharmacologiques, à ralentir le processus pathologique préclinique. Cela implique, d'une part, l'élaboration de critères objectifs pour repérer et surveiller au stade infraclinique grâce à des indicateurs biologiques, et d'autre part, la mise en place de stratégies pour freiner ou stopper leur progression.

La prévention tertiaire : tente à réduire les fluctuations glycémiques et les complications à long terme suite au diagnostic clinique du diabète de type 1 [21].

Une fois le diagnostic de DT1 posé, il est essentiel d'élaborer un plan de traitement adapté aux besoins spécifiques du patient atteint de diabète de type 1 (DT1)

- **L'insulinothérapie**

Pour le patient diabétique de type 1 qui ne produit plus d'insuline, le traitement par insuline nécessite de suivre ce principe d'injection d'insuline à chaque repas, tout en conservant une dose basale d'insuline entre les repas et pendant la nuit. L'expression «basal-prandial» ou «basal-bolus» désigne ce mode d'administration de l'insuline. L'utilisation de stylo-injecteurs dotés d'aiguilles ultrafines en silicone a considérablement simplifié l'adhérence des patients diabétiques à ces protocoles impliquant des multi-injections quotidiennes [22].

Les types d'analogues d'insuline (injection) :

Il y a plusieurs types de préparations d'insuline, mais l'usage clinique exige deux principales variantes : les versions dites « rapides » qui gèrent les repas et les versions dites « à longue durée » qui visent à assurer une dose basale d'insuline entre les repas et pendant la nuit. Dans les deux cas, les analogues pourraient offrir un bénéfice comparativement aux insulines traditionnelles.

Les analogues d'insulines rapides «mealtime» : Ces analogues sont plus efficaces pour maîtriser l'hyperglycémie postprandiale. Cependant les études indiquent que les taux d'HbA1c ne diminuent pas de manière significative si les besoins en insuline basale ne sont pas également optimisés.

Grâce à une injection sous-cutanée continue d'insuline (pompe à insuline) ou via une adaptation du schéma basal d'insuline à longue durée d'action, on peut espérer une diminution modérée de l'HbA1c, de l'ordre de 0,5%.^{10, 11} Néanmoins, il se pourrait qu'un meilleur contrôle du pic postprandial (et de la variabilité glycémique qui en résulte, peu reflétée par les valeurs intégratives de l'HbA1c) ait également un impact positif sur le développement des complications du diabète.

Cette hypothèse sera sans doute très difficile à démontrer dans une étude clinique prospective. Le principal avantage des analogues ultrarapides, outre le fait de faciliter la vie des patients diabétiques au quotidien en permettant l'injection juste avant le repas et en supprimant la nécessité de collations, est la réduction des phénomènes hypoglycémiques, à niveau de contrôle glycémique similaire, voire amélioré [22].

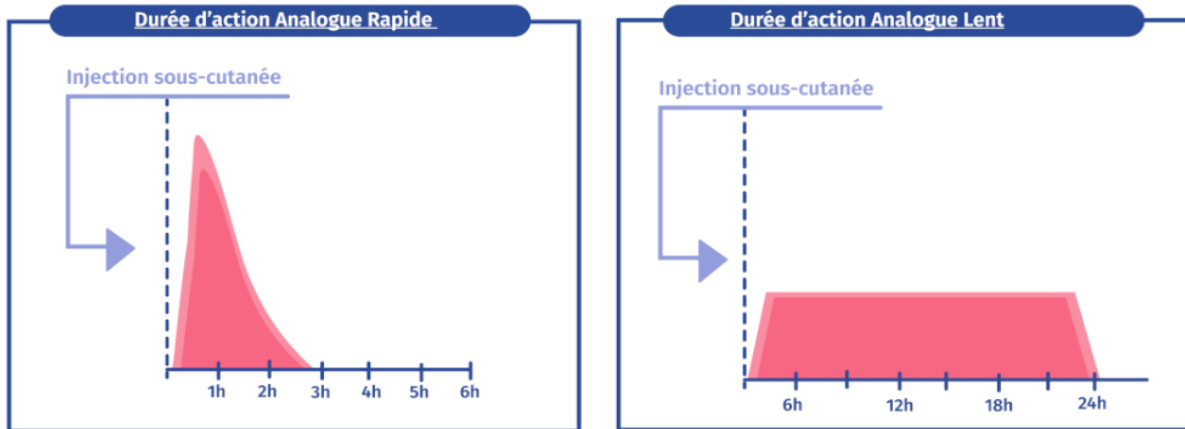


Figure 3: la durée d'action des analogue d'insuline rapide/ basales.

Les analogue d'insulines basales « longue durée d'action » : La plupart des études ont comparé l'insuline glargine ou l'insuline détenir à l'insuline NPH. On constate une diminution du nombre d'hypoglycémies (nocturnes en particulier), mais, dans les conditions expérimentales imposées par le protocole, il n'y a pas d'amélioration significative de l'HbA1c. La glargine garde son efficacité quelle que soit l'heure de la journée à laquelle elle est injectée. Cet élément est parfois apprécié par les patients qui peuvent s'injecter cette insuline de longue durée d'action à un autre moment qu'au coucher, à condition de l'injecter toujours au même moment de la journée pour un patient donné. Le schéma basal-prandial est le gold-standard du traitement par insuline du diabète de type 1 et les nouveaux analogues de l'insuline tendent à rapprocher les variations des concentrations insuliniques sous traitement de celles observées en physiologie : les analogues ultrarapides simulent la sécrétion insulinique postprandiale et l'analogue lent est sensé reproduire au mieux la sécrétion basale de l'hormone.

Les pompes sous-cutanées d'insuline : l'insulinothérapie intensifiée peut aussi être administrée par une pompe sous-cutanée. C'est un petit dispositif programmable équipé d'une cartouche d'insuline rapide, qui permet l'injection d'insuline à travers un cathéter placé sous la peau de l'abdomen. Le patient a donc la possibilité de planifier un débit basal constant, et de délivrer des « bolus » d'insuline rapide correspondant à l'insuline pour les repas ou les ajustements. Les principes fondamentaux et le choix des doses d'insuline demeurent identiques à ceux des traitements intensifiés par injections. Il est crucial, voire impératif, de continuer à effectuer des autocontrôles de la glycémie. Néanmoins.

Les pompes sous-cutanées montrent des avantages indéniables :

Le patient n'est plus obligé de se faire des injections, ces dernières étant substituées par l'utilisation de l'appareil. L'élimination des injections favorise, entre autres, une utilisation plus

régulière des insulines de correction.

Il est possible d'administrer l'insuline avec une précision accrue.

Effectivement, le débit de base peut être réglé heure par heure, ce qui facilite une substitution plus précise surtout durant la seconde partie de la nuit, lorsque les besoins augmentent à cause du « phénomène de l'aube ».

Cette meilleure alternative se manifeste fréquemment par une réduction des nécessités en insuline. L'utilisation de la pompe à insuline permet une variabilité basale moindre par rapport aux injections d'insuline intermédiaire. Par conséquent, lorsque le contrôle de la glycémie est équivalent, le danger d'hypoglycémie est réduit. [23] .

2.4 Diabète gestationnel (DG)

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le diabète gestationnel (DG) est défini comme une anomalie de la tolérance au glucose qui entraîne une hyperglycémie variable en termes de sévérité. Il se manifeste ou est diagnostiqué pour la première fois pendant la grossesse, indépendamment du traitement requis et de l'évolution dans le post-partum. C'est le résultat d'une résistance à l'insuline qui se manifeste dès le deuxième trimestre de la grossesse et qui s'accompagne d'une hausse des complications périnatales et maternelles [24].

2.4.1 Facteur de risque de DG

En ce qui concerne les facteurs de risque traditionnels, ceux qui influencent le plus sont les antécédents personnels de diabète gestationnel, l'âge de la mère et l'obésité. L'influence des origines ethniques et des antécédents familiaux de diabète de type 2 est importante, mais plus faible. Au cours des dernières années, divers facteurs atypiques ont été identifiés, qu'ils relèvent de la physiologie (comme un faible poids à la naissance ou une petite taille maternelle) ou de pathologies (telles que l'insulinorésistance ou le syndrome des ovaires polykystiques). La complexité de la prédiction du risque individuel est due à la diversité et à l'interaction des multiples facteurs de risque [25].

2.4.2 Physiopathologie de diabète gestationnel

L'insulinorésistance et l'hyperinsulinisme. La résistance à l'insuline est un phénomène normal et temporaire qui se manifeste au début du deuxième trimestre et s'intensifie progressivement durant le troisième trimestre. Cela pourrait découler de la combinaison d'une croissance de la masse grasse maternelle et d'un effet « anti-insulinique » des hormones sécrétées par le placenta.

Donc, elle est stimulée par la production de progestérone, d'hormone lactogène placentaire (lactogène placentaire humaine), de prolactine, de cortisol et de leptine. Dans des conditions physiologiques, la sécrétion hépatique naturelle de glucose s'accroît en fin de grossesse tandis que l'usage périphérique du glucose maternel diminue graduellement (environ -30 % en début de grossesse, -70 % en fin de grossesse). Ce déséquilibre glycémique conduit à une prédominance de l'hyperinsulinisme en état postprandial. Ceci se manifeste par une hyperglycémie majoritairement postprandiale qui a un impact significatif sur l'apport en nutriments à l'unité fœtoplacentaire.

Durant le DG, l'insulinorésistance se manifeste légèrement plus vite, mais demeure comparable à celle d'une grossesse normale à terme.

Le facteur dominant est une réduction de la sécrétion d'insuline en état postprandial. Le diabète gestationnel découle d'un déséquilibre entre la production interne d'insuline et les exigences des tissus. Chez les femmes atteintes de diabète gestationnel pendant la grossesse, la quantité de cellule bêta pancréatique est diminuée, mais cela s'applique également en dehors de cette période. Cette restriction de la réserve d'insuline se manifeste sous forme d'hyperglycémie pendant la grossesse uniquement lorsque la production d'insuline n'est plus suffisante pour répondre aux exigences en insuline à la fin de la grossesse.

L'apparition d'un DG révèle en fait une altération chronique de la cellule bêta du pancréas. Moins de connaissances existent concernant la physiopathologie des complications fœtales liées à l'hyperglycémie chez la mère. L'hyperglycémie de la mère provoque une hyperglycémie chez le fœtus, ce qui engendre une hyperinsulinémie fœtale.

L'insuline joue un rôle dans la croissance fœtale, mais elle n'est pas le seul facteur. Cette hausse sera donc à l'origine d'un accroissement de l'adiposité et de la macrosomie, ainsi que d'hypoglycémies durant la période néonatale lorsque l'exposition à l'hyperglycémie se termine [24].

2.4.3 L'épidémiologie de diabète gestationnel

Depuis 20 ans, on observe une augmentation du diabète gestationnel (DG), attribuée principalement aux changements dans les régimes alimentaires des patientes, à la sédentarité, à l'accroissement de l'âge des mères et à la hausse de l'indice de masse corporelle (IMC). L'augmentation récente peut s'expliquer par l'adoption de nouveaux critères diagnostiques recommandés par le Collège national des gynécologues et obstétriciens français, ainsi que par la Société francophone de diabétologie en 2010. Effectivement, la prévalence du diabète gestationnel (DG) qui était de 4 à 5 % en 2005 est estimée à 14 % en France suite à ces

nouvelles recommandations. Les facteurs de risque majeurs pour le DG incluent un historique personnel de DG, avec une estimation de récurrence variant entre 30 et 84%, l'âge et les antécédents familiaux de DT2 chez un parent proche.

L'activité physique représente un facteur protecteur de DG, en diminuant d'environ 50 % son risque de survenue. Le niveau socioéconomique, la multiparité, le tabagisme actif et la prise de poids gestationnelle ne semblent pas être des facteurs de risque indépendants de DG. Les recommandations pour la pratique clinique ont choisi de conserver cinq facteurs de risque pour orienter le dépistage [24].

2.4.4 Dépistage du diabète gestationnel

Avant les directives françaises de 2010, le dépistage du DG se faisait principalement entre la 24^e et la 28^e semaine d'aménorrhée, à l'aide de deux méthodes distinctes :

la méthode en deux étapes : un test de O'Sullivan (qui consiste à mesurer la glycémie une heure après l'ingestion de 50 g de glucose) ; si celle-ci révélait une anomalie, le diagnostic du DG était établi par une hyperglycémie provoquée orale (HGPO) impliquant l'administration de 100 g de glucose. La méthode en une seule étape : est le test OMS (HGPO avec 75 g de glucose à 2 heures). Quelques équipes faisaient appel à un dosage de glycémie à jeun, ou de manière sporadique, ou bien en ayant recours à un repas test.

Enfin, malgré l'abaissement physiologique du seuil rénal du glucose pendant la grossesse et la mauvaise valeur diagnostique de ce test, la recherche d'une glycosurie fait encore partie des moyens de dépistage utilisés dans certains pays. En 2010, le groupe de travail des recommandations pour la pratique clinique a cherché à uniformiser la méthode de dépistage du DG sur le territoire national.

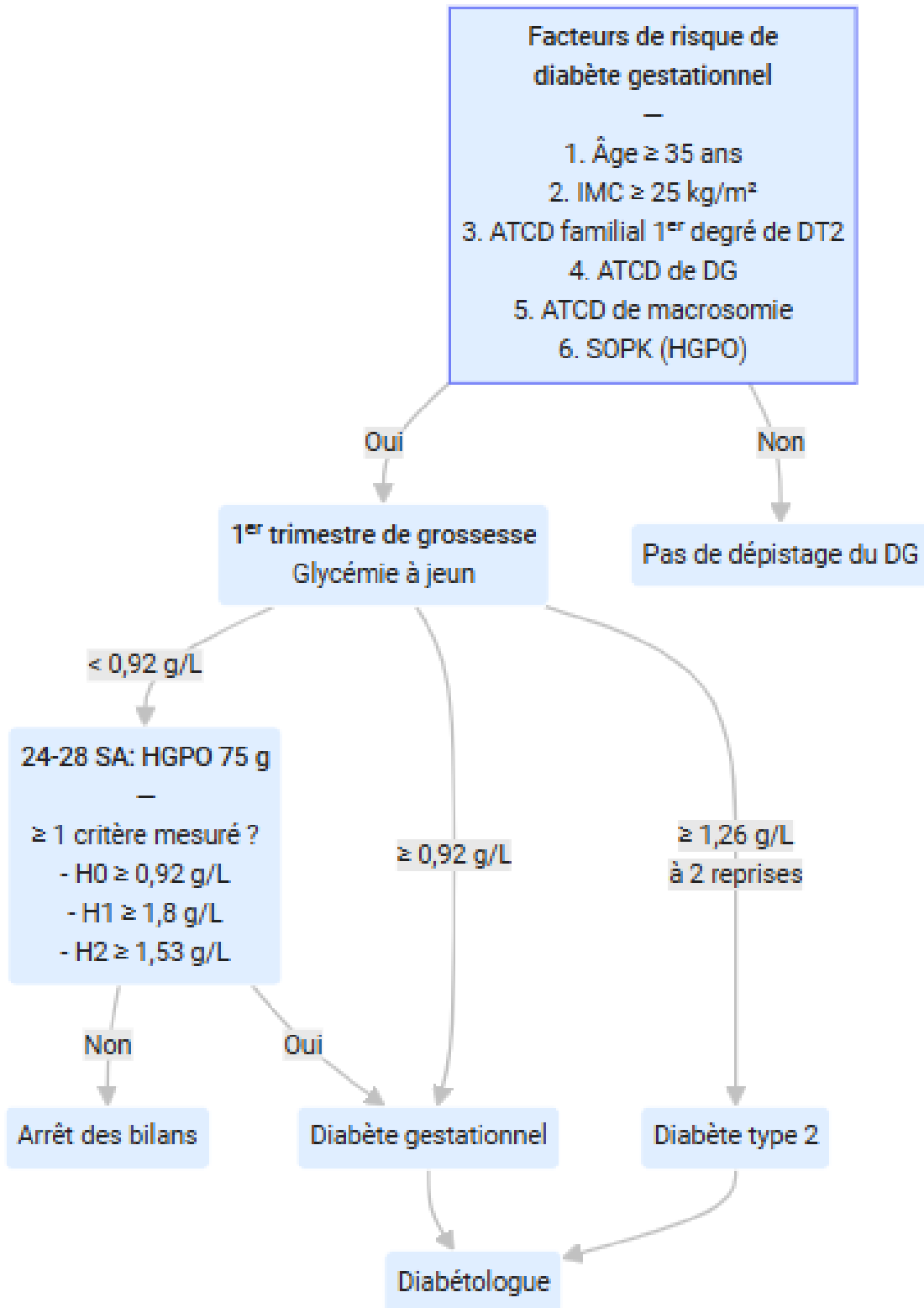


Figure 4: Conduite à tenir pour le dépistage et la prise en charge du diabète gestationnel [26].

2.4.5 Complication fœtus et maternels

- **Complication maternelles**

On associe le diabète gestationnel à une probabilité plus élevée de prééclampsie et d'accouchement par césarienne. Ces risques montrent un lien linéaire positif avec le niveau initial de l'hyperglycémie. L'obésité et l'excès de poids sont des éléments de risque pour le prééclampsie et la césarienne, indépendamment de la présence du diabète gestationnel. Il semble que le diabète gestationnel n'augmente pas les taux d'accouchement assisté, de déchirure périnéale grave et d'hémorragie postpartum. En ce qui concerne le long terme, les femmes ayant eu un diabète gestationnel ont une probabilité de 30 à 84% de le connaître à nouveau lors d'une grossesse future. De plus, elles ont un risque sept fois plus élevé de développer un diabète de type 2, deux à cinq fois plus probable d'avoir un syndrome métabolique et une chance multipliée par 1,7 de développer ultérieurement un trouble cardiovasculaire. Le diabète de type 2 peut se développer après l'accouchement (dans 5 à 14% des situations) ou ultérieurement (le risque pouvant augmenter jusqu'à 25 ans) [27] .

- **Complication fœtus**

Les complications périnatales spécifiquement liées au diabète gestationnel sont rare mais elles sont augmentées en cas de diabète de type 2 méconnu. La macrosomie est la principale conséquence néonatale démontrée d'un diabète gestationnel. C'est le facteur prédominant lié aux complications signalées dans le contexte du diabète gestationnel. Il est probable que l'élévation modérée de l'incidence des malformations chez les femmes atteintes de diabète gestationnel par rapport à la population générale soit associée à la présence de cas non diagnostiqués de diabète de type 2. Dans le contexte du diabète gestationnel, le danger d'asphyxie chez le nouveau-né et de décès périnatal ne présente pas une augmentation. Les blessures obstétriques et les lésions du plexus brachial sont des incidents peu fréquents, et l'élévation du danger en présence de diabète gestationnel n'est pas officiellement prouvée. Il est complexe d'évaluer le risque de détresse respiratoire, toutes causes confondues. Aucune donnée n'est disponible pour faire un lien entre les troubles respiratoires chez les nouveau-nés et le diabète gestationnel. Le taux signalé de l'hypoglycémie néonatale grave dans le contexte du diabète gestationnel est faible, mais il est ardu d'évaluer le risque en raison de la variabilité de la définition de l'hypoglycémie dans les diverses recherches. Le risque d'hypocalcémie associé au diabète gestationnel est similaire à celui de la population générale. Le risque

d'hyperbilirubinémie présente une légère hausse [25].

- **Complication chez l'enfant à long terme**

La grossesse est liée à un risque accru d'obésité chez l'enfant. Des recherches récentes ont également établi que le développement du diabète de type 2 et du syndrome métabolique à l'âge adulte pourrait être influencé par un environnement in utero hyperglycémique.

2.4.6 Le traitement de diabète gestationnel

De nombreuses recherches interventionnelles ont été publiées récemment dans le but de prévenir l'installation du diabète gestationnel. Ces études visent à réduire les complications associées à court et à long terme, tout en diminuant également le coût des soins médicaux. Ces recherches portent soit sur des programmes d'exercice physique, soit sur des changements alimentaires, soit encore sur l'usage de suppléments nutritionnels (probiotiques, huile de poisson) ou de metformine, dans certaines communautés à risque (syndrome des ovaires micropolykystiques). Ces programmes n'ont pas encore réussi à démontrer leur efficacité et l'adhésion des patientes est fréquemment irrégulière :

- **Traitement nutritionnelle et activité physique**

Le traitement nutritionnel constitue le fondement du soin pour toutes les patientes atteintes de diabète gestationnel. Selon les directives révisées de l'institut de médecine en 2009, le poids recommandé à prendre chez les femmes atteintes de diabète gestationnel est fonction de leur IMC initial :

IMC < 18.5 kg/m² : prise pondérale recommandée de 12.5-18 kg.

IMC 18.5-24.9 kg/m² : prise pondérale recommandée de 11.5-16 kg.

IMC 25-29.9 kg/m² : prise pondérale recommandée de 7-11.5 kg.

IMC ≥ 30 kg/m² : prise pondérale recommandée de 5- 9 kg.

Il est recommandé aux femmes souffrant d'obésité de diminuer leur consommation calorique d'environ un tiers par rapport à leur alimentation pré-grossesse, tout en maintenant un minimum de 1600 à 1800 Kcal/jour. La consommation de glucides doit représenter 35-45% de l'apport calorique total, répartie sur trois repas et deux à quatre collations. La consommation d'hydrates de carbone à faible indice glycémique et la prise de fibres peuvent contribuer à la régulation de la glycémie. Sans contre-indication obstétricale, une pratique régulière d'activité physique

d'environ 30 minutes 3 à 5 fois par semaine est aussi préconisée.

- **L'insulinothérapie**

L'insulinothérapie est initiée si les objectifs glycémiques ne sont pas atteints après 7 à 10 jours de mesures hygiéno-diététiques. Les données disponibles dans la littérature sont rassurantes concernant l'efficacité et la sécurité des analogues rapides Lispro et Aspart durant la grossesse. Si une insuline à longue durée d'action est nécessaire, la NPH est utilisée habituellement.

3. Les agents hypoglycémiants

Actuellement, les médicaments hypoglycémiants oraux ne sont pas conseillés comme première option pendant la grossesse, bien que les informations sur le glibenclamide et la metformine paraissent rassurantes. Il est nécessaire de réaliser d'autres recherches afin de considérer leur utilisation régulière pendant la grossesse, le principal problème étant que la majorité des médicaments hypoglycémiants oraux traversent la barrière placentaire et qu'il existe peu d'informations concernant leur sécurité à long terme pour les enfants. Dans la plus vaste recherche à ce jour qui compare la metformine et l'insuline pour le soin du diabète gestationnel, aucune distinction significative n'a été notée concernant les complications fœtales entre les deux groupes. Environ une moitié des mères soignées avec de la metformine ont également dû recourir à l'insuline pour atteindre leurs objectifs. Thérapeutiques recommandées. Malgré cela, la metformine semble être avantageuse en ce qui concerne la prise de poids et la quantité d'insuline nécessaire durant la grossesse.

4. Difficulté de la prise en charge diabétique

De multiples recherches ont désormais clairement établi l'effet bénéfique d'un bon contrôle de la glycémie, d'une réduction du LDL-cholestérol et de la pression artérielle sur la prévention des complications diabétiques à la fois micro- et macroangiopathiques. Selon ces données, de multiples organisations nationales et internationales ont établi des objectifs de traitement pour le diabète :

Un taux d'hémoglobine glyquée inférieur à 7 %.

Pour les lipides, un taux de LDL-cholestérol inférieur à 2,6 mmol/l.

Concernant la pression artérielle des valeurs inférieures à 130/80 mm Hg.

Malheureusement, un grand nombre de patients diabétiques ne parviennent pas à atteindre les valeurs préconisées. En réalité, diverses études, qu'elles soient américaines ou européennes, ont

montré que généralement moins de 50% des patients diabétiques parvenaient à une hémoglobine glyquée inférieure à 7%. Dans certaines populations, les taux variaient de 21 à 43% des patients avaient une hémoglobine glyquée supérieure à 9,5%. De plus, seulement entre 22 et 46% des patients diabétiques parvenaient à atteindre des niveaux de LDL-cholestérol en dessous de 2,6 mmol/l, et un pourcentage similaire a été observé pour ceux ayant une tension artérielle inférieure à 130/80 mm Hg. En considérant tous les critères, qu'ils soient glycémiques, lipidiques ou liés à la pression artérielle, moins de 10% des patients diabétiques les satisfont, [28].

5. Diabète et personnes âgées

Les personnes âgées présentent la prévalence la plus élevée du diabète par rapport aux autres tranches d'âge. Il arrive fréquemment que les symptômes soient sournois et inhabituels, ce qui peut entraîner un retard dans le diagnostic et l'instauration d'un traitement performant. Le diabète est lié à une augmentation de la mortalité, à une dégradation de l'état fonctionnel et à un accroissement du risque d'institutionnalisation.

Les individus plus âgés sont davantage exposés au risque de complications micro et macrovasculaires. Néanmoins, c'est un groupe qui a bénéficié de peu de recherches, les personnes âgées atteintes de diabète et polymorbidité étant fréquemment omises des études contrôlées.

Randomisées. Le principal défi réside dans la disparité de leur condition physique, compliquant la mise en place d'interventions standardisées pour cette tranche d'âge. . Il nécessite donc une gestion individualisée qui tiendra compte des dimensions cliniques, fonctionnelles et psychosociales. La gestion du diabète et de ses complications, y compris les objectifs glycémiques, les thérapies et le suivi, doit prendre en considération la longévité de la maladie, l'état fonctionnel du patient, les comorbidités existantes et l'espérance de vie. Selon des études scientifiques et l'opinion d'experts, l'American Diabetes Association (ADA), l'European Association for the Study of Diabète (EASD), l'International Association of Gerontology and Geriatrics (IAGG) et l'European Diabète Working Party for Older People (EDWPOP) ont établi un consensus concernant la prise en charge des personnes âgées atteintes de diabète.

Le défi majeur lors de la gestion d'un patient senior est de détecter les indices d'un diabète débutant décompensé, qui se présente souvent avec des symptômes atypiques liés à l'émergence progressive de syndromes gériatriques. Dans un contexte hospitalier, l'identification du diabète est généralement facile lors d'une admission pour une affection aiguë. Cependant, près de la moitié de ces patients ne seront pas réévalués après leur sortie de l'hôpital, ce qui peut avoir des

conséquences. Sérieuses pour la sécurité du patient [29].

***Chapitre 02 : « Diabète et
nutritions : Vers une
gestion optimale »***

1. Introduction

Les individus diabétiques doivent s'assurer d'une alimentation diverse et délicieuse, appropriée à toute la famille. Outre les médicaments et l'exercice physique, une nutrition appropriée constitue le fondement essentiel du traitement du diabète. Les objectifs spécifiques de l'alimentation pour les personnes diabétiques sont :

Optimisation du taux de sucre dans le sang et des lipides, ainsi que de la pression artérielle.

Diminution du poids en cas de surpoids.

Prévention des complications liées au diabète (dommages aux organes) [30].

Dans le cadre du diabète, les glucides ne sont pas interdits, bien au contraire, ils sont préconisés tant qu'ils restent dans des proportions raisonnables.

Aussi les aliments gras : il est primordial de réduire la consommation d'aliments riches en matières grasses pour gérer son poids (huile, beurre, fromage, etc.).

Effectivement, l'excès de poids est la cause principale du diabète, sur une base prédéterminée. Si l'excès de poids augmente, la glycémie a tendance à augmenter également. Toutefois, une perte de poids en cas de surcharge peut améliorer, voire rectifier, les niveaux glycémiques.

Pour cela Les recommandations nutritionnelles cherchent à établir une harmonie dans l'alimentation et ne devraient pas donner lieu à des prohibitions strictes. Le régime s'appuie sur les principes suivants :

Le choix des aliments.

Le mode de consommation des aliments.

La répartition des prises alimentaires sur la journée [31].

2. Historique

La nutrition occupe une place centrale dans la gestion du diabète, un thème de discussion qui dure depuis plus de 3500 ans. Les recommandations diététiques initiales, telles que celles du Papyrus Ebers datant de 1550 avant J-C., faisaient allusion à l'apport en glucides, tandis que des limitations ont été suggérées aux 6 siècles après J-C. Durant les 17^e et 18^e siècles, les recommandations alimentaires oscillaient entre une alimentation riche en glucides et des régimes restreignant leur apport. À la fin du 19^e et au commencement du 20^e siècle, des régimes restrictifs et contrôlés ont été adoptés, certains mettant l'accent sur une consommation élevée de glucides.

Depuis le milieu du 20^e siècle, l'American Diabetes Association (ADA) a mis en place des orientations alimentaires pour la prise en charge du diabète, comprenant des programmes de

repas répartissant les macronutriments avec 20 % de protéines, 40 % de graisses et 40 % de glucides. Ces conseils étaient destinés à parvenir à un poids optimal, à éviter les sucres simples, et à personnaliser les programmes en fonction des exigences des patients atteints de diabète de types 1 et 2. Face à la montée des complications cardiovasculaires liées au diabète, l'attention s'est peu à peu orientée vers la diminution de la consommation de graisses alimentaires et l'accroissement de l'apport en glucides jusqu'à atteindre 60 % des calories. En se focalisant sur les diverses exigences des patients souffrant de diabète de type 1 et de type 2 [32].

3. Pyramide alimentaire diabétique

La nourriture renferme des composants essentiels au fonctionnement optimal de l'organisme : des protéines, des lipides (ou graisses) et des glucides (ou sucres alimentaires) :

3.1 Les glucides

Ils devraient constituer 50 à 55 % de l'apport énergétique total. On les désigne aussi comme des «hydrates de carbone » ou tout simplement comme des «sucres».

- **Les types d'éléments glucidiques :**

Les aliments qui ont un goût sucré : Appelés « glucides simples », comprennent notamment le sucre raffiné, le miel, les confitures, diverses boissons gazeuses et les desserts instantanés. Le lait, les fruits, et autres aliments contiennent également du sucre, bien que dans des quantités moindres.

Les féculents : Ou « glucides complexes = amidon » : généralement, les aliments de cette catégorie ne possèdent pas une saveur douce. Pourtant, ils génèrent du glucose dans le système digestif. Les glucides complexes comprennent les céréales, le pain, les pommes de terre, les haricots blancs et les lentilles, entre autres. L'indice glycémique évalue l'effet d'un aliment sur la glycémie dans les deux heures suivant sa consommation.

Les aliments à faible indice glycémique augmentent graduellement le taux de sucre dans le sang. Les aliments à fort indice glycémique entraînent rapidement une augmentation du taux de sucre dans le sang. Cette indexation est applicable uniquement si la nourriture est consommée de manière isolée. La consommation simultanée d'autres aliments (protéines, fibres...) peut contribuer à réduire l'indice glycémique d'un aliment.

On recommande de restreindre la consommation des aliments à haut indice glycémique (sauf dans certaines circonstances, comme en cas d'hypoglycémie), et de les consommer uniquement

lors des repas [31].

3.2 Les lipides

Toujours On fait la distinction entre les acides gras provenant des plantes (généralement insaturés) et ceux d'origine animale (principalement saturés). Les lipides contribuent à la construction des cellules et apportent également de l'énergie. Ils sont généralement conservés en stock. Les lipides possèdent une valeur calorique approximativement deux fois supérieure à celle des glucides. Un gramme de graisses fournit 9 kilocalories, tandis qu'un gramme de glucides ou de protéines n'en apporte que 4 kilocalories. Pour perdre du poids, il est généralement nécessaire de réduire la consommation de matières grasses.

On trouve des lipides dans le beurre, les huiles, la crème etc...

- **Les types d'éléments lipidiques :**

Il y a deux catégories principales de graisses (lipides) :

- **Les graisses saturées :** leur consommation doit être extrêmement limitée car elles contribuent aux maladies cardiovasculaires. On les trouve dans les viandes de porc, d'agneau et certaines coupes de bœuf (entrecôte, faux-filet, etc.), le beurre, la charcuterie, ainsi que divers fromages.

- **Les graisses insaturées (mono et polyinsaturées) :** Généralement d'origine végétale, on en trouve aussi chez les poissons. Le poisson est une source de protéines et, généralement, il est riche en bonnes graisses polyinsaturées. Il faut lui accorder la priorité. Les huiles d'olive, de noix, de pépins de raisin et de colza contiennent une grande quantité d'acides gras insaturés. Les oméga 3, qui sont des acides gras polyinsaturés, ont un effet protecteur contre les maladies cardiovasculaires. On les trouve principalement dans les poissons qualifiés de «gras » (comme le hareng, le maquereau et les sardines). Idéalement, la contribution en graisses devrait se répartir comme suit :

- 1/3 d'acides gras polyinsaturés.
 - 1/3 d'acides gras mono-insaturés.
 - 1/3 d'acides gras saturés.

Et devrait représenter entre 30 et 35 % de l'apport calorique total.

3.3 Les protides (protéines)

Les protéines proviennent principalement de la viande, du poisson, des produits laitiers et des œufs. Quelques plantes fournissent aussi des protéines, bien que moins variées telles que les légumineuses, le soja, etc. L'apport en protéines devrait représenter approximativement 15 à 20 % de la consommation globale de calories. Pour maintenir sa masse musculaire, il est essentiel de consommer suffisamment de protéines chaque jour.

La **figure 5** ci-dessous présente une pyramide alimentaire.



Figure 5: pyramide alimentaire [33].

4. Recommandations alimentaires liées au diabète

4.1 Recommandations alimentaires liées au DT1

L'objectif thérapeutique nutritionnel dans le cadre du DT1 est d'améliorer le bien-être des patients, d'éviter les complications aiguës (hypoglycémie, acidocétose diabétique) ainsi que les complications à long terme liées au diabète (macrovasculaires et microvasculaires). On recommande souvent aux individus atteints de DT1 d'adopter une alimentation équilibrée conforme aux conseils du Guide alimentaire canadien, en privilégiant les aliments à faible densité énergétique pour favoriser la sensation de satiété et limiter les excès alimentaires. Les exigences en matière de calories et de macronutriments pour les personnes atteintes de DT1 sont identiques à celles de la population générale avec quelques spécificités pour la prévention

des maladies. À l'inverse des personnes atteintes de DT2, les études ne révèlent aucun agencement idéal de macronutriments ou régimes alimentaires avantageux pour celles touchées par le DT1. Il est recommandé d'avoir une consommation de fibres comprise entre 25 et 50 g par jour, ou de 15 à 25g pour chaque tranche de 1000 kcal ingérées quotidiennement.

Selon les recommandations de Diabète Canada, la consommation de lipides chez un individu atteint de DT1 devrait correspondre à celle de la population générale, soit 20-35% des calories totales. Il est conseillé de restreindre les graisses saturées à moins de 7% des calories et d'éviter autant que possible les graisses Trans. Il est recommandé de privilégier la consommation de gras insaturés, avec une limite de 20 % des calories pour les gras monoinsaturés et de 10 % pour les gras polyinsaturés.

4.2 Recommandations alimentaires liées au DT2

La réduction du poids est une priorité dans la gestion des patients souffrant de diabète sucré de type 2. Il y a plusieurs approches contradictoires pour perdre du poids, y compris les régimes à faible teneur en glucides, les régimes à indice glycémique bas, les régimes végétaliens faibles en matières grasses, les régimes traditionnels pauvres en graisses et les régimes riches en protéines et en acides gras monoinsaturés. Aucune preuve ne soutient clairement qu'une approche diététique soit manifestement la plus efficace. La stratégie la plus performante est celle que le patient peut mettre en œuvre et maintenir sur le long terme [34].

L'approche nutritionnelle cherche à :

- Réguler la glycémie en fonction des valeurs cibles et viser un taux d'hémoglobine glyquée ($HbA1c$) $\leq 7\%$.
- Soutenir la gestion du poids, que ce soit en le maintenant ou en le réduisant, tout en garantissant une croissance appropriée.
- Améliorer le traitement des comorbidités (par exemple, la dyslipidémie, l'hypertension).

Néanmoins, la compréhension actuelle du traitement nutritionnel du diabète de type 2 chez les jeunes est limitée. Faute de données spécifiques à cette clientèle, l'ISPAD propose des conseils basés sur ceux destinés aux adultes atteints de diabète de type 2, aux jeunes diabétiques de type 1 et aux enfants en surpoids ou obèses [35].

4.3 Recommandations alimentaires liées au diabète gestationnel

Bien que l'alimentation de la femme enceinte n'ait pas de lien direct avec le développement d'un

diabète gestationnel, une fois le diagnostic établi, la nutrition s'avère cruciale pour la gestion de cette forme spécifique de diabète. Dans un rapport récent, des spécialistes ont proposé divers conseils pour une meilleure gestion du diabète gestationnel. Elles se basent sur les recherches les plus récentes et les connaissances récemment acquises dans ce domaine. Le fait de contracter un diabète gestationnel pendant la grossesse ne nécessite pas l'élimination totale des aliments sucrés pendant 9 mois, contrairement à ce que l'on pourrait penser. Effectivement, afin de préserver leur bien-être ainsi que celui du fœtus, les femmes enceintes doivent garantir un apport journalier adéquat en glucides. Lorsqu'il s'agit de diabète gestationnel Il est crucial que ces apports soient distribués tout au long des trois repas. Ceci contribue à l'amélioration de l'équilibre du glucose dans le sang. Ceci contribue à optimiser l'équilibre du taux de sucre dans le sang. Il est aussi essentiel de privilégier autant que possible les aliments à faible indice glycémique, tout en diversifiant l'alimentation. Une nutrition appropriée est essentielle pour le traitement du diabète gestationnel.

En adoptant un régime alimentaire approprié, vous commencerez à stabiliser vos taux glycémiques. Il faut saisir que ce n'est pas un régime à proprement dit, mais plutôt une harmonisation de l'alimentation qui vous permettra de gérer votre taux de sucre dans le sang. Nous allons maintenant examiner comment préparer des repas équilibrés et appropriés pendant la grossesse [36].

5. Quelques types des régimes alimentaires

L'American Diabetes Association préconise les diètes méditerranéennes, Low Carb et végétalienne pour un meilleur équilibre glycémique. S'il n'existe pas de preuves solides attestant d'un régime spécifique plus adapté aux jeunes atteints de diabète de type 2, Diabète Canada encourage une alimentation sur mesure répondant aux besoins du jeune. Pour atteindre les apports nutritionnels de référence recommandés pour la population générale, il est conseillé de privilégier une alimentation saine et équilibrée conformément aux principes du Guide alimentaire canadien.

5.1 Le régime méditerranéen

Le régime méditerranéen, également connu sous le nom de régime crétois, trouve ses racines dans la région méditerranéenne. Il est réputé pour promouvoir l'équilibre nutritionnel sur une base hebdomadaire. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un régime rigide, le régime méditerranéen privilégie généralement la consommation de fruits, légumes, céréales complètes, grains entiers,

légumineuses, noix, graines et matières grasses saines. Il convient de restreindre ou d'interdire complètement les aliments transformés et ultra-transformés (AUT), les sucres ajoutés et les céréales raffinées. Selon une méta-analyse, cela est avantageux pour la gestion du diabète de type 2 afin d'améliorer le taux de sucre dans le sang et le taux de cholestérol, pour traiter le syndrome métabolique ainsi que pour prévenir le diabète.

5.2 Régime LowCarb

Un régime LowCarb est une alimentation faible en glucides (présents surtout dans les produits sucrés, les pâtes et le pain). Des protéines, des matières grasses naturelles et des légumes substituent les glucides. Des études démontrent qu'un régime faible en glucides peut favoriser la perte de poids et la régulation de la glycémie, parmi d'autres bénéfices.

5.3 Le régime végétalien

On peut considérer un régime végétalien comme la version la plus rigoureuse du végétarisme. Le véganisme est une pratique qui cherche à éliminer autant que faire se peut toutes les manifestations d'exploitation et de cruauté envers les animaux. Ainsi, un régime végétalien ne comprend pas seulement la viande animale, mais aussi les produits laitiers, les œufs et tout ingrédient d'origine animale. Cela inclut le miel, la gélatine, le carmin de cochenille (un colorant naturel fréquemment utilisé dans l'industrie alimentaire), la pepsine (une enzyme d'origine animale), la gomme-laque (employée dans les secteurs alimentaire et pharmaceutique), l'albumine (utilisée pour adoucir les vins rouges riches en tannins, etc.), la caséine (protéine présente dans le lait des vaches) et certaines variantes de vitamines [37].

***Chapitre 03 : « Pronostique
du diabète : Prévention des
complications »***

1. Introduction

Le diabète est une pathologie chronique nécessitant des soins médicaux constants et une auto-prise en charge par le patient, afin d'éviter les complications **à court terme** (comme l'hypoglycémie ou l'hyperglycémie) et de minimiser le risque de complications sur **le long terme** (telles que les troubles cardiaques, l'insuffisance rénale, la rétinopathie, les atteintes nerveuses, ou encore l'atteinte des vaisseaux sanguins).

Ces complications peuvent toucher divers systèmes corporels engendrant des conséquences graves sur la santé.

2. Classifications des complications de diabète

On a deux grands types des complications liées au diabète (à long et à court terme) :

2.1 Les complications à long terme

Complications chroniques du diabète

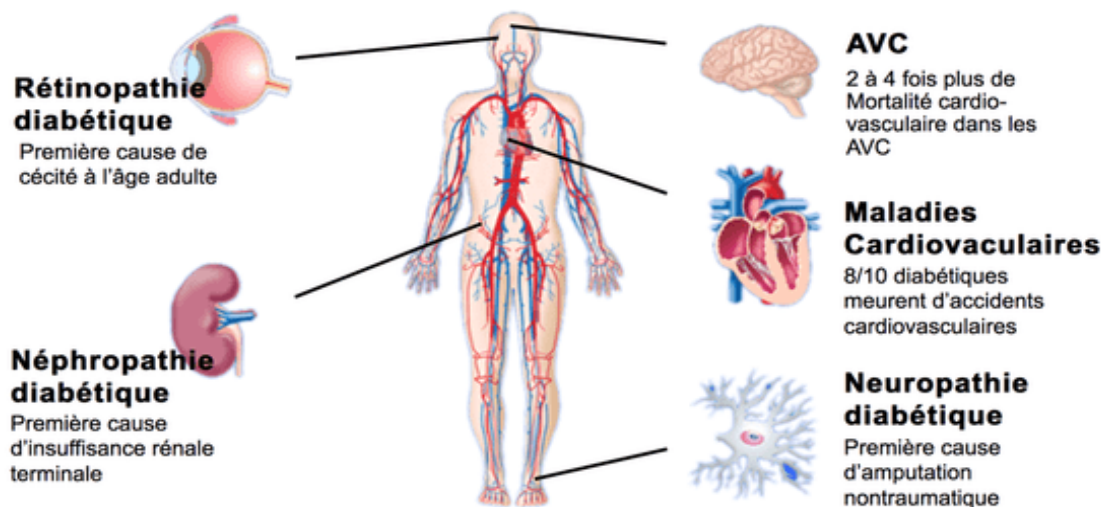


Figure 6: les complications macro\microvasculaire de diabète [38].

2.1.1 Les maladies cardio-vasculaires

En dépit des statistiques épidémiologiques prometteuses des trois dernières décennies, indiquant une baisse significative de la mortalité cardiovasculaire, avec une réduction d'environ 45% des incidents cardiovasculaires chez les patients atteints de diabète de type 1 et type 2.

Néanmoins, la bataille est encore loin d'être remportée. Actuellement, les maladies cardiovasculaires demeurent la principale cause de décès parmi les patients atteints de diabète. [39] . Parmi les problèmes cardiovasculaires liés au diabète les plus populaires on peut citer :

- **La cardiomyopathie :**

Le diabète, en particulier, accroît significativement le risque de développement d'une insuffisance cardiaque (cardiomyopathie). Cela est associé non seulement à un risque élevé de coronaropathie et à une fréquence élevée de l'hypertension artérielle (HTA) chez les patients atteints de diabète, mais aussi à une affection spécifique du muscle cardiaque due au diabète, nommée cardiomyopathie diabétique.

La présence de cette cardiomyopathie spécifique associée au diabète repose sur des données épidémiologiques, une multitude d'études précliniques, ainsi que la détection d'anomalies cardiaques précoces lors du diabète.

Néanmoins, la notion de cardiomyopathie diabétique s'impose progressivement au sein des sphères cardiologiques et diabétologiques. Bien qu'il ait été établi depuis longtemps que l'hypertension artérielle est responsable d'une cardiopathie hypertensive pouvant conduire à une insuffisance cardiaque, le concept de cardiomyopathie diabétique ne figure que récemment dans les recommandations récentes, aussi bien européennes que nord-américaines. Toutefois, l'absence de thérapie spécifique réduit actuellement l'utilité de son identification dans la pratique clinique.

La compréhension de cette affection précise et de ses mécanismes physiopathologiques nourrit l'espoir, dans un avenir proche, de développer des stratégies d'identification pour les patients à haut risque d'insuffisance cardiaque. Cela pourrait permettre de prévenir - ou retarder - l'apparition de la maladie, découvrir de nouvelles cibles thérapeutiques et élaborer de nouveaux traitements pour l'insuffisance cardiaque chez les patients diabétiques [40].

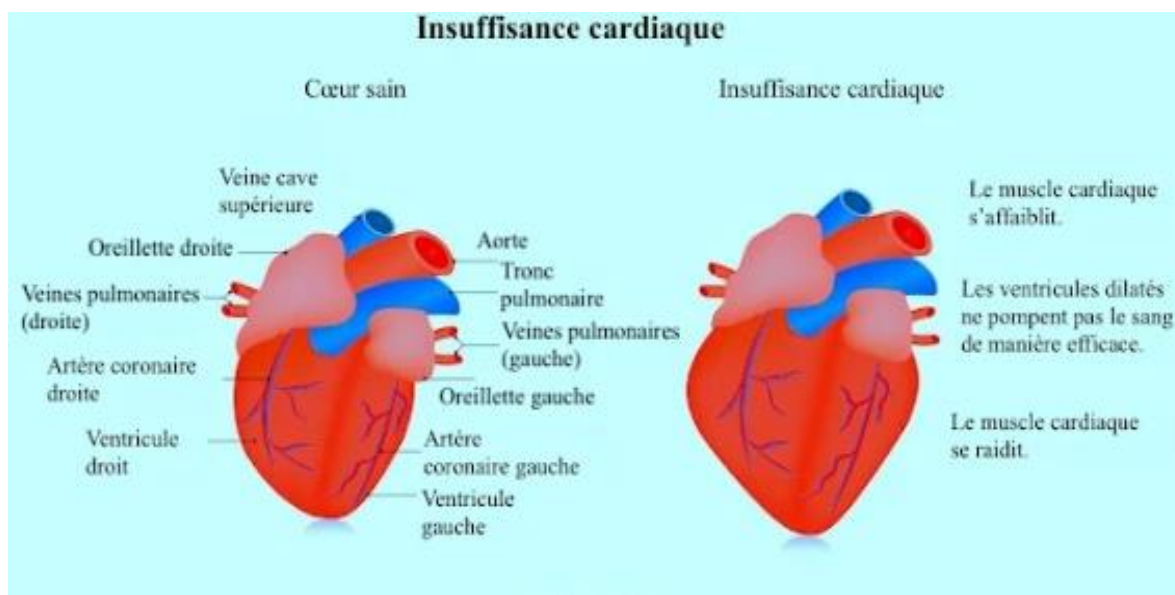


Figure 7 : Comparaison entre un cœur sain et un cœur en insuffisance cardiaque [41].

Les mécanismes pathogénèse de la cardiomyopathie :

La cardiomyopathie diabétique a une origine multifactorielle. On a avancé diverses suppositions, y compris un dysfonctionnement autonome, des troubles du métabolisme, des irrégularités de l'homéostasie ionique [42]. Également. Un état d'hyperglycémie prolongé peut amplifier la glycation des protéines interstitielles comme le collagène, [43].

Entraînant ainsi une raideur et une diminution de réduction de la contractilité myocardique chez les patients atteints de diabète sucré. Cela concerne :

- Une perturbation de l'équilibre homéostatique du calcium.
- Une stimulation positive du système rénine-angiotensine.
- Un stress oxydatif amplifié.
- Une dégradation du métabolisme du substrat.
- Un dysfonctionnement mitochondrial.

- **La maladie coronarienne diabétique :**

Le diabète expose considérablement à la cardiovasculaires principalement en raison de l'impact sur les coronaires, qui est non seulement courant, mais aussi plus insidieux et plus grave. Effectivement, pour les patients diabétiques, les formes aiguës se distinguent par des syndromes coronariens aigus sévères, tandis que les formes stables se manifestent par des épisodes fréquents d'ischémies myocardiques discrètes, nécessitant une détection précoce dans le cadre d'une approche stratifiée.

Prise en charge diagnostique du coronarien diabétique :

La prise en charge diagnostique du coronarien chez les patients diabétiques nécessite plusieurs phases cruciales pour analyser leur santé cardiaque. Voici un aperçu des techniques et processus fréquemment appliqués :

Le syndrome coronaire aigu ST+ : le SCA ST+ se manifeste par une douleur sévère, serrée et durable de plus de 30 minutes, qui peut être accompagnée de vomissements, de sueurs ou d'une impression de mort imminente. Le diabète présente des aspects atypiques, incluant des formes plus complexes telles que la chymotrypsie ou la douleur thoracique. Les électrocardiogrammes ont la capacité de poser un diagnostic rapide en identifiant plus de deux variantes de battements cardiaques et en suggérant une thérapie de reperfusion. On recommande souvent un taux de sucre élevé dans les situations stressantes, et l'échocardiographie joue un rôle crucial dans le diagnostic [44].

Le syndrome coronaire aigu ST - : Le SCA ST - est caractérisé par une accélération du rythme cardiaque, que ce soit en mouvement ou au repos, l'apparition d'un nouveau rythme cardiaque ou un changement de rythme après un infarctus du myocarde. L'évaluation est généralement normale, cependant, d'autres manifestations et symptômes tels que la tachycardie et l'obstruction aortique doivent être considérés. Les électrocardiogrammes peuvent détecter les anomalies T ou ST, cependant, des résultats normaux ne réfutent pas le diagnostic. La classification du risque repose sur les informations cliniques, électriques et biologiques. On considère un SCA à haut risque s'il présente au moins l'un des critères suivants : hausse de la troponine, déviation du sous-ST, insuffisance cardiaque ou complications liées à la revascularisation.

Angor stable : La stabilité de l'angor se manifeste par une douleur passagère des artères qui persiste 15 minutes, suscitée par l'effort et qui subsiste quelques minutes après la cessation de l'activité sans s'aggraver.

Néanmoins, chez les personnes atteintes de diabète, cette douleur est incertaine du fait de sa nature et de son intensité inhabituelle. L'examen est fréquemment insatisfaisant, mais peut permettre d'écarter des raisons fonctionnelles telles que le rétrécissement de l'aorte ou la cardiomyopathie hypertrophique. Les résultats des électrocardiogrammes peuvent être normaux ou indiquer la présence d'un infarctus. Le test de fraction d'éjection détecte l'ischémie, mais sa valeur prédictive est négative à 95 %. L'épreuve de stress pharmacologique ou l'échographie d'effort est effectuée chez les patients diabétiques, alors que la coronarographie est le standard diagnostique pour la maladie coronarienne ischémique.

Prise en charge thérapeutique du coronarien diabétique :
Le traitement vise, d'un côté, à gérer l'ischémie myocardique, à rétablir la circulation sanguine

dans le myocarde à risque, à maintenir la fonction du ventricule gauche et par conséquent, à réduire le taux de mortalité. De l'autre côté, il s'agit aussi d'équilibrer le diabète et de soigner les facteurs de risque cardiovasculaire. Il y'a deux type de traitement :

⇒ **Traitement médicamenteux :**

L'usage de bêta-globulines dans le traitement anti-ischémique est principalement destiné à diminuer la morbidité cardiovasculaire chez les patients diabétiques souffrant d'une maladie coronarienne. Ces médicaments ont démontré un effet bénéfique dans la prévention des infarctus, de la mortalité et des arythmies, avec une diminution de 23% de la mortalité. Les inhibiteurs de calcium et les dérivés de nitrate sont uniquement employés dans les situations où il existe une contre-indication. Leur efficacité se concentre principalement sur la diminution des symptômes cliniques sans morbidité. L'usage d'aspirine à doses de 75-150 mg dans le traitement anti thrombotique diminue la morbidité cardiovasculaire chez les patients atteints de diabète. Néanmoins, le danger d'hyperglycémie reste minime et l'utilisation du clopidogrel est préconisée pour son potentiel d'augmentation des bénéfices sans accroître le risque de saignement. Dans certains cas, l'usage d'anticoagulants n'est pas conseillé. Les statines servent à la prévention secondaire de la cardiopathie ischémique, en diminuant le niveau de LDL et le taux de mortalité.

⇒ **Traitement non médicamenteux :**

L'angioplastie coronarienne transluminale (ACT) a des résultats positifs pour les patients diabétiques, en particulier après l'utilisation d'un stent actif et la réduction du risque de resténose. L'emploi d'antiagrégants plaquettaires, comme l'abciximab, diminue le risque de décès et d'infarctus de plus de 50% six mois après une ACT. Le pontage aorto-coronarien (CAP) est recommandé pour les patients diabétiques, cependant la morbidité périopératoire est élevée avec un risque de complications postopératoires.

• **L'ischémie myocardique silencieuse :**

Une ischémie myocardique silencieuse (IMS) se définit comme une baisse temporaire de la perfusion myocardique, qui se manifeste par une altération subséquente de la fonction et de l'activité cardiaque, sans aucune douleur thoracique ou angine. Il est probable qu'elle soit associée à la neuropathie diabétique et à un renforcement de l'intensité de la douleur. On observe une variation de sa prévalence entre 10 et 30 %. On distingue trois catégories : le type 1,

asymptomatique et sans antécédents d'œdème coronaire, le type 2, également asymptomatique mais avec infarctus du myocarde, et le type 3 qui se manifeste par des crises anginales coronariennes accompagnées d'épisodes d'EMI. Il est recommandé de surveiller plus attentivement les patients diabétiques pour l'EMI, notamment chez les individus asymptomatiques à haut risque de type 2, les patients de type 1 et ceux souffrant d'une maladie cardiaque.

2.1.2 La Rétinopathie diabétique

La rétinopathie diabétique (RD) représente une complication oculaire associée au diabète, influençant le pronostic fonctionnel. Elle est la principale source de cécité chez les individus de moins de 60 ans dans les nations développées. À l'âge de 15 ans, jusqu'à 2% des personnes atteintes de diabète sont aveugles, tandis que 10% présentent une déficience visuelle. La rétinopathie diabétique est le résultat d'une hyperglycémie prolongée, incluant les signes oculaires de la micro-angiopathie diabétique (MAD) [45].

Les mécanismes oculaires de la rétinopathie diabétique sur le plan clinique, la RD peut être classée en deux groupes évolutifs : le groupe proliférant (avancer) et le groupe non proliférant (non avancer) :

- **La rétinopathie diabétique non proliférant (RDNP) :**

La rétinopathie non proliférant (RDNP) est la forme la plus fréquente et correspond à une atteinte légère à modérée. Le domaine focal (FO) étudie les micro-anévrismes, les hémorragies, les irrégularités de la micro-vascularisation intra-rétinienne (AMIR), les en chapelles veineuses et les nodules cotonneux. Les micro-anévrismes sont des structures rétinoïdes circulaires qui ont un diamètre variant de 1 à 100 μm , souvent rouges ou blanches et ils peuvent être parfois accompagnés d'hémorragies ou d'un épaissement au sein de la rétine, en particulier dans la zone temporale de la macula. Les nodules cotonneux sont des épaisissements des fibres nerveuses ou des cellules ganglionnaires, résultant d'une ischémie aiguë localisée. Les AMIR sont associés à une néo-vascularisation ou à une restructuration des vaisseaux déjà présents, manifestant sous forme de flammes, de points distincts ou de zones plus larges aux bords irréguliers [46].

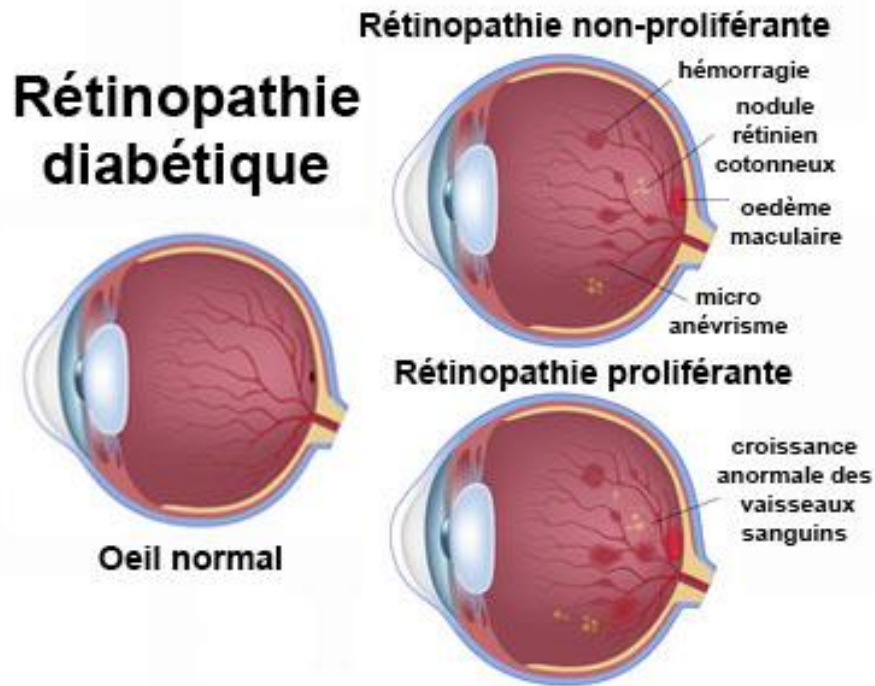


Figure 8: les mécanismes Oculaires du Diabète [47].

- **La rétinopathie diabétique proliférante (RDP)**

C'est le résultat d'une ischémie rétinienne plus grave, elle se manifeste par la formation d'une néo-vascularisation fragile ou d'une croissance fibreuse le long du nerf optique ou dans d'autres zones, accompagnée de saignements pré-rétiens ou vitréens, et éventuellement d'un décollement de la rétine. Ces hémorragies peuvent devenir une cause importante de cécité. Si le nerf est endommagé, cela pourrait provoquer un glaucome, susceptible d'atteindre le nerf optique [48].

La Figure 9 illustre une angiographie de la rétine. Les flèches noires indiquent des néo-vaisseaux, qui sont des vaisseaux sanguins anormaux et vulnérables. L'indication de la flèche blanche, dénote des régions d'ischémie, où l'apport sanguin est diminué ou inexistant. L'anomalie micro-vasculaires, comme les hémorragies en forme de taches de sang, les exsudats cotonneux et les nodules rétiens, sont mises en évidence par la flèche orange.

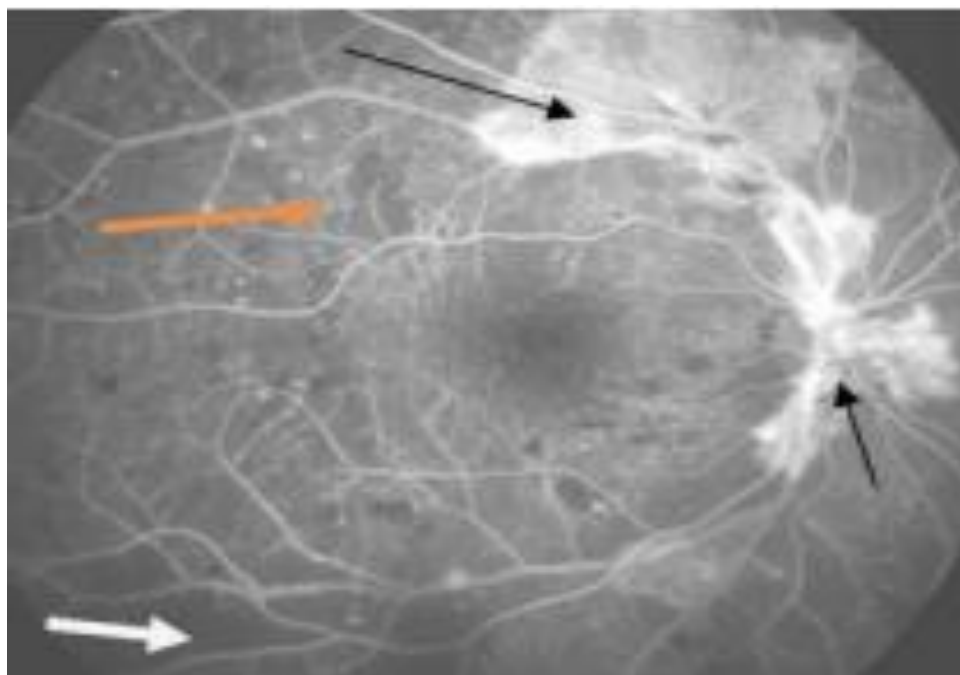


Figure 9: classification d'éléments glucidiques [49].

- **Méthodes imagerie les complications rétinopathie diabétique**

L'angiographie à la fluorescéine et la tomographie par cohérence optique (OCT) valident le diagnostic, évaluent l'étendue des dommages, guident le traitement et assurent un suivi. L'échographie en mode B est employée dans les situations où il y a une opacification des milieux transparents (comme dans le cas de la cataracte) et lors d'hémorragies intra-vitréennes [50].

L'angiographie à la fluorescéine :

Sert à détecter et mesurer les caillots dans les vaisseaux sanguins ainsi que les changements de circulation au niveau de la rétine. Les micro-anévrismes se manifestent comme des points d'hyper-fluorescence qui ne semblent pas croître en taille, mais plutôt, ils tendent à diminuer au fur et à mesure que l'examen progresse. Les zones hypo-fluorescentes correspondant au sang et aux hémorragies punctiformes facilitent leur distinction par rapport aux micro-anévrismes. Les régions non perfusées se manifestent sous la forme de taches homogènes sombres délimitées par des vaisseaux sanguins obstrués. Les irrégularités de la microvascularisation rétinienne se trouvent typiquement aux extrémités des zones non perfusées de la rétine, et elles sont révélées par la présence d'une circulation collatérale sans fuites [51].

La tomographie par cohérence optique (OCT) :

Il a plusieurs rôles à jouer. Il permet tout d'abord de confirmer le diagnostic d'OM en identifiant l'épaississement rétinien de manière objective. Il permet par la suite de localiser précisément, tant par rapport au centre fovéal (grâce à des logiciels de topographie rétinienne), que sur des

sections haute définition dans la rétine (rétine interne, rétine externe, espace sous-rétinien). De plus, l'observation de certaines structures rétinienne telles que la ligne IS/OS (qui marque la jonction entre les segments internes et externes des photorécepteurs) ou la membrane limitante externe pourrait fournir des renseignements sur l'éventuel dommage (ou la préservation) de ces structures et servir ainsi d'indicateur pronostique pour l'acuité visuelle. En fin de compte, il offre une représentation exacte de l'interface vitréo-rétinienne, dévoilant parfois un élément de traction associé ou à l'origine de l'OMD (syndrome de traction vitréo-maculaire ou membrane épi-rétinienne contractile). Cet examen est spécialement bénéfique pour le diagnostic dans les cas de diabète [52].



Figure 10: Examen tomographie par cohérence optique (OCT) [53].

Échographie en mode B :

Elle confirme la présence d'une hémorragie intra-vitréenne associée à une rétinopathie diabétique proliférante, due au saignement des néo-vaisseaux, et fournit des informations sur l'état des membranes en vérifiant la possible existence d'un décollement tractionnel.

- **Surveiller la rétinopathie diabétique :**

La fréquence et les techniques de suivi ophtalmologique des patients atteints de diabète sont déterminées en fonction de la sévérité de la maladie, des phases de vie et des éléments. Susceptibles d'accélérer sa progression. Parmi les éléments qui favorisent cette évolution figurent l'accroissement de la demande en insuline, une observance insuffisante, des modifications hormonales et la tranche d'âge de 16 à 18 ans. Pour les personnes atteintes de diabète, un suivi ophtalmique est indispensable tous les trois à six mois. La présence d'une neuropathie diabétique sévère (NPDR) devrait entraîner la normalisation du glucose sous

surveillance de l'OT et/ou une photo-coagulation du pancréas avant l'intervention chirurgicale. Une évaluation préopératoire est nécessaire pour juger la gravité du DR avant de procéder à une intervention chirurgicale de la cataracte. Le contrôle de la pression artérielle ou de l'insuffisance rénale peut aussi favoriser l'évolution du DR.

2.1.3 La Néphropathie diabétique

La néphropathie diabétique est une complication courante et périlleuse du diabète. Environ 50% des patients atteints de diabète sont touchés par la néphropathie chronique [54].

Ce qui accroît considérablement leur risque de troubles cardiovasculaires. Certains d'entre eux progresseront même vers une insuffisance rénale en phase terminale. Au Canada, le nombre de patients atteints de diabète nécessitant une dialyse a plus que deux fois augmenté entre 1995 et 2005. Il est donc crucial de mettre en œuvre des mesures préventives pour ralentir l'apparition de la néphropathie, d'effectuer un dépistage systématique et d'assurer une prise en charge précoce dans le cadre du suivi des individus diagnostiqués avec le diabète.

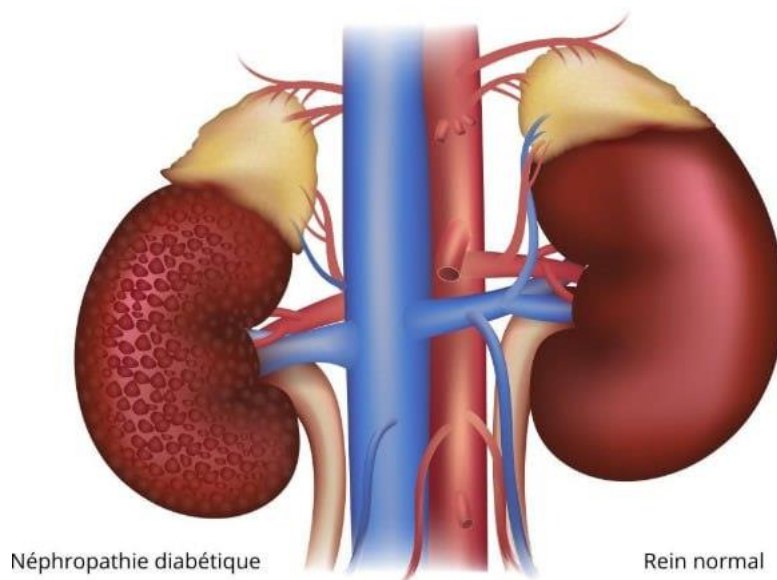


Figure 11: La néphropathie chez les Diabétiques [55].

- **L'évolution de La néphropathie chez les Diabétiques :**

En général, l'évolution de la maladie rénale chez un individu diabétique suit cinq étapes anatomo-fonctionnelles successives [56].

Même si une élévation du niveau d'albumine dans les urines précède généralement la défaillance rénale, le taux de filtration glomérulaire a plutôt tendance à baisser progressivement à partir des valeurs normales ou supérieures à la normale.

- **La prévention de la néphropathie diabétique :**

Dernièrement, effectivement, le diabète s'est établi comme la principale source d'insuffisance rénale terminale dans nos nations industrialisées et on observe une hausse continue de l'incidence de cette maladie. Il est probable que plusieurs facteurs expliquent cette croissance : le vieillissement démographique, la hausse de la fréquence du diabète, l'amélioration de la pérennité des patients diabétiques grâce à certaines interventions thérapeutiques qui peuvent être préjudiciables pour la fonction rénale.

Toutefois, il y a des stratégies préventives prouvées efficaces qui, si elles sont appliquées de manière systématique et déterminée, pourraient peut-être stopper cette véritable « épidémie »

La prévention primaire :

On entend par prévention primaire les mesures mises en œuvre avant le stade ND avérée, soit chez le patient asymptomatique du point de vue rénal, soit en présence d'une microalbuminurie. Les mesures préventives pour le diabète de type 1 comprennent la gestion de la glycémie, ce qui peut réduire le risque de développer un diabète de type 1. L'American Diabetes Association recommande une glycémie de 7 % ou moins avant et après les repas, et pas plus de 180 mg/dl après les repas. La microalbuminurie n'est pas incluse dans les évaluations annuelles du diabète chez les patients atteints de diabète de type 1 depuis au moins cinq ans. La méthode la plus simple consiste à réaliser une microalbuminurie sur l'urine pendant le diagnostic, en utilisant un échantillon d'urine toutes les nuits pour éviter l'orthostatisme ou l'exercice physique. Si l'élimination urinaire dépasse 20 µg/minute, un traitement préventif est recommandé. L'étude UKPDS souligne l'importance de contrôler la glycémie chez les patients diabétiques de type 2, car le risque de microalbuminurie et de protéinurie diminue par rapport à ceux qui n'ont pas d'insuline ou d'antidiabétiques oraux [57].

La prévention secondaire :

Une fois la protéinurie établie, le taux de filtration glomérulaire (DFG) diminue graduellement à des rythmes variables, menant à une défaillance rénale avancée et un taux de mortalité cardiovasculaire anticipé. Les actions ont pour objectif de diminuer la morbidité liée à

l'insuffisance rénale en phase terminale en freinant sa progression, en minimisant les complications associées et en préparant les patients aux méthodes de dialyse extra-rénale ou de transplantation. Les méthodes d'évaluation de la DFG incluent les équations de Cockcroft-Gault, l'évaluation de la clairance de la créatinine et la déproportionation isotopique. Une nouvelle formule, MDRD, offre une estimation plus précise du DFG comparée aux méthodes utilisant la mesure de la créatinine dans le sang. Une version simplifiée de cette formule pourrait être couramment employée dans les laboratoires de biologie clinique à l'avenir pour établir la concentration de la créatinine obtenue par des évaluations directe du DFG. Le Traitement des infections urinaires. Bien que le dépistage et le traitement régulier de la bactériurie asymptomatique chez les patients diabétiques ayant une fonction rénale normale ne présentent pas de bénéfice cela ne s'applique probablement pas aux infections symptomatiques (mictalgies et surtout, fièvre et douleur rénale) chez le patient ayant une insuffisance rénale. Le soin des infections urinaires devrait idéalement se baser sur un diagnostic exact (détection d'une leucocyturie et d'une bactériurie) et, si faisable, sur les conclusions d'une culture. En cas d'infection basse et d'insuffisance rénale légère, la nitrofurantoïne et le triméthoprime (préparé en magistrale) restent les molécules privilégiées. Bien que les quinolones restent pertinentes en cas d'infection sévère ou d'insuffisance rénale, leur utilisation fréquente a déjà entraîné la sélection de bactéries résistantes.

2.1.4 La Neuropathie diabétique

Le diabète est actuellement la principale source de neuropathie à l'échelle mondiale, principalement en raison de la hausse du nombre de diabètes de type 2, aussi appelés non insulino-dépendants, liés à l'obésité. Dans la plupart des situations, on observera une polyneuropathie sensitive affectant la partie terminale des membres inférieurs et qui a tendance à progresser vers la racine des membres cependant, les déficiences motrices sont rares et surviennent tardivement. Aussi les troubles trophiques des pieds et la douleur Neuropathique sont les complications majeures liées à ces formes. Dans plupart situation de neuropathie chez un patient diabétique, il est essentiel de vérifier s'il n'y a pas une autre cause à cette neuropathie qui pourrait être traitable. On utilisera des antidépresseurs tricycliques, de la prégabaline ou de la duloxétine pour traiter les douleurs. Un suivi du diabète aussi strict que possible réduit les chances de développer une neuropathie [58].

- **Type de la neuropathie diabétique :**

On peut schématiquement classer la neuropathie diabétique en affections périphériques, qui affectent principalement les membres inférieurs (polynévrite sensitivomotrice distale), et en affections autonomes, qui touchent divers systèmes (cardiovasculaire, digestif, uro-génital et potentiellement broncho-pulmonaire) [59], [60] :

Neuropathie diabétique autonome cardiaque :

On définit la NAC comme une irrégularité du système nerveux autonome, tant sympathique que parasympathique, et elle peut être identifiée à partir d'indices cliniques ou « sub-cliniques » (tests de dépistage positifs). Aussi est parmi les complications courante du diabète sucré, avec une prévalence variant de 2,4% chez les patients récemment diagnostiqués diabétiques à plus de 36% dans plusieurs grandes cohortes de personnes atteintes de diabète (en particulier de type 1). Les tests qui se fondent sur les fluctuations de la fréquence cardiaque révèlent une positivité chez 20 à 60 % des personnes diabétiques. Les neurologistes suggèrent que la présence d'une NAC anticipe largement l'apparition de l'hypotension orthostatique et son ensemble de symptômes. Il est parfois observé que la NAC se manifeste dès les premières années suivant le diagnostic du diabète. Il est désormais reconnu que la NAC ne doit pas être considérée comme une complication tardive et sans impact dans l'évolution du patient diabétique [61].

⇒ **Traitement de la Neuropathie diabétique autonome cardiaque :**

Il n'est pas vraiment question de traitement pour cette complication du diabète, mais plutôt d'adoption de mesures visant à minimiser l'effet clinique de la NAC, ou encore d'exploration de nouvelles avenues, manifestement porteuses d'espoir, mais qui restent actuellement dans le domaine de la recherche. Effectivement, n'ayant pas encore déchiffré la physiopathologie de la NAC, il est actuellement difficile de suggérer un traitement étiologique. Plusieurs actions concrètes ont déjà été suggérées et demeurent essentielles pour atténuer les problèmes liés à l'hypotension orthostatique [62].

Ces stratégies incluent des méthodes mécaniques ou pharmacologiques. Dans une approche plus expérimentale, de nombreuses molécules ont été ou sont toujours en train d'être examinées dans le but d'apporter une aide aux patients souffrant d'une NAC sévère.

Neuropathie diabétique périphérique :

Dans les pays développés, le diabète sucré est la cause principale de la neuropathie périphérique [63]. Il n'y a aucun doute, le diabète de type 2 est le plus répandu. Cela correspond à environ 85 à 90 % des patients souffrant de diabète. Lien historique entre le diabète et la neuropathie périphérique a été établi depuis la fin du dix-neuvième siècle, mais a fait l'objet d'une

description plus détaillée, notamment sur le plan clinique, depuis le début des années 1950. Dans une étude prospective réalisée en Belgique de 1947 à 1973. Lorsque l'on considère l'âge et la durée de la maladie, la fréquence de la neuropathie périphérique chez les patients atteints de diabète de type 1 est similaire à celle observée chez ceux atteints de diabète de type 2 [64]. Il persiste de nombreux débats sur la sévérité et la durée de l'hyperglycémie requises pour infliger des dommages au nerf périphérique, ce qui souligne l'importance des mécanismes physiopathologiques dans les discussions en cours à ce jour.

- **Traitement de la neuropathie Diabétique**

La gestion de la glycémie est le fondement du traitement de la neuropathie liée au diabète. Dans le cadre d'une recherche prospective de grande ampleur [65].

Un traitement intensif visant à maintenir un taux moyen d'HbA1c de 7,2% était lié à une diminution de 64% du risque sur cinq ans de neuropathie périphérique cliniquement attestée comparativement à des patients sous suivi plus traditionnel. L'identification anticipée d'une neuropathie chez un patient diabétique permet non seulement d'améliorer le traitement des symptômes neuropathiques, mais aussi d'optimiser la gestion métabolique et de prévenir ou retarder l'apparition d'autres complications liées au diabète comme la rétinopathie et la néphropathie. Même le plus faible niveau d'hyperglycémie ne permet pas d'éviter totalement l'apparition d'une neuropathie chez le patient diabétique [64].

- **Le pied diabétique**

Environ 15 % des personnes atteintes de diabète vont rencontrer des ulcères du pied au cours de leur existence, l'incidence annuelle d'ulcère du pied étant de 2 %. Dans le cas d'une polyneuropathie diabétique avancée, ce taux est considérablement plus élevé (7 %) [66].

Le pied diabétique constitue la raison majeure des admissions à l'hôpital (20 % des cas) chez les patients atteints de diabète. Environ 50% de toutes les amputations non traumatiques du membre inférieur touchent des patients atteints de diabète [67].

Le patient atteint de diabète court un risque d'amputation du membre inférieur qui est quinze fois supérieur à celui du patient non-diabétique. Ces données épidémiologiques mettent en évidence l'étendue du problème du pied diabétique et la prévention appropriée et un soin optimal nécessitent une compréhension approfondie de la physiopathologie complexe du pied diabétique et des atteintes dégénératives du système vasculo-nerveux.

L'infection et le pied diabétique

Le système immunitaire du patient diabétique est diminué face aux infections. Près de 20 % des pieds des individus atteints de diabète sont affectés par une infection [68].

L'apparition d'un phlegmon profond est favorisée par la défaillance microcirculatoire (avec une épaisseur accrue de la membrane basale) et leucocytaire [69]. Ces infections du pied diabétique, habituellement graves, se développent souvent discrètement, montrant une faible fièvre et une réponse inflammatoire restreinte. L'unique signe constant est une hyperglycémie. L'infection d'un ulcère entraîne souvent la nécrose des tissus en obstruant les capillaires, par ailleurs, des enzymes protéolytiques bactériennes ralentissent la cicatrisation.

La Figure 12 illustre la situation d'une gangrène humide sur une cicatrice d'amputation du gros orteil chez un patient diabétique, sans intervention de revascularisation préalable. Avec une propagation accélérée de la nécrose tissulaire.

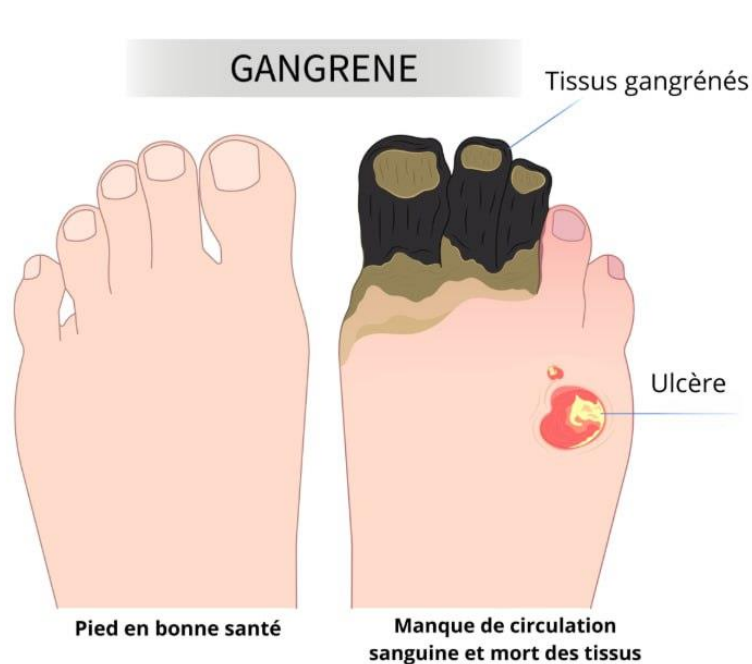


Figure 12: pied diabétique avec une infection gangrène humide [70].

Le traitement d'un pied diabétique :

Lorsque qu'un pied diabétique présente une ulcération ou une nécrose, une admission à l'hôpital est nécessaire [71]. Intervenir tôt, avant que la blessure du pied ne devienne sévère, améliore significativement les probabilités de préserver le membre inférieur [72].

La première étape consiste à optimiser la régulation du glucose, ce qui nécessite souvent l'utilisation de l'insuline. Les buts primordiaux du traitement incluent l'élimination de l'infection, le renforcement de la circulation sanguine au niveau du pied, ainsi que l'arrêt des

microtraumatismes récurrents.

⇒ **Pied diabétique neuropathique**

L'ulcération du pied neuropathique nécessite un repos total, sans appui sur le pied, afin de rompre le cycle des microtraumatismes récurrents [73]. L'excision progressive de la région d'hyperkératose entourant l'érosion plantaire sera effectuée [74].

Avec une ulcère soit plus petite que la cavité située sous la plaque d'hyperkératose. Lors d'un ulcère profond, le tissu nécrotique et fibrineux sera régulièrement débridé pour réduire le risque de surinfection. Seulement le pourcentage de 30 % des patients suivent strictement les recommandations de repos et de décharge [75].

Après la guérison de l'ulcère neuropathique, il est nécessaire d'adapter une chaussure sur mesure, dotée d'une semelle orthopédique appropriée qu'il renouvelée des chaussures peut se faire chaque année.



Figure 13: pied d'un patient diabétique avec la neuropathie [76].

⇒ **Pied neuro-ischémique :**

Dans le cas d'un pied neuro-ischémique, l'objectif sera de rétablir un flux sanguin approprié dans la région du pied [77], [78]. Même une ischémie légère peut être suffisante pour provoquer un trouble trophique, en raison de son interaction avec une neuropathie grave, une déformation de la structure du pied et la fréquence des infections secondaires. On peut largement débrider une escarre du talon. Par la suite, une calcanectomie partielle, suivie d'une couverture par un lambeau libre, permet de maintenir un soutien approprié [79].

L'usage du lambeau musculaire ou fascio-cutané permet de recouvrir d'importantes surfaces de

tissu perdu et de maîtriser les infections persistantes. Pour l'ostéoarthrite limitée, l'intervention chirurgicale prévoit une élimination de la tête métatarsienne, accompagnée d'une protection par un mini-greffe de rotation [80]. Une excision étendue de la zone de cellulite dans les logettes du fascia plantaire est nécessaire pour traiter un mal perforant plantaire. Le pied sera placé en convalescence stricte, et la cavité plantaire soignée par des soins locaux (initialement, trois fois par jour).

Pied infecté :

Les individus atteints de diabète sont plus susceptibles que le grand public de contracter des infections, notamment dans la région du pied. Selon certains auteurs, la prévalence des Infections chez les patients diabétiques pourrait être liée à une déficience des mécanismes de défense cellulaires exacerbée par l'hyperglycémie, susceptible de modifier les fonctions des leucocytes et stimule les processus d'apoptose et cause des altérations hémorhéologiques qui sont à l'origine de troubles de la vascularisation distale [81]. La plupart des infections surviennent chez des patients ayant des pieds neuropathiques ou neuro-ischémiques, La défaillance sensorielle induit une diminution de la sensibilité à la température et à la douleur ainsi que proprioceptive, alors que l'atteinte motrice entraîne des changements dans la structure du pied et une ankylose graduelle des articulations du pied et de la cheville, accompagnée d'un déplacement antérieur du centre de gravité lors de la marche. La réduction de la transpiration due une sécheresse de la peau qui encourage l'apparition d'hyperkératose dans les zones soumises à des contraintes. Cela entraîne une augmentation de la pression plantaire et du temps de contact entre le pied et le sol. Aussi L'insuffisance vasculaire rend les tissus cutanés plus vulnérables et restreint l'augmentation du débit sanguin indispensable à la guérison lors d'une rupture de la peau, d'un traumatisme ou d'une infection [82].



Figure 14: Exemple d'infection Fongueuse Sur Des Clous Des Pieds [83].

2.2 Les complications à court terme

2.2.1 Hypoglycémie diabète

Actuellement, la définition de l'hypoglycémie n'est pas évidente. On peut caractériser une hypoglycémie comme un incident qui correspond à la triade de Whipple (c'est un ensemble de trois critères cliniques utilisés pour diagnostiquer l'hypoglycémie symptomatique.) En 2005, l'ADA (American Diabetes Association) a défini les normes nécessaires pour ce diagnostic, établissant un niveau de glycémie à 3,9 mmol/l (environ 70 mg/l). On peut dire que l'hypoglycémie est comme un élément limitant pour parvenir à une bonne régulation de la glycémie. Statistiquement, on note entre 62 et 170 incidents d'hypoglycémie sévère pour chaque centaine de patients atteints de diabète de type 1 par an. Toutefois, pour les patients diabétiques de type 2 sous traitement intensif d'insuline, le chiffre varie de 3 à 73 épisodes. Il est donc essentiel que le professionnel de santé identifie les causes, les facteurs de risque et les conséquences des hypoglycémies pour garantir une gestion appropriée aux habitudes de vie des patients et une prévention efficace. Qui il pourrait également diminuer l'occurrence des événements macrov [84].

Traitement des hypoglycémies

Les épisodes d'hypoglycémie asymptomatique détectés par les autocontrôles et la grande majorité des épisodes d'hypoglycémie symptomatique peuvent être traités de manière adéquate et efficace par le patient lui-même, en ingérant 15-30 g de glucose. Il est donc essentiel que le patient puisse reconnaître et choisir les produits susceptibles de corriger l'hypoglycémie. Il s'agira de produits riches en hydrates de carbone, absorbés rapidement au niveau du tractus digestif, prêts à l'emploi, faciles à ingérer et à transporter. Toute substance à lente absorption, souvent riche en graisses, n'est pas La réponse au glucose oral (contrôlée 15-20 minutes après l'ingestion de glucose) est transitoire et de courte durée (12 heures) ce qui peut justifier, la prise d'une collation ou d'un repas après la correction .Un traitement parentéral n'est généralement nécessaire qu'en cas d'inconscience du patient. Dans ces situations à domicile, le glucagon par voie sous-cutanée ou intramusculaire, est souvent un moyen simple et efficace employé par les membres de la famille d'un patient. En milieu hospitalier, le glucose intraveineux est le traitement de choix en cas d'hypoglycémie sévère de longue durée. Une surveillance prolongée afin d'exclure la récurrence, est souvent nécessaire avant la sortie de l'hôpital [84].

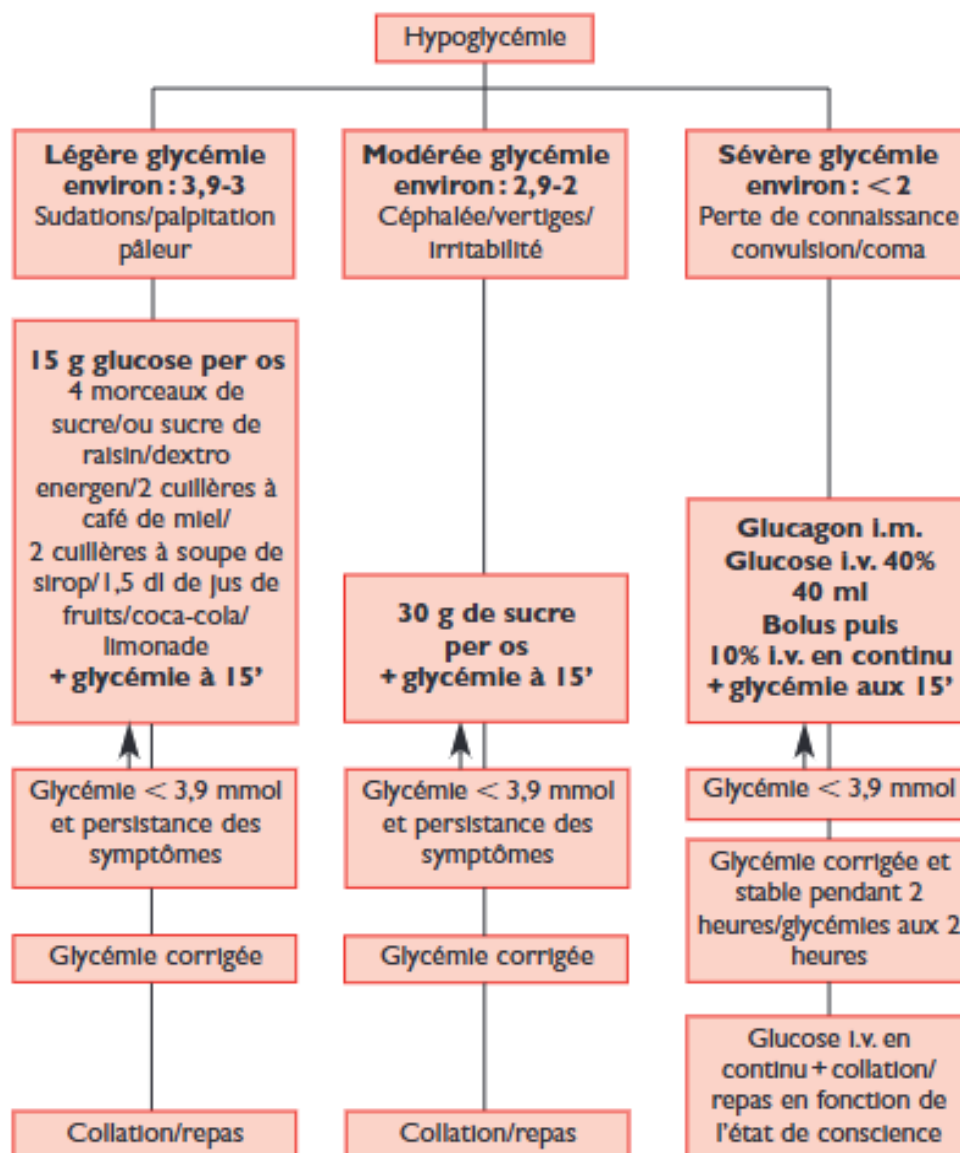


Figure 15: Traitement d'hypoglycémie [85].

2.2.2 Hyperglycémie diabète

On parle d'épisode d'hyperglycémie lorsque le glucose (sucre) dans le sang est supérieur ou égal à 1,10 g/litre, à jeun. Lorsque l'hyperglycémie, l'organisme essaie d'éliminer le sucre en excès. Cela se manifeste par une augmentation du besoin d'uriner et de la quantité d'urine émise avec le risque d'une perte en eau. Si celle-ci est importante, l'organisme peut manquer d'eau, cela s'appelle une déshydratation. Ce manque va se traduire par de la soif, une sensation de bouche sèche, parfois même une vision floue et une fatigue importante. [86]. L'hyperglycémie se situe généralement entre 3 et 6 g/l (elle peut être supérieure en cas de déshydratation sévère accompagnée d'oligurie, ce qui empêche les reins de contrôler la hausse de la glycémie par la glycosurie). La gestion de l'hyperglycémie se fait par le biais de l'insulinothérapie, avec des

quantités variant de 5 à 10 unités par heure. En présence de déshydratation sévère et d'une mauvaise absorption de l'insuline sous-cutanée, la voie intraveineuse est recommandée. Cependant, elle nécessite des injections fréquentes en raison de la demi-vie très courte de l'insuline par cette voie. On utilise la voie sous-cutanée dès que cela est possible. Si la glycémie ne diminue pas malgré le traitement, il est nécessaire de vérifier la présence d'une infection ou une Oligo-anurie [87].

2.2.3 L'acidocétose diabétique

L'acidocétose diabétique (ACD) est caractérisée par une hyperglycémie, une acidose métabolique et une cétose excessive. Dans les pays développés, l'incidence de l'ACD a diminué grâce à une gestion précoce et efficace des patients diabétiques. Dans les nations en voie de développement, cette complication demeure courante et difficile à gérer en raison du manque de ressources humaines et matérielles. L'évaluation clinique est essentielle pour identifier une infection, souvent d'origine ACD, qui peut être subtile. Les douleurs abdominales sévères chez les personnes de plus de 40 ans suggèrent une maladie connexe, nécessitant une surveillance rigoureuse et potentiellement des tests. Si l'ACD est la cause, l'amélioration est rapide. On suggère une sonde urinaire, un globe vésical ou une anurie après le traitement. Les tests de détection des infections ne sont pas toujours disponibles, et le risque de palu-démie reste endémique. Si aucune cause spécifique n'est identifiée, une antibiothérapie systémique est nécessaire. L'amoxicilline est l'antibiotique de première ligne. La diarrhée et la fréquence respiratoire sont surveillées. Les tests de glycémie peuvent être effectués toutes les quatre heures, tandis que la cétonurie peut être détectée toutes les six à huit heures. [87].

***Chapitre 04 :
« Apprentissage
automatique et système
experts : Une approches
complémentaires pour
l'analyse et la gestion de la
glycémie »***

1. Introduction

L'apprentissage automatique (ou artificiel) (*machine learning* en anglais) est une branche de l'intelligence artificielle qui consiste à apprendre des règles implicites pour résoudre un problème donné par l'expérience ou à partir de bases de données. Ce domaine est particulièrement axé sur l'analyse statistique des données d'apprentissage. Dans le domaine de l'apprentissage automatique, on a découvert qu'il existe une variété d'algorithmes basés sur différents modèles mathématiques [88].

Ces algorithmes ont la capacité de s'adapter et de s'améliorer progressivement grâce à l'apprentissage des données, mais aussi de faire des prédictions et des décisions basées sur ces données dans un large éventail d'applications [89]. En utilisant des systèmes informatiques capables d'apprendre directement à partir des données, l'apprentissage automatique englobe à la fois des approches supervisées, non supervisées, ainsi que l'apprentissage par renforcement, ce qui renforce son adaptabilité aux tâches et environnements évolutifs. Cet aperçu souligne l'importance croissante de l'apprentissage automatique dans la technologie contemporaine et ses nombreuses utilisations dans la vie quotidienne.

Cependant, toutes les techniques d'intelligence artificielle ne reposent pas uniquement sur l'apprentissage automatique. Une autre approche complémentaire consiste à doter directement la machine de règles de raisonnement explicites sous la forme d'un ensemble de critères « si-alors ». Ces systèmes, appelés systèmes experts, ont été largement utilisés dans les années 1980 pour résoudre des tâches complexes avec une grande précision [88]. Les systèmes experts représentent une autre branche majeure de l'intelligence artificielle, apparue dès le milieu des années 1960. Ils sont fondés sur le transfert de connaissances d'un expert humain vers une base de données exploitée par un ordinateur [90]. Cette approche permet à la machine d'acquérir une compétence dans un domaine précis, d'assister à la résolution de problèmes et d'interagir via un langage naturel simplifié, sans avoir recours à un langage de programmation complexe. L'ordinateur devient ainsi capable de traiter et d'expliquer les informations qu'il manipule, de manière claire et compréhensible pour l'utilisateur. En d'autres termes, il s'agit de créer un programme informatique capable de raisonner et de fournir des solutions au même niveau qu'un expert humain dans un domaine ciblé [91]. Ainsi, dans le contexte de l'analyse et de la gestion de la glycémie, l'intégration de l'apprentissage automatique et des systèmes experts permet de combiner la puissance des données statistiques avec la logique humaine structurée, offrant des solutions intelligentes, évolutives et explicables

aux professionnels de santé comme aux patients.

2. Apprentissage automatique

2.1 Types d'apprentissage automatique

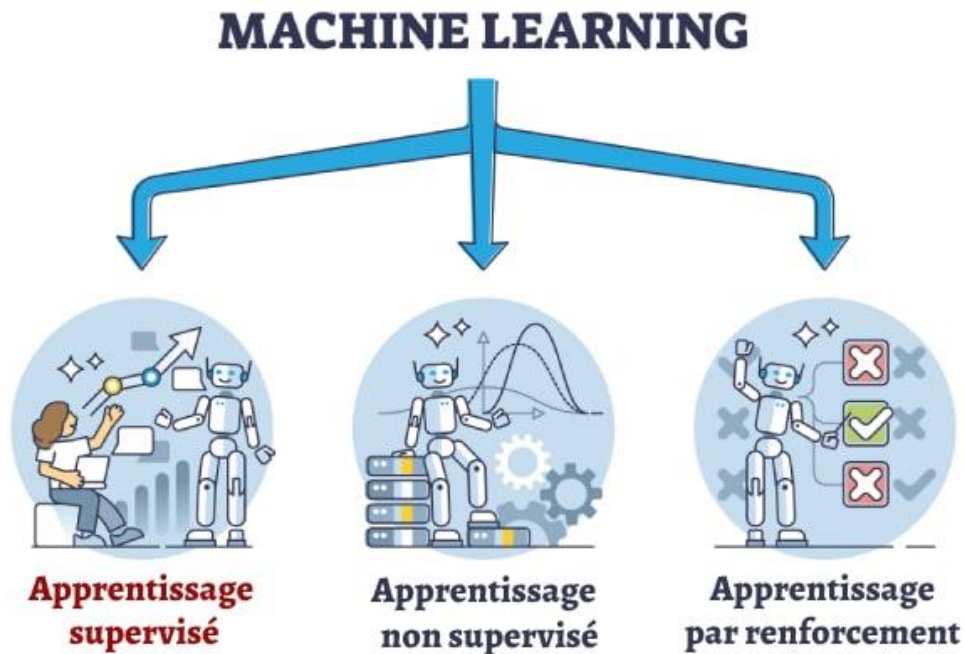


Figure 16 : Types d'apprentissage automatique [92].

2.1.1 Apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé est une sous-catégorie essentielle de l'apprentissage automatique (ou machine Learning), qui repose sur l'utilisation de données étiquetées pour entraîner un modèle à faire des prédictions précises. Le processus consiste à fournir au modèle des exemples constitués de couples d'entrées et de sorties, lui permettant d'apprendre la relation entre les données. Cette méthode donne aussi la capacité aux machines d'apprendre en se basant sur des exemples concrets tirés du monde réel. Cela pave donc la route pour des applications puissantes et une prise de décision automatisée [93].

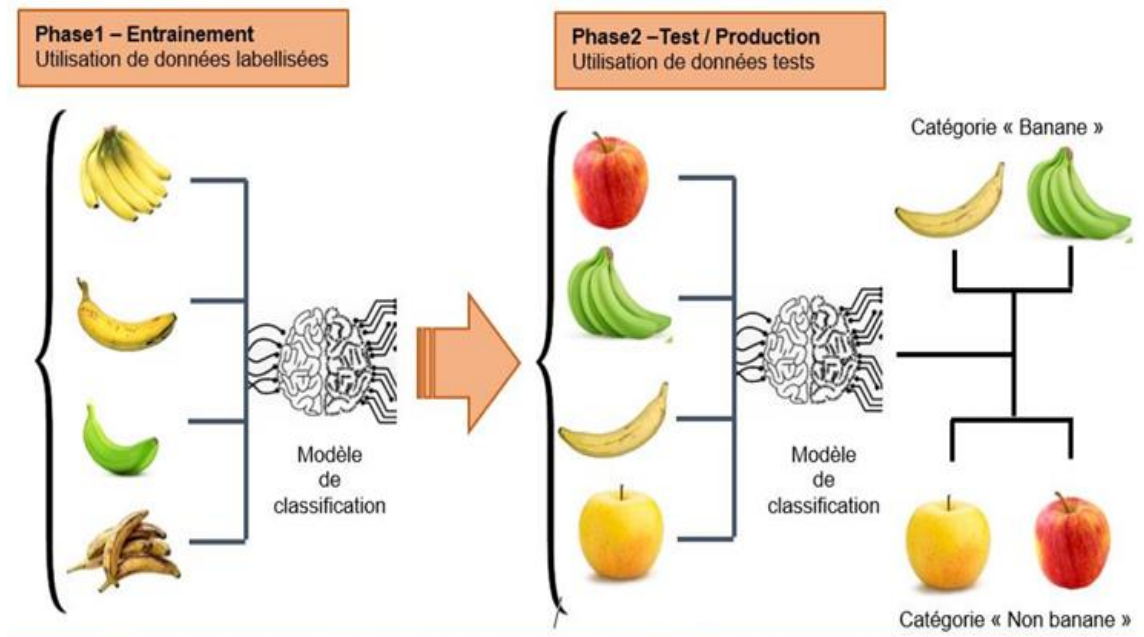


Figure 17: exemple de l'apprentissage supervisé [94].

- **Les algorithmes de l'apprentissage supervisé**

On compte une multitude d'algorithmes d'apprentissage supervisé distincts, chacun présentant ses propres points forts et points faibles. On retrouve parmi les algorithmes d'apprentissage supervisé les plus fréquemment utilisés :

- **Régression Linéaire**

La régression linéaire en apprentissage supervisé consiste à établir une relation entre des paires d'entrées et de sorties afin de modéliser une tendance. Il s'agit d'un type de modèle de régression utilisé dans l'apprentissage automatique, où la variable de sortie est continue et numérique. Cette méthode peut être mise en œuvre avec une seule variable (régression linéaire simple) ou avec plusieurs variables (régression linéaire multiple). Afin d'ajuster le modèle, des techniques telles que la descente de gradient ou la régression polynomiale peuvent être mises en œuvre pour améliorer les performances et optimiser l'adaptation aux données [95].

- **k-nearest Neighbors**

K-Nearest Neighbors (KNN) est un algorithme de classification largement utilisé en apprentissage automatique. Il repose sur le principe que la classification d'une nouvelle instance se fait en fonction des classes majoritaires de ses k plus proches voisins dans l'espace des caractéristiques (ou espace des entités). Elle mesure la similarité entre l'instance à classer et les

autres points du jeu de données, puis attribue la classe la plus représentée parmi les voisins sélectionnés [96].

Arbres de Décision

Un arbre de décision est une organisation hiérarchique où chaque nœud illustre un examen d'un attribut, et chaque branche dénote un résultat potentiel. Les feuilles de l'arbre représentent les dernières décisions ou prédictions. Cette structure visuelle et rationnelle des arbres de décision simplifie l'analyse des modèles et la clarification des prévisions [97].

Support Vector Machines (SVM)

Les SVM (machines à vecteurs de support) figurent parmi les techniques les plus solides et exactes dans l'ensemble des algorithmes d'exploration de données couramment utilisés. Les SVM, initialement conçus par Vapnik dans les années 1990, reposent sur une base théorique robuste ancrée dans la théorie de l'apprentissage statistique. Ils nécessitent seulement une douzaine d'exemples pour l'entraînement et sont généralement insensibles au nombre de dimensions. Durant les dix dernières années, les SVM ont connu une évolution rapide tant sur le plan théorique que pratique [98].

2.1.2 Apprentissage non-supervisé

L'apprentissage non supervisé est une approche de l'apprentissage automatique dans laquelle les modèles analysent des données sans disposer de variable cible. À partir des seules données d'entrée (matrice X), les algorithmes identifient des structures cachées, des regroupements, des anomalies ou réduisent la dimensionnalité [99]. Contrairement à l'apprentissage supervisé, aucun étiquetage préalable n'est fourni. L'objectif est de découvrir automatiquement des motifs ou des corrélations internes grâce aux caractéristiques intrinsèques des données.

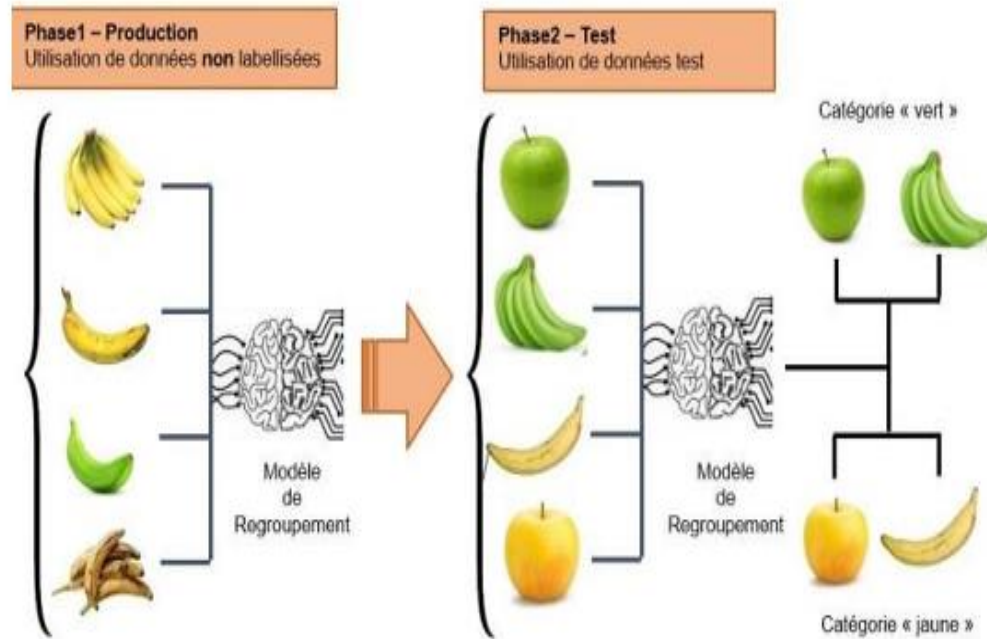


Figure 18: Exemple de l'apprentissage non supervisé [94].

Parmi les algorithmes les plus couramment employés en dehors de l'apprentissage non supervisé :

- **Algorithmes de Regroupement**
 - K-Moyennes
 - DBSCAN
 - Analyse de regroupement hiérarchique (ARGH)
- **Algorithme pour Identification d'anomalies**
 - Machines à vecteurs de support univariées
 - Forêt d'isolement [100].

2.1.3 L'apprentissage par renforcement

L'apprentissage par renforcement Ou (renforcement Learning), est une méthode d'apprentissage automatique dans laquelle un agent apprend à prendre des décisions en interagissant avec un environnement. En recevant des récompenses ou des pénalités en fonction de ses actions, l'agent ajuste progressivement sa stratégie, appelée politique, afin de maximiser les gains sur le long terme. Inspirée de l'apprentissage par essais et erreurs observé

chez les humains et les animaux, cette approche permet une adaptation autonome à des environnements dynamiques. Elle est particulièrement utilisée dans des domaines comme les jeux vidéo, la robotique ou les systèmes autonomes, où elle permet d'atteindre, voire de dépasser, les performances humaines dans certaines tâches complexes [101].

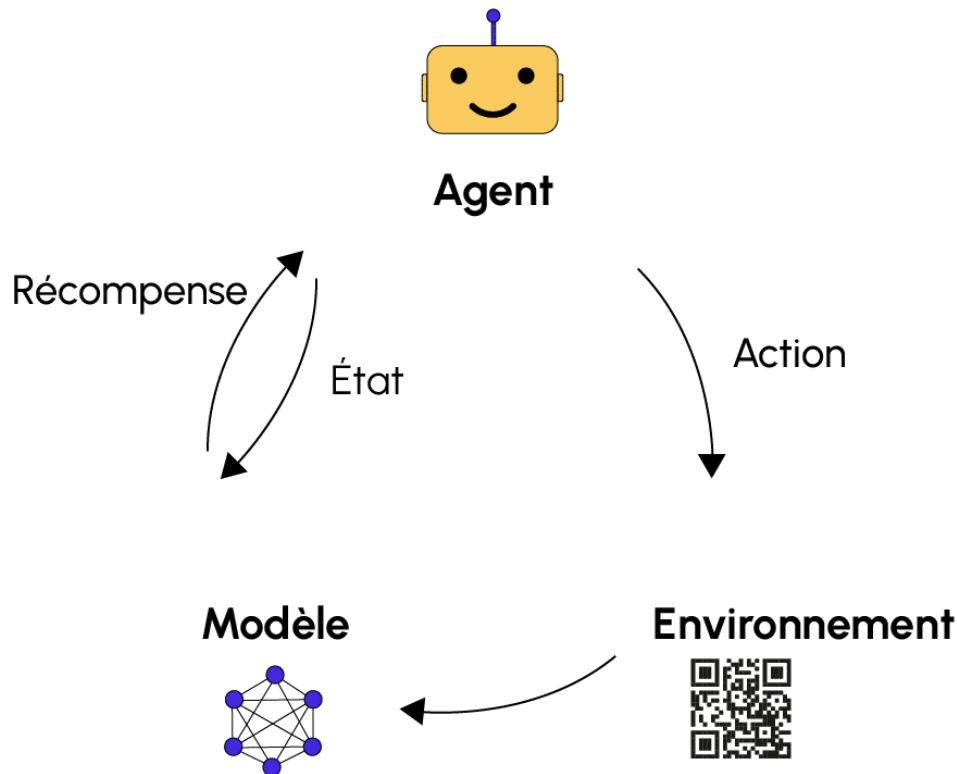


Figure 19 : Exemple de l'apprentissage par renforcement [102]

2.2 Importance de l'apprentissage automatique

L'apprentissage automatique joue un rôle central dans la transformation numérique actuelle. Il constitue l'un des moteurs principaux de l'innovation technologique, car il permet aux systèmes informatiques de dépasser les limites des programmations traditionnelles. En apprenant à partir des données, ces systèmes deviennent capables de s'adapter à de nouveaux contextes, d'améliorer continuellement leurs performances et de proposer des solutions personnalisées à des problèmes complexes. Cette capacité d'adaptation fait de l'apprentissage automatique un outil essentiel dans de nombreux domaines stratégiques, allant de la santé à l'environnement, en passant par la finance et les transports [103].

2.3 Apprentissage Profond (Deep Learning)

Le Deep Learning, aussi connu sous le nom d'apprentissage profond, est une variante spécifique de l'apprentissage automatique (machine Learning), qui s'inspire du fonctionnement des neurones humains, d'où l'idée de réseaux de neurones artificiels. À la différence des méthodes classiques de l'apprentissage automatique, qui nécessitent une identification manuelle des attributs pertinents (features) à partir des données, le Deep Learning a la capacité de les assimiler automatiquement. Cela repose sur des réseaux de neurones à plusieurs niveaux (d'où l'expression « profond »), ce qui permet une modélisation hiérarchique des données. [104].

Les systèmes basés sur l'apprentissage profond n'ont pas besoin d'instructions explicites d'un programmeur pour traiter les informations : ils acquièrent la capacité d'analyser et de comprendre les données, tout comme un être humain.

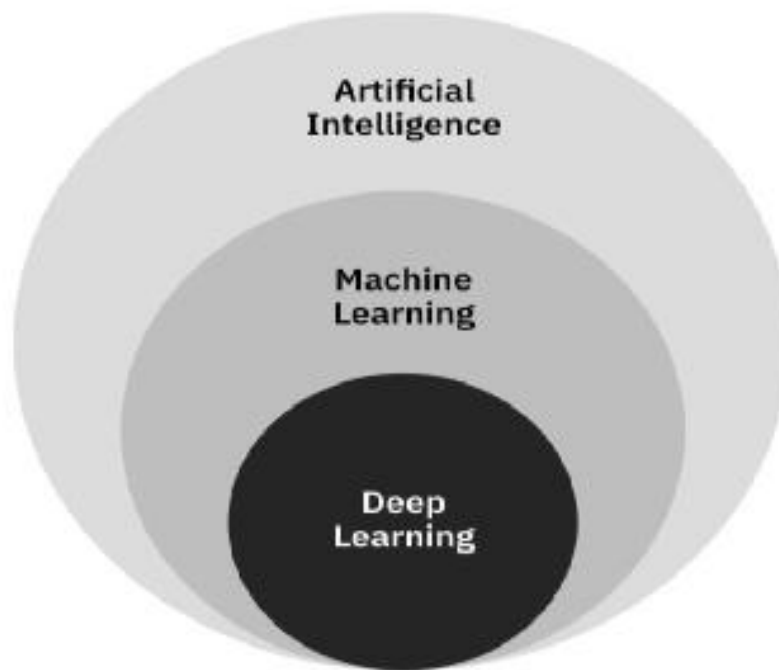


Figure 20: la Relation hiérarchique entre les branches de l'intelligence artificielle (AI) la machine learning (ML) et le deep learning (DL) [105]

2.3.1 Type d'apprentissage profond (Deep Learning)

On compte une variété de modèles dans le domaine du deep learning. Voici certains des types les plus fréquemment rencontrés :

- **Convolution al Neural Networks (CNN)**

Les réseaux neuronaux convolutifs (ou CNN, pour Convolution al Neural Networks) sont des architectures spécialisées de réseaux de neurones, particulièrement efficaces dans les domaines de la vision par ordinateur et de la classification d'images. Ils sont capables d'extraire automatiquement des caractéristiques visuelles grâce à des couches successives, notamment :

- Les couches convolutives (extraction de motifs),
- Les couches de regroupement (réduction de dimensions),
- Et les couches entièrement connectées (prise de décision).

Les CNN se distinguent par leur capacité à traiter efficacement des données visuelles et audio, en évitant les méthodes manuelles d'extraction de caractéristiques. Chaque couche du réseau affine l'analyse, des formes simples aux objets complexes. Cependant, ces réseaux sont exigeants en calcul (besoin de GPU), nécessitent des compétences avancées et une optimisation minutieuse. Malgré cela, ils offrent une performance exceptionnelle dans le traitement d'images à grande échelle [106].

- **Réseaux Neuronaux Récurrents (RNN)**

Les réseaux de neurones récurrents (RNN) sont spécialement conçus pour gérer des données en séquence ou temporelles, comme celles que l'on trouve dans le traitement automatique du langage naturel (TALN), la reconnaissance de la parole, la traduction automatique ou les prévisions basées sur le temps (par exemple, bourse ou ventes).

À l'opposé des réseaux classiques qui partent du principe de l'indépendance entre les entrées, les RNN mettent en œuvre des boucles de rétroaction pour intégrer le contexte temporel : chaque résultat est lié aux entrées antérieures via une mémoire interne [106].

- **Réseaux antagonistes (GAN)**

Les GAN, ou réseaux antagonistes génératifs, sont des structures d'intelligence artificielle qui se composent de deux réseaux distincts : un générateur, chargé de créer des données fictives, et un discriminateur, qui s'efforce de différencier les données authentiques des données produites. Grâce à un apprentissage compétitif, le générateur apprend graduellement à produire des contenus de plus en plus réalistes (images, sons, vidéos).

Les GAN se révèlent particulièrement performants dans la création de données synthétiques, même lorsqu'ils sont alimentés par des données faiblement labellisées. Cependant, leur formation peut être longue et instable, et ils peuvent connaître le phénomène du mode collapse,

où le générateur produit des résultats peu diversifiés.

2.4 La déférence entre “l'intelligence artificielle”, “Machin Learning” et “Deep Learning”

Malgré l'usage courant des termes d'intelligence artificielle (IA) et d'apprentissage automatique (ML) de façon interchangeable, ils ne sont néanmoins pas identiques Voici quelques différences entre eux :

L'intelligence artificielle est une branche de l'informatique dédiée à la création de machines et d'ordinateurs capables de raisonner, d'apprendre et d'agir comme le ferait un être humain, ou de systèmes nécessitant l'analyse de données à une échelle supérieure à celle que peuvent traiter les humains.

Ce domaine englobe plusieurs disciplines variées telles que l'analyse de données, la statistique, l'ingénierie logicielle et matérielle, les neurosciences et même la philosophie.

Tandis que la **machine learning** en est une mise en pratique qui vise à instruire des machines pour accomplir une tâche sans avoir besoin d'être explicitement programmées. L'apprentissage automatique est particulièrement mis à profit pour extraire des informations des données, grâce à des méthodes telles que les réseaux de neurones, l'apprentissage supervisé et non supervisé, les arbres décisionnels et la régression linéaire.

Tout comme la machine learning est une branche de l'intelligence artificielle, **le deep learning** est une spécialisation de la machine learning. Le deep learning forme des réseaux de neurones en utilisant des ensembles de données. Un réseau de neurones est un modèle basé sur l'utilisation de neurones synthétiques, qui sont des points de calcul utilisés pour trier et examiner les données. L'information est acheminée vers la première couche d'un réseau de neurones, où chaque nœud réalise une détermination, puis diffuse ces données à divers nœuds de la couche suivante. On désigne généralement les modèles d'apprentissage qui comportent plus de trois couches sous le terme « réseaux de neurones profonds » ou « deep learning ». Il existe des réseaux neuronaux modernes comportant des centaines, voire des milliers de couches [107].

3. Les systèmes experts

3.1 Composants d'un Système Expert

Le système expert, qui est basé sur des règles, possède les connaissances du domaine nécessaires pour résoudre des problèmes qui sont encodés sous forme de règles. Bien que les

règles soient un paradigme largement utilisé pour représenter les connaissances, les experts dans d'autres types de systèmes utilisent différentes représentations.

Un système expert se compose des éléments suivants :

- L'interface utilisateur : est le moyen de communication entre l'utilisateur et l'expert du système.
- Mécanisme d'explication : expose le processus de pensée du système à un utilisateur.
- Mémoire de travail : une base de données universelle de faits exploitée par les règles.
- Moteur d'inférence : effectue des déductions en déterminant les règles qui sont respectées par certains faits ou objets, privilégie les règles respectées et met en œuvre la règle de priorité maximale.
- Agenda : une énumération hiérarchisée de règles générée par le moteur d'inférence, dont les motifs sont remplis par des faits ou des éléments présents dans la mémoire active.
- Installation d'acquisition de connaissances : une méthode automatique permettant à l'utilisateur d'introduire des connaissances dans le système, plutôt que de laisser l'ingénieur des connaissances les coder manuellement [108].

3.2 Avantages et Limites des Systèmes Experts

3.2.1 Avantages

Les systèmes experts possèdent de nombreuses caractéristiques séduisantes qui en font des outils puissants dans la prise de décision et l'automatisation de l'expertise :

- Disponibilité accrue : L'expertise est accessible à tout moment et sur tout matériel informatique approprié, ce qui permet une diffusion large et continue du savoir spécialisé.
- Coût réduit : Le coût d'accès à l'expertise par utilisateur est significativement diminué, ce qui le rend plus abordable pour les organisations.
- Diminution du risque : Les SE peuvent être utilisés dans des environnements dangereux ou inaccessibles pour l'humain, réduisant ainsi l'exposition au danger.
- Durabilité de l'expertise : Contrairement aux experts humains qui peuvent partir ou disparaître, les connaissances intégrées dans un système expert peuvent être conservées et utilisées indéfiniment.
- Expertise collaborative : Les systèmes peuvent intégrer le savoir de plusieurs experts, fournissant ainsi un niveau d'expertise combinée supérieur à celui d'un seul individu.
- Fiabilité accrue : Ils peuvent servir de seconde opinion à un expert humain, ou arbitrer en cas de divergences entre plusieurs spécialistes. Cela augmente la certitude dans la décision, surtout en cas de fatigue ou stress humain.
- Capacité d'explication : Le système peut expliciter les raisonnements qui mènent à une conclusion, alors qu'un expert humain pourrait être incapable de le faire de façon cohérente dans certaines situations.
- Réponse rapide et constante : Pour des applications critiques ou en temps réel, un SE peut offrir une réponse immédiate, sans fatigue ni émotion, contrairement à l'humain.
- Rôle de tuteur intelligent : Les SE peuvent être utilisés à des fins pédagogiques, expliquant leurs décisions et guidant l'utilisateur à travers des exemples.
- Accès intelligent aux bases de données : Ils facilitent une exploration structurée, rapide et intelligente de grandes quantités de données complexes.
- Formalisation du savoir : Le processus de création d'un système expert implique une formalisation du savoir implicite, ce qui permet de le vérifier, de le clarifier et d'en améliorer

la qualité.

3.2.2 Limites

Malgré ces nombreux avantages, les systèmes experts présentent aussi des limites importantes qui restreignent parfois leur adoption et leur efficacité :

- Disponibilité du savoir : Le savoir n'est pas toujours facilement accessible, surtout s'il repose sur l'intuition ou l'expérience tacite d'experts humains.
- Difficulté d'extraction de l'expertise : Il peut être complexe d'extraire et de formaliser les connaissances de manière précise et exploitable.
- Différences dans l'évaluation : Deux experts peuvent avoir des approches différentes, mais toutes deux valables, ce qui rend la standardisation difficile.
- Pression temporelle : Même les experts peuvent donner des évaluations incorrectes sous pression, influençant la qualité des connaissances intégrées.
- Limites cognitives de l'utilisateur : Les utilisateurs finaux peuvent rencontrer des difficultés à comprendre ou à faire confiance aux recommandations du système.
- Domaines restreints : Les systèmes experts fonctionnent bien dans des domaines étroits, mais échouent souvent en dehors de leur champ défini.
- Vocabulaire spécialisé : Le langage utilisé par les experts peut être technique et difficile à comprendre par d'autres utilisateurs ou développeurs.
- Coût de développement élevé : Le recours à des ingénieurs en connaissances est coûteux et leur disponibilité est limitée.
- Manque de confiance des utilisateurs : Certains utilisateurs peuvent ne pas faire confiance aux décisions automatisées, limitant ainsi leur adoption.
- Biais cognitifs : Le transfert de connaissances est sujet à des biais perceptuels et subjectifs.
- Possibilité d'erreur : Les SE, comme les humains, peuvent donner des recommandations incorrectes. Par exemple, le système XCON ne parvenait pas à traiter environ 2 % des commandes reçues.
- Durée de vie limitée : Beaucoup de systèmes experts commerciaux ne survivent pas plus de cinq ans, non pas pour des raisons techniques, mais en raison de problèmes de gestion, de manque d'acceptation ou de changement de priorités organisationnelles.

3.3 Applications des Systèmes Experts en Médecine

Les applications des systèmes experts varient selon les domaines, car ils ont connu une large diffusion avec leur utilisation pour résoudre des problèmes. Comme nous le voyons avec de nombreux exemples pratiques, tels que les systèmes MYCIN et ONCOCIN qui se sont distingués dans le domaine médical, en particulier pour le diagnostic des maladies et la proposition de traitements. Nous trouvons également des systèmes dans les domaines de l'énergie, de la chimie, de l'ingénierie et d'autres domaines, mais ce qui nous intéresse le plus maintenant est leur utilisation dans le domaine médical [108].

4. Différence entre un système expert et le Machine Learning

La différence entre le Machine Learning et un système expert est que le ML s'appuie sur les

Chapitre 04 : « Apprentissage automatique et système experts : Une approches complémentaires pour l'analyse et la gestion de la glycémie »

données qui lui sont fournies, il apprend donc automatiquement à partir de celles-ci et peut parfois atteindre l'auto-développement, ce qui lui permet de généraliser et de s'adapter à de nouveaux contextes. Quant au système expert, il repose sur des règles logiques connues au préalable et fournies par des experts, ce qui signifie qu'il a besoin d'une intervention humaine pour fonctionner et pour que les règles soient mises en œuvre, ce qui le rend limité dans un domaine de connaissances spécifique.

Partie 02 : « Prototype expérimentale »

1. Conception de la plateforme

La conception de la plateforme est une étape essentielle dans le développement d'une solution numérique médicale. Elle permet de construire une structure fonctionnelle qui se concentre sur les utilisateurs principaux, c'est-à-dire le patient et le médecin, avec l'aide de modules intelligents intégrés comme le système expert et l'intelligence artificielle qui fonctionnent lorsqu'ils sont demandés par l'utilisateur non spécialiste (le patient). Ils s'activent en arrière-plan pour analyser les données de patient et aider à la prise de décision médicale.

L'objectif de cette conception est de garantir un échange d'informations fluide et sécurisé, et d'offrir une expérience simple et efficace adaptée au domaine de la santé. Elle constitue aussi la base technique pour une bonne gestion des données, tout en fournissant des recommandations et des alertes médicales utiles, dans un environnement sécurisé et facile à utiliser.

1.1 Fonctionnalités

Notre plateforme est spécialement conçue pour le suivi personnalisé des patients diabétiques. Elle permet une interaction directe et structurée entre le patient et le médecin, grâce à une répartition précise des fonctionnalités selon le rôle médical et technique de chaque 'un. On y retrouve :

1.1.1 Utilisateur non spécialiste (patient)

- Suivi médical personnalisé pour les patients diabétiques en fonction du type de diabète (type 1, type 2, diabète gestationnel, pré diabète), avec analyse des mesures quotidiennes saisies manuellement par le patient, telles que : glycémie, tension artérielle, insuline.
- Analyse automatique des données avec affichage de graphiques quotidiens, hebdomadaires et mensuels, incluant des moyennes précises.
- Gestion complète du dossier médical numérique : mesures, médicaments, insuline, consultations, plans alimentaires, analyses.
- Suivi précis des médicaments quotidiens et des doses d'insuline (ajout, modification, suppression) avec possibilité de confirmer chaque pris.
- Possibilité d'envoyer une demande de plan alimentaire personnalisé au médecin. Et la visualisation des plans alimentaires avec détails dans la page nutrition : repas, exercices, aliments autorisés/interdits, remarques aussi Affiché des conseils nutritionnels et de santé adaptés à l'état du patient.

- Demande de consultation à distance (classique ou vidéo) avec possibilité d'ajouter des remarques et des données médicales.
- Génération automatique d'un lien Google Meet pour les consultations acceptées, avec accès sécurisé depuis la plateforme.
- Système de notifications intelligent : rappels de prise de médicaments et d'insuline, alertes en cas d'oubli, notification de nouveaux plans, consultations ou analyse.
- Système expert médical intégré pour analyser les symptômes saisis et alerter sur d'éventuelles complications (reins, cœur, nerfs, yeux), avec des recommandations et examens à prévoir.
- Moteur d'intelligence artificielle (DeepSeek) pour une analyse approfondie de l'état de santé, l'évaluation des risques et des recommandations personnalisée.
- Calcul automatique de l'âge du patient à partir de la date de naissance saisie.

1.1.2 Utilisateur spécialiste (médecin)

- Visualisation de toutes données de santé de patient : plans alimentaires et consultations précédente.
- Tableau de bord interactif avec alertes en temps réel, gestion des demandes de régimes ou de consultations en attente de validation.
- Création et modification de plans alimentaires personnalisés pour chaque patient : repas, exercices, aliments autorisés/interdits, remarques.
- Affichage et gestion des demandes de consultation (classiques ou vidéo) : acceptation, refus, ajout de diagnostic, prescription et conseils via l'interface.
- Organisation de consultations vidéo via Google Meet intégré directement dans la plateforme. Réception de notifications automatiques (demandes de plans ou de consultations), avec possibilité de les marquer comme lues.
- Mise à jour du profil professionnel : spécialité, années d'expérience, langues parlées, téléphone, biographie, photo.

1.1.3 Architecture générale de la plateforme

La plateforme est composée de plusieurs composants interconnectés :

- Un système d'authentification et d'inscription permettant de distinguer les types d'utilisateurs (patient / médecin).
- Une base de données pour stocker les informations médicales, les régimes alimentaires, les rendez-vous, les notifications, etc.

- Un système de notification intelligent.
- Un moteur d'analyse intelligent (Deepseek) utilisant l'intelligence artificielle pour analyser les données du patient.
- Un système expert médical basé sur une base de règles et de connaissances cliniques afin de fournir des alertes préventives.
- Une interface utilisateur intuitive, adaptée à chaque profil (patient ou médecin) selon son rôle respect.

1.2 Framework général

Le domaine médical, et en particulier la gestion du diabète est complexe et en constante évolution. Pour répondre à cette complexité, notre plateforme repose sur un Framework général qui combine l'expertise humaine des médecins avec un système expert basé sur des règles médicales, et un moteur d'intelligence artificielle (Deepseek) pour objectif d'assister le médecin dans ses décisions cliniques, tout en fournissant au patient un suivi personnalisé et en temps réel. Il permet d'intégrer à la fois des analyses automatisées et des interventions humaines pertinentes.

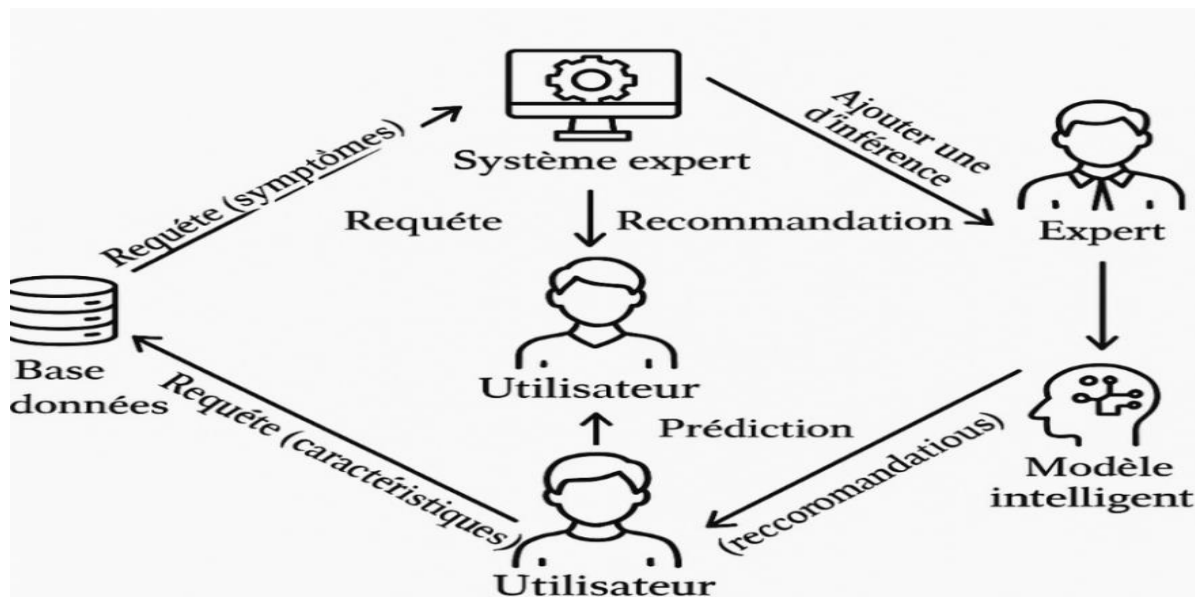


Figure 21: diagramme du Flux de données

1.2.1 Utilisateur spécialiste (médecin)

L'utilisateur spécialiste joue un rôle central au sein de notre plateforme. Il représente l'expert médical référent chargé d'enrichir et de valider les connaissances médicales du système. Grâce

à son expérience approfondie dans la gestion du diabète et de ses complications, le médecin spécialiste est responsable de personnaliser la prise en charge des patients, tout en s'appuyant sur les outils d'analyse automatique pour gagner en efficacité **et** assurer un suivi de qualité. Aussi examiner, valider et adapter les recommandations générées par l'IA Deepseek et le system expert pour les conformer parfaitement au contexte clinique de chaque patient.

1.2.2 Utilisateur Non Spécialiste (Patient)

Notre plateforme « **Suk-Scan** » offre aux patients diabétiques (utilisateur non spécialiste) un accès complet à toutes les fonctionnalités nécessaires pour gérer efficacement leur condition. Ils peuvent suivre leurs indicateurs de santé au quotidien et communiquer simplement avec les différents professionnels médicaux, permettant ainsi un suivi personnalisé et une prise en charge optimale.

1.2.3 Base de connaissance (utilisée par le Système Expert)

La base de connaissances est une collection structurée d'informations médicales utilisées par le système expert structurée en plusieurs couches interconnectées. Au cœur du système se trouvent les règles médicales, qui lient les symptômes observés aux diagnostics potentiels et aux recommandations thérapeutiques. Ces règles s'appuient sur une couche de facteurs de risque cliniques, qui modulent les décisions du système expert en fonction du profil du patient. Le système expert utilise cette base pour effectuer des inférences et générer des diagnostics et recommandations personnalisés, assurant un accompagnement intelligent et actualisé pour chaque patient.

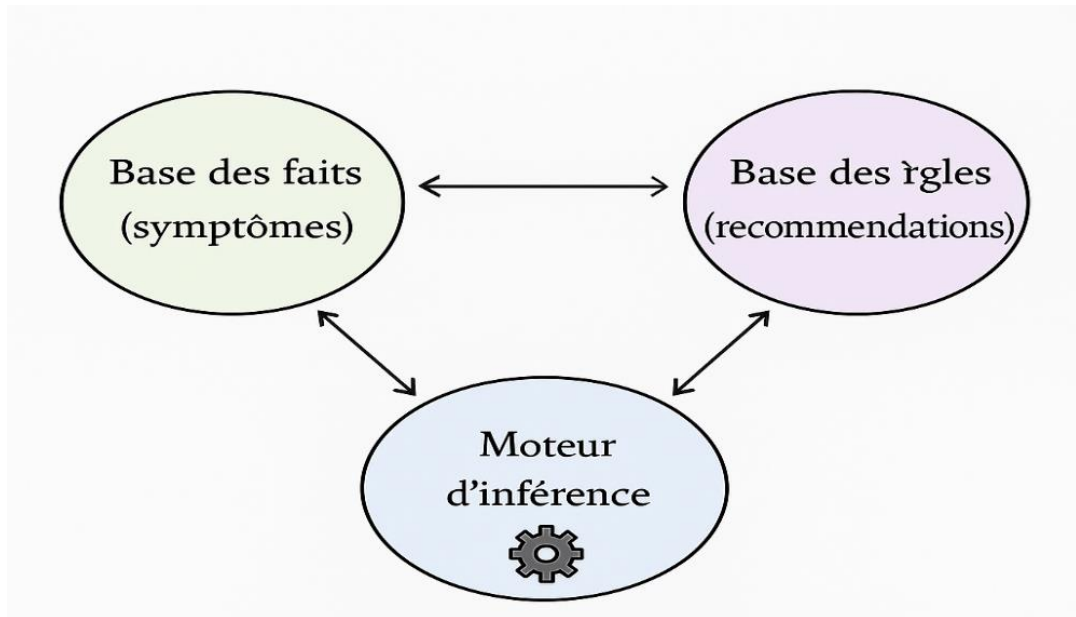


Figure 22: Base de connaissance

1.2.4 Le Moteur d'inférence de notre système expert

Le système expert est chargé d'analyser les informations médicales fournies (comme les symptômes) en s'appuyant sur son moteur d'inférence. Ce dernier applique les règles de la base de connaissances pour raisonner sur les données reçues, établir des déductions logiques et générer des conclusions fiables. C'est ainsi que le système expert peut formuler des recommandations médicales adaptées à chaque situation.

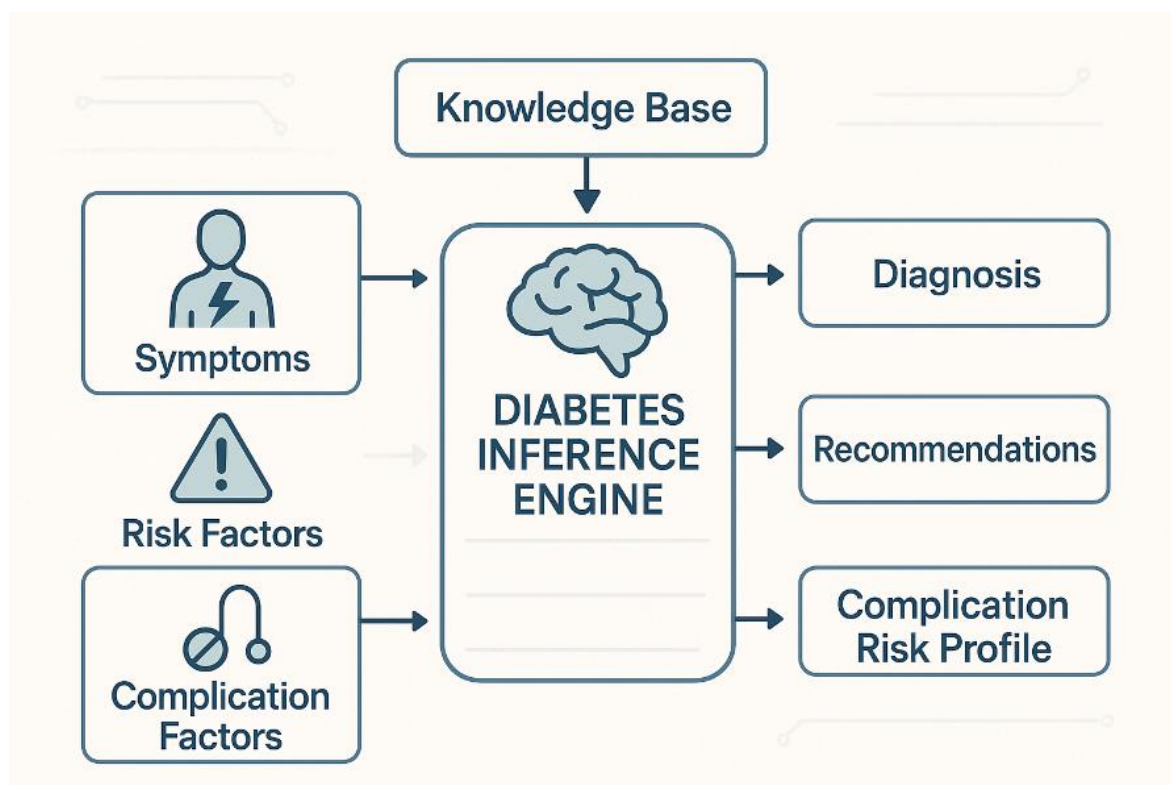


Figure 23 : schéma du notre système expert proposé

1.3 Schéma de données pour la collecte et l'analyse des données de santé du patient (base de données).

Dans le contexte de notre plateforme dédiée au suivi personnalisé des patients diabétiques, le schéma de données joue un rôle fondamental. Il définit la structure, l'organisation et les relations entre les différentes informations collectées et analysées. Cet aspect est essentiel pour garantir un stockage sécurisé, une gestion efficace des données médicales et une exploitation optimale dans les processus de suivi, de diagnostic et de recommandations.

Dans notre plateforme, nous utilisons PostgreSQL, un système de gestion de base de données relationnelle open-source réputé pour sa robustesse, son extensibilité et sa compatibilité élevées. PostgreSQL nous permet de créer des tables, de définir des relations entre les données et d'exécuter des requêtes complexes pour l'analyse des données.

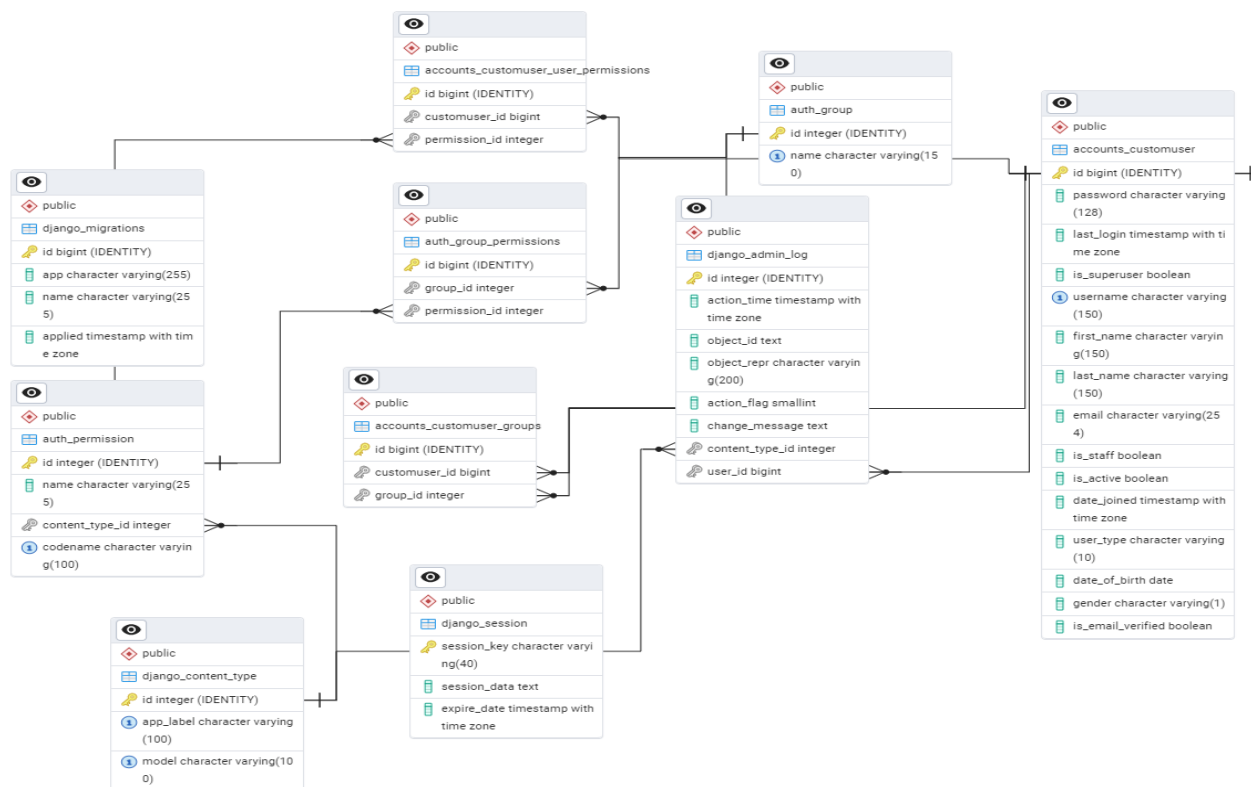


Figure 24: Relation entre les tables de l'authentification dans la base de données.

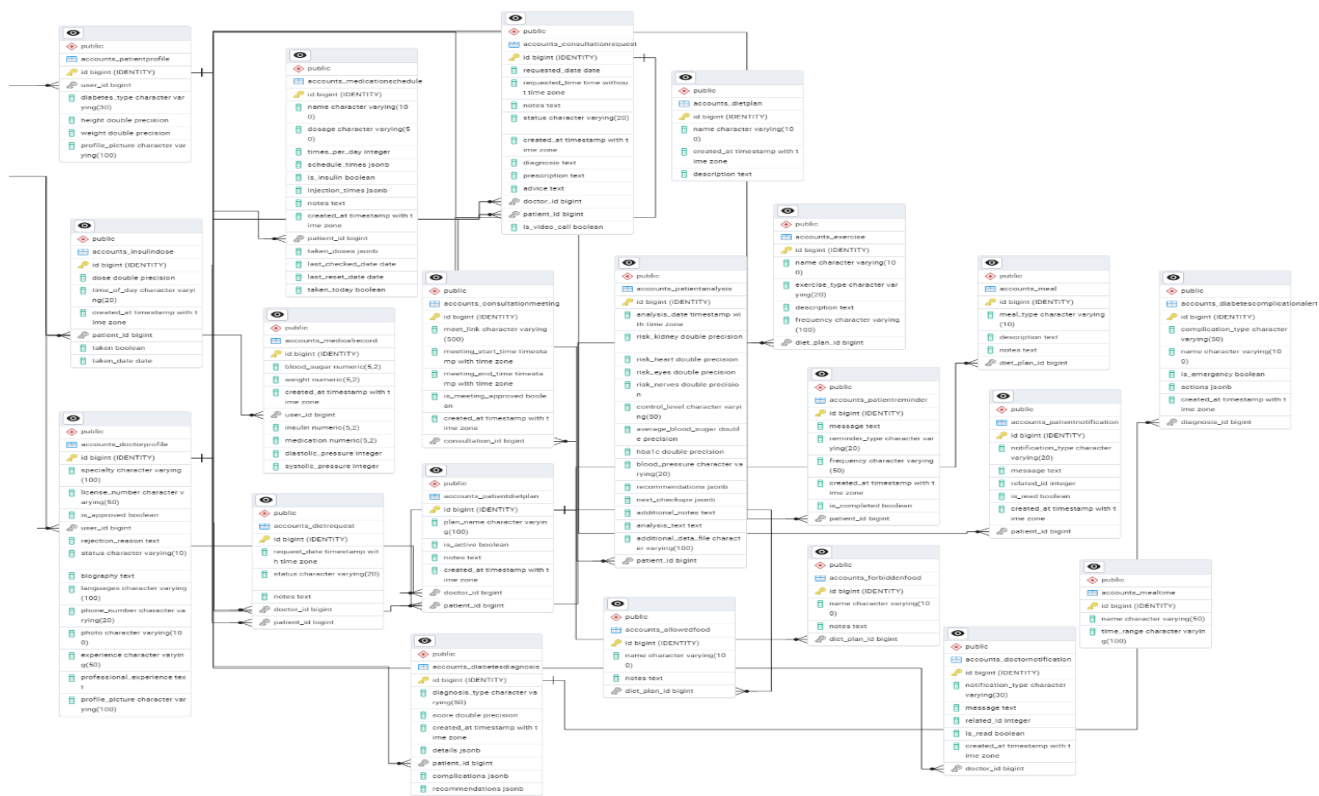


Figure 25: Relation entre les tables de fichier models.py de la base de données.

2. Implémentation

2.1 Technologies utilisées pour le développement de la plateforme

2.1.1 Langages de programmation

Tableau 2: langages de programmation utilisés

	Langages	Description
Back end	Python 3.1	Python est un langage de programmation open source puissant et simple d'apprentissage. Il offre des structures de données avancées et permet une approche à la fois simple et efficace de la programmation orientée objet. En raison de sa syntaxe raffinée, de son typage dynamique et de son caractère interprété, Python se révèle être un langage parfaitement adapté à la rédaction de scripts et au développement rapide d'applications dans divers domaines ainsi que sur une majorité de plateformes [109].

Front end	HTML 5	HTML signifie « HyperText markup language » (langage de balisage hypertexte) et représente un langage assez accessible utilisé pour la conception des pages web. Étant donné qu'il n'autorise pas l'utilisation de variables ou de fonctions, il n'est pas qualifié de « langage de programmation », mais plutôt de « langage de balisage », ce qui signifie un langage utilisant des balises pour structurer les éléments d'un document [110].
	CSS 3	CSS signifie « Cascading Style Sheets » en anglais. C'est un langage de style utilisé pour définir la manière dont le contenu d'une page web, rédigée en HTML, est structuré et présenté. Il joue un rôle crucial dans la création de sites web, car il offre la possibilité de dissocier la structure d'une page HTML de sa mise en forme graphique. Tandis que HTML sert à établir la structure et les composants d'une page web, CSS permet de gérer le style, l'organisation et l'aspect visuel de ces composants [111]. JavaScript est un langage de programmation
	JS	léger souvent employé par les développeurs web pour intégrer des interactions dynamiques dans les pages web, les applications, les serveurs et même les jeux. Il opère de façon fluide avec HTML et CSS, enrichissant le formatage des éléments HTML tout en offrant une interaction utilisateur, une fonctionnalité que CSS ne propose pas seul [112] .

2.1.2 Environnement de travail

- **Visual Studio Code :**

Visual Studio Code (VS Code), c'est un éditeur de code source et environnement de développement intégré (IDE) lancée par Microsoft. C'est un logiciel open-source et multiplateforme, c'est-à-dire elle est compatible avec Windows, Linux aussi avec Mac. Initialement conçu pour développeurs web, il supporte également une multitude d'autres langages de programmation tels que le C++, le C#, le Python, le Java et bien d'autres encore. Il offre de nombreuses fonctionnalités comme la coloration syntaxique, l'auto complétion, la mise en évidence des erreurs, la navigation de code, le débogage, la gestion de versions, l'intégration avec Git, et beaucoup d'autres [113].

2.1.3 Frameworks

Tableau 3: les Framework Web utilisé

Framework	Description
Django	<p>Django est un Framework open-source de développement web écrit en Python. Il fournit une structure solide et des outils puissants pour créer des applications web dynamiques et interactives. Django suit le principe du modèle-vue-contrôleur (MVC), ce qui facilite la séparation des préoccupations et la modularité du code. En outre, Django est utilisé pour créer des plates-formes efficaces et conviviales, intégrant des principes d'ingénierie logicielle et diverses technologies comme Python, HTML, CSS et PostgreSQL [114]. Lawrence Journal-World a créé Django en 2003, pour faire face aux contraintes de temps du journal tout en répondant aux besoins des développeurs web chevronnés. La première divulgation au public s'est produite en juillet 2005. La version la plus récente de Django est 4.0.3, publiée en mars 2022 [115].</p> <p>Voici une brève explication des fichiers principaux dans une application Django :</p>

	<p>Le fichier settings.py : Ce fichier contient les paramètres cruciaux pour la configuration de l'application Django, y compris la mise en place de la base de données, les clés secrètes, ainsi que les fichiers statiques et médias [115].</p> <p>Fichier urls.py : Ce fichier établit les URLs (Localisateurs Uniformes de Ressources) pour l'application Django. Il associe les URLs aux vues appropriées, qui se chargent de gérer les requêtes HTTP et de retourner les réponses [115].</p> <p>Les fichiers de modèles (models.py) : Ces fichiers spécifient les modèles de données spécifiques à l'application. Ils définissent la configuration des tables dans la base de données et les liaisons entre ces dernières [115].</p> <p>Les fichiers de vues (views.py) : Ces fichiers renferment les logiques de gestion des demandes et l'élaboration des données à présenter. Les vues ont généralement pour tâche de retourner des réponses HTTP ou de diriger vers d'autres vues [115].</p> <p>Les Fichiers de Template (.html) : Ces fichiers déterminent la structure et le design des pages Web à travers l'utilisation de modèles HTML. Ils sont capables d'incorporer des informations dynamiques fournies par les vues [115].</p> <p>Fichiers de migration : Ces fichiers (localisés dans le dossier migrations) sont automatiquement créés par Django en cas de changement dans les modèles de données. Ils facilitent la mise à jour de la structure de la base de données de façon transparente [115].</p> <p>Ces fichiers constituent un élément essentiel de la configuration d'un</p>
--	--

	<p>projet Django, toutefois d'autres fichiers et dossiers peuvent être nécessaires en fonction des exigences particulières de l'application. Django propose aussi de multiples autres fonctionnalités, comme l'administration automatique, le traitement des formulaires, l'authentification des utilisateurs, et bien plus encore, ce qui en fait une option prisée pour le développement web.</p>
Bootstrap	<p>Bootstrap c'est un Framework front-end qui rationalise la création de sites Web réactifs et adaptés aux mobiles [116] .</p> <p>Il propose une palette d'outils exhaustive incluant des outils HTML, CSS et JavaScript, ce qui explique sa popularité due à sa flexibilité, son support par les navigateurs et ses composants réutilisables [117].</p> <p>Le système de grille de Bootstrap facilite l'agencement et le stylisme des divers éléments HTML, augmentant ainsi la flexibilité et la compatibilité avec les extensions JavaScript [118].</p>

2.1.4 Les Package

Tableau 4: les package utilisés

Package	Version	Description
psycopg2	2.9.10	psycopg2 est l'adaptateur PostgreSQL le plus populaire pour le langage de programmation Python. Ses principales fonctionnalités sont l'implémentation complète de la spécification Python DB API 2.0 et la sécurité des threads [119].
Ollama	0.4.8	Ollama est un instrument open-source capable d'exécuter des modèles de langage de grande taille (LLM) directement sur une machine locale ou

		service privé [120].
Python-decouple	3.8	Python decouple est une excellente bibliothèque utilisée pour séparer vos paramètres de votre code source [121].
google-auth	2.40.1	google-auth est la librairie Python pour l'authentification Google. Elle autorise l'authentification auprès des API Google via diverses méthodes. Elle est aussi compatible avec diverses bibliothèques HTTP [122] .
markdown	3.8	est la librairie Python utilisé pour faire la Conversion des rapports médicaux en HTML.
Celery	5.5.2	Outil Python pour exécuter des tâches en arrière-plan (ex. : rappels médicaux) [123] .
Redis	6.1.0	Base NoSQL rapide utilisée comme broker pour Celery [124].

3. Développement de la Plateforme

Lors de la conception de la plateforme Suk-Scan, plusieurs étapes fondamentales et méthodiques ont été suivies, ce qui nous a permis de construire une base technique opérationnelle, allant de l'établissement des fondamentaux jusqu'à l'intégration de l'intelligence artificielle. Ces étapes reflètent les principales étapes du processus de développement de la plateforme, basées sur les bonnes pratiques en développement web.

3.1 Création de l'environnement virtuel et installation de Django

Avant de se lancer dans le développement, il est crucial de mettre en place un environnement virtuel Python pour isoler le projet par la commande « `python -m venv ven` ». Cela permet d'éviter les conflits entre les versions des bibliothèques employées et assure leur fonctionnement dans un environnement isolé, sans aucune interférence. Ensuite, nous activons l'environnement virtuel en utilisant la commande suivante « `venv\Scripts\activate` ». Puis, on installe Django dans cet environnement avec cette commande « `python -m pip install Django` ».

3.2 Création du projet et d'application

Dans cette partie, nous avons créé la structure du projet comprenant un répertoire principal nommé (`patient_doctor_plateforme`) avec la commande « `django-admin startproject patient_doctor_plateforme` » et après une application Django (`accounts`) par la commande « `python manage.py startapp accounts` » qui contient toutes les parties de notre plateforme.

3.3 Configuration et routage

3.3.1 Configuration

Tout d'abord, la configuration générale du projet est gérée dans le fichier `settings.py`. Ce fichier se concentre sur les paramètres de base du projet :

Les applications installées, y compris l'application principale et les autres, sont consignées dans la section `INSTALLED_APPS` [Figure 26].


```
INSTALLED_APPS = [  
    'django.contrib.admin',  
    'django.contrib.auth',  
    'django.contrib.contenttypes',  
    'django.contrib.sessions',  
    'django.contrib.messages',  
    'django.contrib.staticfiles',  
    'accounts',  
    'corsheaders',  
    'django_celery_beat'  
]
```

Figure26 : Les applications installées.

Mise en place de la base de données et connexion à l'interface PostgreSQL, en incluant les informations requises pour s'y connecter [Figure 27].

```
DATABASES = {  
    'default': {  
        'ENGINE': 'django.db.backends.postgresql',  
        'NAME': 'smart-diab',  
        'USER': 'postgres',  
        'PASSWORD': 'kawther2013',  
        'HOST': 'localhost',  
        'PORT': '5432',  
    }  
}
```

Figure27 : La connexion à la base de données.

La gestion des fichiers statiques tels que le CSS et le JavaScript, ainsi que des médias comme les images, se fait à travers les variables STATIC_URL [Figure 28]. Préciser le trajet vers les modèles HTML afin d'assurer leur bonne récupération depuis le dossier de Template.

```
import os
STATIC_URL = '/static/'

STATICFILES_DIRS = [
    os.path.join(BASE_DIR, 'accounts', 'static'),
]

STATIC_ROOT = os.path.join(BASE_DIR, 'staticfiles')
```

Figure28: La gestion de fichiers statiques.

3.3.2 Le routage

Le routage des pages web via les fichiers `urls.py` du projet [Figure 29] et d'application [Figure 30], afin de spécifier les URL qui correspondent aux vues appropriées dans le fichier `views.py`. Ce dernier contient la logique nécessaire pour générer les pages, garantissant un échange fluide d'informations entre l'interface utilisateur et le back end.

```
from django.contrib import admin
from django.urls import path, include
from django.conf import settings
from django.conf.urls.static import static

urlpatterns = [
    path('admin/', admin.site.urls),
    path('accounts/', include('accounts.urls')),
]

if settings.DEBUG:
    urlpatterns += static(settings.MEDIA_URL, document_root=settings.MEDIA_ROOT)
```

Figure29: Fichier `urls.py` du projet.

```
from django.urls import path...

urlpatterns = [
    path('', views.index_view, name='index'),
    path('about/', views.about_view, name='about'),
    path('choice/', views.choice_view, name='choice'),
    path('login/', views.login_view, name='login'),
    path('logout/', views.logout_view, name='logout'),
    path('signup/doctor/', doctor_signup_view, name='doctorsignup'),
    path('signup/patient/', patient_signup_view, name='patientsignup'),
    path('dashboard/doctor/', views.doctor_dashboard, name='doctor_dashboard'),
    path('dashboard/patient/', views.patient_dashboard, name='patient_dashboard'),
    path('verify-email/<uidb64>/<token>/', verify_email, name='verify_email'),
    path('password_reset/', auth_views.PasswordResetView.as_view(template_name='accounts/password_reset.html'), name='password_reset'),
    path('password_reset/done/', auth_views.PasswordResetDoneView.as_view(template_name='accounts/password_reset/done.html'), name='password_reset_done'),
    path('reset/<uidb64>/<token>/', auth_views.PasswordResetConfirmView.as_view(template_name='accounts/password_reset/confirm.html'), name='password_reset_confirm'),
    path('reset/done/', auth_views.PasswordResetCompleteView.as_view(template_name='accounts/password_reset/complete.html'), name='password_reset_complete'),
    path('patient_dashboard/', views.patient_dashboard, name='patient_dashboard'),
    path('patient_profile/', views.patient_profile, name='patient_profile'),
    path('analyse/', views.analyse_view, name='analyse'),
    path('notifications/', views.notifications_view, name='notifications'),
    path("save-daily-measurement/", save_daily_measurement, name="save_daily_measurement"),
    path('weekly-trends/', weekly_trends, name='weekly_trends'),
    path('monthly-trends/', monthly_trends, name='monthly_trends'),
    path('yearly-trends/', yearly_trends, name='yearly_trends'),
]
```

Figure 30: partie de fichier urls.py d'application.

3.4 Intégration de HTML, CSS et JavaScript

Plusieurs pages HTML sont présentes sur notre plateforme, chacune dédiée à des fonctionnalités et interactions diverses. Nous avons incorporé un Template gratuit avec ces fichiers HTML, CSS et JavaScript [Figure 31]. Par la suite, nous avons personnalisé cette page à l'aide de notre propre code CSS [Figure 32].

```

1  {% load static %}
2  <!doctype html>
3  <html lang="en">
4  <head>
5      <meta charset="utf-8" />
6      <link rel="icon" type="image/png" href="{% static 'img/favicon.ico' %}">
7      <meta http-equiv="X-UA-Compatible" content="IE=edge,chrome=1" />
8      <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-scale=1.0, user-scalable=0" />
9      <meta name="viewport" content="width=device-width" />
10     <link href="{% static 'css/bootstrap.min.css' %}" rel="stylesheet" />
11     <link href="{% static 'css/animate.min.css' %}" rel="stylesheet"/>
12     <link href="{% static 'css/demo.css' %}" rel="stylesheet" />
13     <link href="http://maxcdn.bootstrapcdn.com/font-awesome/4.2.0/css/font-awesome.min.css" rel="stylesheet">
14     <link href="http://fonts.googleapis.com/css?family=Roboto:400,700,300" rel="stylesheet" type="text/css">
15     <link href="{% static 'css/pe-icon-7-stroke.css' %}" rel="stylesheet" />
16     <script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/chart.js"></script>
17     <link rel="stylesheet" href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/font-awesome/6.0.0/css/all.min.css">
18     <link rel="stylesheet" href="https://cdnjs.cloudflare.com/ajax/libs/bootstrap/5.1.3/css/bootstrap.min.css">
19

```

Figure31: Structure HTML.

```

/* Card styles with animations */
.card {
    background-color: var(--card-bg);
    border: none;
    border-radius: 12px;
    overflow: hidden;
    transition: all 0.4s cubic-bezier(0.175, 0.885, 0.32, 1.275);
    box-shadow: 0 4px 6px rgba(0,0,0,0.1);
    margin-bottom: 1.5rem;
}
.card:hover {
    transform: translateY(-5px);
    box-shadow: 0 10px 20px rgba(0,0,0,0.1);
}
.card-header {
    background-color: var(--card-bg);
    border-bottom: none;
    padding: 1.25rem 1.5rem;
    transition: all 0.4s ease;
}
.card-body {
    padding: 1.5rem;
    transition: all 0.4s ease;
}
.section-subtitle {
    color: var(--text-color);
    font-weight: 500;
}

```

Figure 32: Partie de CSS.

3.5 Gestion des utilisateurs et authentification

3.5.1 Création et intégration d'un modèle utilisateur personnalisé

Nous avons créé un modèle personnalisé, CustomUser qui permet de spécifier le type d'utilisateur (médecin ou patient) immédiatement après l'inscription [Figure 33]. Ce qui facilite la gestion des permissions et des interfaces pour chacun par la suite. Après la création du modèle, il est intégré dans les paramètres du projet pour être utilisé comme modèle d'utilisateur principal [Figure 34].

```
class CustomUser(AbstractUser):
    USER_TYPE_CHOICES = (
        ('doctor', 'Doctor'),
        ('patient', 'Patient'),
    )
    user_type = models.CharField(max_length=10, choices=USER_TYPE_CHOICES)
    date_of_birth = models.DateField(null=True, blank=True)
    gender = models.CharField(max_length=1, choices= (('M', 'Male'), ('F', 'Female')), null=True, blank=True)
    is_email_verified = models.BooleanField(default=False)

    def calculate_age(self):
        """ Calculate the user's age based on the date of birth. """
        if self.date_of_birth:
            today = date.today()
            return today.year - self.date_of_birth.year - ((today.month, today.day) < (self.date_of_birth.month, self.date_of_birth.day))
        return None

    def __str__(self):
        return self.username
```

Figure 33: Model CustomUser.

```
AUTH_USER_MODEL = 'accounts.CustomUser'
```

Figure 34: L'intégration dans le fichier settings.py.

3.5.2 Système d'enregistrement, de connexion et de déconnexion

Nous avons développé un système d'enregistrement des utilisateurs et de connexion basé sur le modèle CustomUser. Ce qui permet à la fois au patient et au médecin de créer un compte selon leur rôle [Figure 35]. Puis de se connecter à la plateforme, où chaque utilisateur est automatiquement dirigé vers son interface dédiée [Figure 36] :

- Les patients sont transférés au tableau de bord des patients (patient_dashboard).
- Les médecins sont transférés au tableau de bord des médecins (doctor_dashboard).
- Quant à la déconnexion, il s'agit simplement de ramener l'utilisateur à la page login [Figure 37].

```
def patient_signup_view(request):
    if request.method == 'POST':
        form = PatientSignupForm(request.POST)
        if form.is_valid(): ...
    else:
        messages.error(request, "✗ Registration failed. Please check the form.")
    else:
        form = PatientSignupForm()

    return render(request, 'accounts/patientsignup.html', {'form': form})

# Doctor Signup View
def doctor_signup_view(request):
    if request.method == 'POST':
        form = DoctorSignupForm(request.POST)
        if form.is_valid(): ...
    else:
        messages.error(request, "✗ Registration failed. Please check the form.")
    else:
        form = DoctorSignupForm()

    return render(request, 'accounts/doctorsignup.html', {'form': form})

# Login View
```

Figure 35: régistration des utilisateurs.

```
login(request, user)
messages.success(request, "✅ Login successful!")

if user.user_type == 'patient':
    return redirect('patient_dashboard')
elif user.user_type == 'doctor':
    return redirect('doctor_dashboard')
else:
    return redirect('index')

else:
    messages.error(request, "❌ Invalid username or password.")

return render(request, 'accounts/login.html')
```

Figure 36: Connexion selon chaque type d'utilisateur.

```
# Logout View
@login_required
def logout_view(request):
    logout(request)
    messages.success(request, "You have been logged out.")
    return redirect('login')
```

Figure 37: La déconnexion des utilisateurs.

Afin de renforcer la sécurité de la plateforme et de vérifier l'authenticité des comptes enregistrés, nous avons intégré un système de vérification par e-mail [Figure 38] utilisant SMTP via Gmail dans Django à travers le fichier settings.py [Figure 39]. Où le patient reçoit un message de confirmation pour activer son compte via un lien envoyé par e-mail. Ces liens sont générés automatiquement et l'utilisateur ne peut pas se connecter tant que le compte n'est pas vérifié.

```

DEFAULT_AUTO_FIELD = 'django.db.models.BigAutoField'

AUTH_USER_MODEL = 'accounts.CustomUser'
LOGIN_REDIRECT_URL = 'patient_dashboard'
LOGOUT_REDIRECT_URL = 'login'
EMAIL_BACKEND = 'django.core.mail.backends.smtp.EmailBackend'
EMAIL_HOST = 'smtp.gmail.com'
EMAIL_PORT = 587
EMAIL_USE_TLS = True
EMAIL_HOST_USER = 'kawtherdjango@gmail.com'
EMAIL_HOST_PASSWORD = 'erfg iank vogx khwt'
DEFAULT_FROM_EMAIL = 'kawtherdjango@gmail.com'

```

Figure 38: Configuration de l'envoi des e-mails via SMTP (Gmail).

```

def send_verification_email(user, request):
    token = default_token_generator.make_token(user)
    uid = urlsafe_base64_encode(force_bytes(user.pk))
    verification_link = reverse('verify_email', args=[uid, token])
    domain = request.get_host()
    full_link = f"http://{domain}{verification_link}"

    subject = "Verify Your Email"
    message = f"Hello {user.username},\n\nPlease click the link below to verify your email:\n{full_link}"

    send_mail(subject, message, 'noreply@yourdomain.com', [user.email])
    print(f"📧 Verification Link Sent: {full_link}")

# Email verification view
def verify_email(request, uidb64, token):
    try:
        uid = force_str(urlsafe_base64_decode(uidb64))
        user = CustomUser.objects.get(pk=uid)
    except (TypeError, ValueError, OverflowError, CustomUser.DoesNotExist):
        user = None

    if user is not None and default_token_generator.check_token(user, token):
        user.is_active = True
        user.is_email_verified = True
        user.save()
        messages.success(request, "✅ Email verified! You can now log in.")
        return redirect('login')
    else:
        return HttpResponse("❌ The verification link is invalid or has expired.")

```

Figure 39: Envoyer l'email via la fonction dans le fichier views.py.

Quant au médecin, après son inscription, son compte n'est pas activé immédiatement, mais il est envoyé au tableau d'administration [Figure 40] pour que les informations soient examinées par l'admin. Cela garantit la sécurité des utilisateurs et évite les fraudes. L'admin accepte ou refuse le compte du médecin [Figure 41], et en conséquence un email est envoyé au médecin pour confirmer ou refuser le compte.


```
class DoctorProfileAdmin(admin.ModelAdmin):

    def approve_doctors(self, request, queryset):
        queryset.update(is_approved=True)
        for doctor in queryset:
            doctor.user.is_active = True
            doctor.status = "approved"
            doctor.user.is_active = True
            doctor.user.save()
            doctor.save()
            send_approval_email(doctor.user)
        self.message_user(request, "✅ Selected doctors have been approved.")

    approve_doctors.short_description = "✅ Approve selected doctors"

    def reject_doctors(self, request, queryset):
        queryset.update(is_approved=False)
        for doctor in queryset:
            doctor.user.is_active = False
            doctor.status = "rejected"
            doctor.user.is_active = False
            doctor.user.save()
            doctor.save()
            rejection_reason = doctor.rejection_reason if doctor.rejection_reason else "No reason provided."
            send_rejection_email(doctor.user, rejection_reason)
        self.message_user(request, "❌ Selected doctors have been rejected.")

    reject_doctors.short_description = "❌ Reject selected doctors"
```

Figure 40: La fonction pour accepter ou refuser l'inscription d'un médecin.

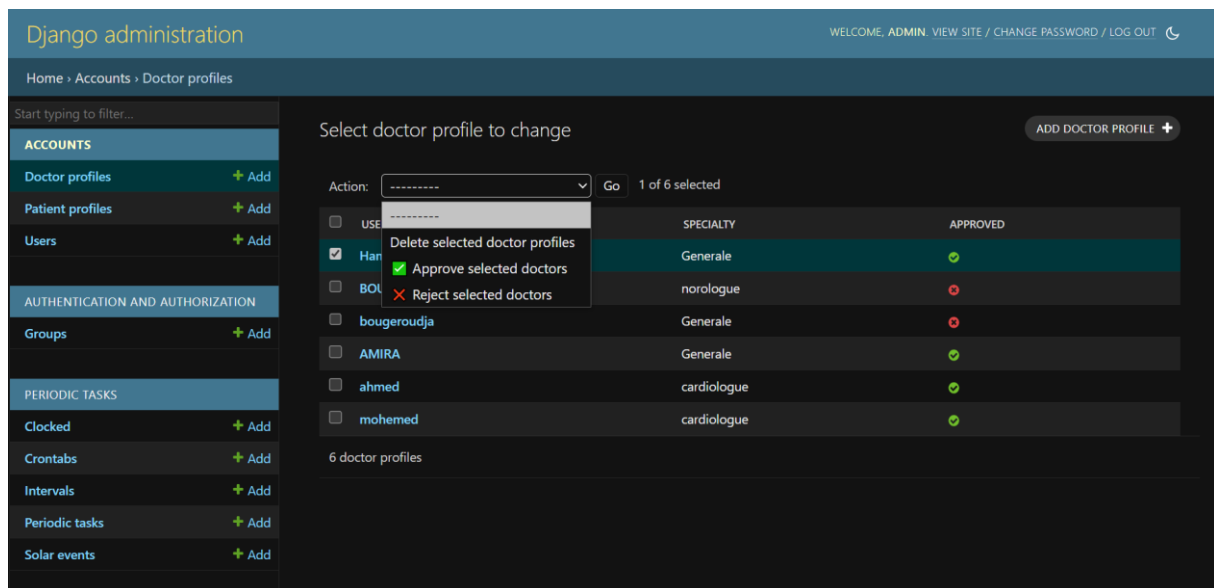


Figure 41: La validation des comptes des médecins dans l'administration.

3.5.3 Réinitialisation du mot de passe utilisateur

Les utilisateurs de la plateforme peuvent réinitialiser leurs mots de passe par e-mail en utilisant le SMTP de Gmail [Figure 38]. Un lien est envoyé à l'utilisateur par email, contenant un lien sur lequel, lorsqu'il est cliqué, l'identité de l'utilisateur est vérifiée. Puis il est permis de saisir un nouveau mot de passe, de le confirmer et de l'enregistrer [Figure 42].

```
# Rest password view
def reset_password_view(request, uidb64, token):
    try:
        uid = force_str(urlsafe_base64_decode(uidb64))
        user = CustomUser.objects.get(pk=uid)
    except (TypeError, ValueError, OverflowError, CustomUser.DoesNotExist):
        user = None

    if user is not None and default_token_generator.check_token(user, token):
        if request.method == "POST":
            new_password = request.POST.get("new_password1")
            confirm_password = request.POST.get("new_password2")

            if new_password == confirm_password:
                user.set_password(new_password)
                user.save()
                messages.success(request, "✅ Password changed successfully!")
                return redirect('login')
            else:
                messages.error(request, "❌ Passwords do not match.")

    return render(request, "accounts/password_reset_confirm.html")
```

Figure 42: Fonction de réinitialisation sécurisée du mot de passe.

3.6 Architecture des modèles et base de données

3.6.1 Modèles des profils personnalisés

Afin de personnaliser les données des utilisateurs selon leur rôle (médecin ou patient), nous avons créé deux modèles spécifiques, `DoctorProfile` et `PatientProfile`, qui sont liés à `CustomUser`.

- Le `DoctorProfile` contient des informations sur le médecin telles que la spécialité, le numéro de licence, les années d'expérience, etc [Figure 43].
- Le `PatientProfile` contient les informations de base du patient avant tout dossier médical, telles que le type de diabète, la taille, le poids et l'âge, qui est calculé automatiquement à partir de la date de naissance saisie [Figure 44].

```

class DoctorProfile(models.Model):
    STATUS_CHOICES = (
        ('pending', 'Pending Approval'),
        ('approved', 'Approved'),
        ('rejected', 'Rejected'),
    )

    user = models.OneToOneField(CustomUser, on_delete=models.CASCADE, related_name='doctor_profile')
    specialty = models.CharField(max_length=100)
    license_number = models.CharField(max_length=50)
    professional_experience = models.TextField(blank=True, null=True)
    experience = models.CharField(max_length=50, blank=True, null=True)
    languages = models.CharField(max_length=100, blank=True, null=True)
    phone_number = models.CharField(max_length=20, blank=True, null=True)
    biography = models.TextField(blank=True, null=True)
    photo = models.ImageField(upload_to='doctor_photos/', blank=True, null=True)
    profile_picture = models.ImageField(
        upload_to='doctor_profile_pics/',
        null=True,
        blank=True,
        validators=[
            FileExtensionValidator(allowed_extensions=['jpg', 'jpeg', 'png']),
        ]
    )

```

Figure 43: Modèle DoctorProfile.

```

class PatientProfile(models.Model):
    DIABETES_TYPES = [
        ('type1', 'Type 1 Diabetes'),
        ('type2', 'Type 2 Diabetes'),
        ('gestational_insulin', 'Gestational Diabetes (Insulin)'),
        ('gestational_non_insulin', 'Gestational Diabetes (No Insulin)'),
        ('pre', 'Pre-Diabetes'),
    ]

    user = models.OneToOneField(CustomUser, on_delete=models.CASCADE, related_name='patient_profile')
    diabetes_type = models.CharField(max_length=30, choices=DIABETES_TYPES, default='pre')
    height = models.FloatField(default=0.0)
    weight = models.FloatField(default=0.0)
    profile_picture = models.ImageField(
        upload_to='patient_profile_pics/',
        null=True,
        blank=True,
        validators=[
            FileExtensionValidator(allowed_extensions=['jpg', 'jpeg', 'png']),
        ]
    )

    def save(self, *args, **kwargs): ...

    @property
    def age(self):
        return self.user.calculate_age()

```

Figure 44: Patient Profile.

3.6.2 Enregistrement des mesures journalières et suivi des traitements

Le patient peut enregistrer ses mesures quotidiennes de glycémie, de pression artérielle et d'insuline (si disponible) en utilisant le modèle MedicalRecord [Figure 45].

La pression artérielle du patient est enregistrée sous forme médicale pour faciliter son entrée par le patient, puis elle est séparée ultérieurement par une opération de découpage de chaîne (string split) pour séparer les deux valeurs.

```
class MedicalRecord(models.Model):
    user = models.ForeignKey(settings.AUTH_USER_MODEL, on_delete=models.CASCADE)
    blood_sugar = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=2, null=True, blank=True)
    systolic_pressure = models.IntegerField(null=True, blank=True)
    diastolic_pressure = models.IntegerField(null=True, blank=True)
    insulin = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=2, null=True, blank=True)
    medication = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=2, null=True, blank=True)
    weight = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=2, null=True, blank=True)
    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    def set_blood_pressure(self, blood_pressure):
        if blood_pressure:
            try:
                systolic, diastolic = map(int, blood_pressure.split("/"))
                self.systolic_pressure = systolic
                self.diastolic_pressure = diastolic
            except ValueError:
                raise ValueError("Invalid blood pressure format. Use '120/80'.")

    def __str__(self):
        return f"{self.user.username} - {self.created_at}"
```

Figure 45: Enregistrement des mesures utilisant le modèle MedicalRecord.

Pour suivre le traitement du patient, nous avons utilisé les modèles InsulinDose [Figure 46] et MedicationSchedule [Figure 47] afin de conserver les détails des doses, des horaires et de l'état de prise. Les doses d'insuline ou des médicaments, ainsi que leur prise ou non, sont enregistrées, ce qui est important pour le suivi du traitement du patient.

```
class MedicationSchedule(models.Model):
    patient = models.ForeignKey(PatientProfile, on_delete=models.CASCADE, related_name='medications')
    name = models.CharField(max_length=100)
    dosage = models.CharField(max_length=50)
    times_per_day = models.IntegerField(default=1)
    schedule_times = models.JSONField(default=list, blank=True, null=True)
    is_insulin = models.BooleanField(default=False)
    injection_times = models.JSONField(blank=True, null=True)
    notes = models.TextField(blank=True, null=True)
    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    taken_today = models.BooleanField(default=False)
    taken_doses = models.JSONField(default=list)
    last_reset_date = models.DateField(null=True, blank=True)
    last_checked_date = models.DateField(null=True, blank=True)

    class Meta:
        ordering = ['-created_at']

    def __str__(self):
        return f"{self.name} - {self.dosage} ({self.times_per_day}x per day)"
```

Figure 46: Modèle de conserver les détails des doses d'insuline.

```
class InsulinDose(models.Model):
    patient = models.ForeignKey(settings.AUTH_USER_MODEL, on_delete=models.CASCADE, related_name="insulin_doses")
    dose = models.FloatField()
    time_of_day = models.CharField(
        max_length=20,
        choices=[("morning", "Morning"), ("afternoon", "Afternoon"), ("night", "Night")]
    )
    taken = models.BooleanField(default=False)
    taken_date = models.DateField(null=True, blank=True)

    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    def __str__(self):
        return f"{self.patient.username} - {self.time_of_day} - {self.dose} units"
```

Figure 47: Modèle de conserver les détails des médicaments.

3.6.3 Gestion des enregistrements de nutrition et d'exercice physique

Le patient diabétique a besoin de suivre son régime alimentaire et son activité physique dans le cadre de son traitement. Pour cela, Nous avons développé un système pour enregistrer et suivre son plan.

Nous avons créé le modèle Meal [Figure 48] pour enregistrer les repas de la journée (petit-déjeuner, déjeuner, dîner, snack) avec la spécification des aliments autorisés et interdits selon chaque plan avec les modèles AllowedFood et ForbiddenFood [Figure 48].

```
class Meal(models.Model):
    MEAL_TYPE_CHOICES = (
        ('breakfast', 'Breakfast'),
        ('lunch', 'Lunch'),
        ('dinner', 'Dinner'),
        ('snack', 'Snack'),
    )

    diet_plan = models.ForeignKey(PatientDietPlan, on_delete=models.CASCADE)
    meal_type = models.CharField(max_length=10, choices=MEAL_TYPE_CHOICES)
    description = models.TextField()
    notes = models.TextField(blank=True)

    def __str__(self): ...

class AllowedFood(models.Model):
    diet_plan = models.ForeignKey(PatientDietPlan, on_delete=models.CASCADE)
    name = models.CharField(max_length=100)
    notes = models.TextField(blank=True)

    def __str__(self): ...

class ForbiddenFood(models.Model):
    diet_plan = models.ForeignKey(PatientDietPlan, on_delete=models.CASCADE)
    name = models.CharField(max_length=100)
    notes = models.TextField(blank=True)
```

Figure 48: Modèle de conserver les détails des repas.

Pour l'enregistrement de l'activité physique nous avons utilisé le modèle Exercise [Figure 49] où le type et la fréquence des exercices physiques sont enregistrés.

```
class Exercise(models.Model):
    EXERCISE_TYPES = [
        ('cardio', 'Cardio'),
        ('strength', 'Strength'),
        ('flexibility', 'Flexibility'),
        ('balance', 'Balance'),
    ]

    diet_plan = models.ForeignKey(PatientDietPlan, on_delete=models.CASCADE)
    name = models.CharField(max_length=100)
    exercise_type = models.CharField(max_length=20, choices=EXERCISE_TYPES)
    description = models.TextField()
    frequency = models.CharField(max_length=100)

    def __str__(self):
        return self.name
```

Figure 49: Modèle de conserver les détails des exercices.

3.7 Visualisation des données et résultats d'analyse

Dans cette section, nous avons développé plusieurs éléments et fonctionnalités permettant au patient de surveiller et de comprendre son état de santé de manière visuelle et facile.

3.7.1 Afficher les mesures quotidiennes et calculer les moyennes

La moyenne de la glycémie et de la pression artérielle ainsi que les groupes de doses quotidiennes d'insuline sont calculés par une fonction dans le fichier views.py [Figure 50] et affichés sur le tableau de bord [Figure 51].

```

daily_avg = (
    MedicalRecord.objects.filter(user=request.user, created_at__date=today)
    .aggregate(
        avg_sugar=Avg("blood_sugar"),
        avg_pressure_systolic=Avg("systolic_pressure"),
        avg_pressure_diastolic=Avg("diastolic_pressure"),
        total_insulin=Sum("insulin")
    )
)

avg_sugar = round(daily_avg["avg_sugar"], 2) if daily_avg["avg_sugar"] else "N/A"
avg_pressure = (
    f'{int(daily_avg["avg_pressure_systolic"])} / {int(daily_avg["avg_pressure_diastolic"])}'
    if daily_avg["avg_pressure_systolic"] and daily_avg["avg_pressure_diastolic"]
    else "N/A"
)
total_insulin = round(daily_avg["total_insulin"], 2) if daily_avg["total_insulin"] else "N/A"

```

Figure 50: les calcule des mesures quotidiennes.

```

<div class="card-body">
    <table class="table text-center">
        <thead>
            <tr>
                <th class="fw-bold">Blood Sugar</th>
                <th class="fw-bold">Blood Pressure</th>
                {% if diabetes_type in "type1 gestational_insulin" %}
                <th class="fw-bold">Total Insulin</th>
                {% endif %}
            </tr>
        </thead>
        <tbody>
            <tr>
                <td class="fw-bold">{{ avg_sugar }} mg/dL</td>
                <td class="fw-bold">{{ avg_pressure }}</td>
                {% if diabetes_type in "type1 gestational_insulin" %}
                <td class="fw-bold">{{ total_insulin }} units</td>
                {% endif %}
            </tr>
        </tbody>
    </table>
</div>

```

Figure 51: Le tableau de « Daily Averages » sur le tableau de bord.

3.7.2 Tracer les courbes

La courbe quotidienne, nous avons utilisé la bibliothèque Chart.js pour afficher les valeurs saisies quotidiennement pour les mesures de sucre dans le sang et les doses d'insuline dans le courbe dailychart [Figure 52].

```
function updateDailyChart(labels, bloodSugar, insulin) {
  const ctx = document.getElementById('dailyChart').getContext('2d');
  new Chart(ctx, {
    type: 'line',
    data: {
      labels: labels,
      datasets: [
        {
          label: 'Blood Sugar Level',
          data: bloodSugar,
          borderColor: 'rgba(54, 162, 235, 1)',
          backgroundColor: 'rgba(54, 162, 235, 0.2)',
          borderWidth: 2,
          fill: true,
          tension: 0.4
        },
        {
          label: 'Insulin Dose',
          data: insulin,
          borderColor: 'rgba(255, 165, 0, 1)',
          backgroundColor: 'rgba(255, 165, 0, 0.2)',
          borderWidth: 2,
          fill: true,
          tension: 0.4
        }
      ]
    }
  });
}
```

Figure 52: Affichage du graphique dailychart (Chart.js).

Nous avons également utilisé la même bibliothèque pour afficher deux graphiques bibliothèques pour afficher deux graphiques circulaires [Figure 53] relatifs à la moyenne de glycémie et de la pression artérielle selon les jours de la semaine (élevée, normale ou basse). Des graphiques à barres montrent leur moyenne selon les semaines du mois [Figure 54].

```
// Weekly Metrics Charts
document.addEventListener("DOMContentLoaded", function() {
  fetch("{% url 'weekly_trends' %}", {
    headers: { "X-Requested-With": "XMLHttpRequest" }
  })
  .then(response => response.json())
  .then(data => {
    if (data.success) {
      console.log("✅ Weekly Trends Data:", data);
      updateWeeklySugarChart(data.sugar);
      updateWeeklyPressureChart(data.pressure);
    } else {
      console.error("❌ Error fetching weekly trends data.");
    }
  })
  .catch(error => console.error("❌ Fetch Error:", error));
});

function updateWeeklySugarChart(sugarData) { ...

function updateWeeklyPressureChart(pressureData) { ...
```

Figure 53: Affichage du graphique weekly_trends (Chart.js).

```
function updateMonthlyChart(labels, avgSugar, avgPressure) {
const ctx = document.getElementById('monthlyChart').getContext('2d');
new Chart(ctx, {
  type: 'bar',
  data: {
    labels: labels,
    datasets: [
      {
        label: 'Average Blood Sugar',
        data: avgSugar,
        backgroundColor: 'rgba(54, 162, 235, 0.7)',
        borderColor: 'rgba(54, 162, 235, 1)',
        borderWidth: 2
      },
      {
        label: 'Average Systolic Pressure',
        data: avgPressure,
        backgroundColor: 'rgba(255, 165, 0, 0.7)',
        borderColor: 'rgba(255, 165, 0, 1)',
        borderWidth: 2
      }
    ]
  },
  options: {
```

Figure 54: Affichage du graphique monthlychart (Chart.js).

3.8 Gestion de la relation entre médecin et patient

Notre plateforme offre une connexion entre le patient et le médecin via plusieurs fonctionnalités intégrées dans le système :

3.8.1 Demande de régime

Nous avons développé un modèle permettant au patient d'envoyer une demande de régime alimentaire spécifique par un médecin de son choix [Figure 55]. La demande est stockée via le modèle DietRequest [Figure 56], qui inclut des informations sur le patient et l'état de la demande.

```
@login_required
def request_diet(request):
    if request.method == 'POST':
        doctor_id = request.POST.get('doctor_id')
        patient_profile = request.user.patient_profile

        try:
            doctor = DoctorProfile.objects.get(id=doctor_id)
            diet_request = DietRequest.objects.create(
                patient=patient_profile,
                doctor=doctor,
                status='pending'
            )

            DoctorNotification.objects.create(
                doctor=doctor,
                notification_type='diet_request',
                message=f"New diet request from {patient_profile.user.username}",
                related_id=diet_request.id
            )

            messages.success(request, "Diet request has been successfully sent!")
            return redirect('neutrition')
        except DoctorProfile.DoesNotExist:
            messages.error(request, "Doctor not found")

    doctors = DoctorProfile.objects.filter(is_approved=True)
    return render(request, 'accounts/request_diet.html', {'doctors': doctors})
```

Figure 55: Code de gestion des requêtes de régime.

```
class DietRequest(models.Model):
    patient = models.ForeignKey(PatientProfile, on_delete=models.CASCADE)
    doctor = models.ForeignKey(DoctorProfile, on_delete=models.CASCADE, null=True, blank=True)
    request_date = models.DateTimeField(auto_now_add=True)
    status = models.CharField(max_length=20, choices=[
        ('pending', 'Pending'),
        ('approved', 'Approved'),
        ('completed', 'Completed')
    ], default='pending')
    notes = models.TextField(blank=True, null=True)
```

Figure 56: Enregistrement de la demande de régime dans DietRequest.

Après que le médecin ait créé le régime alimentaire avec l'aide de la fonction `create_diet_plan` [Figure 57], il est renvoyé et présenté au patient sur la page nutrition.

```
@login_required
def create_diet_plan(request, patient_id):
    if request.user.user_type != 'doctor': ...

    patient = get_object_or_404(PatientProfile, id=patient_id)
    doctor = request.user.doctor_profile

    if request.method == 'POST':
        try:
            request_id = request.GET.get('request_id') or request.POST.get('request_id')

            diet_plan = PatientDietPlan.objects.create(...)

            if request_id: ...

            meal_types = ['breakfast', 'lunch', 'dinner', 'snack']
            for meal_type in meal_types: ...

            allowed_foods = request.POST.get('allowed_foods', '').split('\n')
            for food in allowed_foods: ...

            forbidden_foods = request.POST.get('forbidden_foods', '').split('\n')
            for food in forbidden_foods: ...
```

Figure 57: La fonction `create_diet_plan`.

3.8.2 Demande de consultation

Nous avons ajouté la possibilité pour le patient de demander une consultation médicale avec son médecin par la fonction `request_consultation_view` [Figure 58].

```
@login_required
def request_consultation_view(request):
    if request.user.user_type != 'patient':
        return redirect('patient_dashboard')

    if request.method == 'POST':
        doctor_id = request.POST.get('doctor_id')
        requested_date_str = request.POST.get('requested_date')
        requested_time_str = request.POST.get('requested_time')
        notes = request.POST.get('notes', '')

        try:
            if not all([doctor_id, requested_date_str, requested_time_str]):
                messages.error(request, "✗ Please fill all required fields.")
                return redirect('request_consultation')

            requested_date = datetime.strptime(requested_date_str, '%Y-%m-%d').date()
            requested_time = datetime.strptime(requested_time_str, '%H:%M').time()

            if requested_date < date.today():
                messages.error(request, "✗ Consultation date cannot be in the past.")
                return redirect('request_consultation')

            doctor = DoctorProfile.objects.get(id=doctor_id)
            consultation = ConsultationRequest.objects.create(
                patient=request.user.patient_profile,
                doctor=doctor,
                requested_date=requested_date,
                requested_time=requested_time,
```

Figure 58: La fonction `request_consultation_view`.

Les demandes sont enregistrées à l'aide du modèle `ConsultationRequest` [Figure 59]. Le médecin consulte le patient en utilisant la fonction `doctor_consultation_detail` [Figure 60], puis il revient au patient.

```

class ConsultationRequest(models.Model):
    STATUS_CHOICES = [
        ('pending', 'Pending'),
        ('approved', 'Approved'),
        ('rejected', 'Rejected'),
        ('completed', 'Completed'),
    ]

    patient = models.ForeignKey('PatientProfile', on_delete=models.CASCADE)
    doctor = models.ForeignKey('DoctorProfile', on_delete=models.CASCADE)
    requested_date = models.DateField()
    requested_time = models.TimeField()
    notes = models.TextField(blank=True)
    status = models.CharField(max_length=20, choices=STATUS_CHOICES, default='pending')
    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)
    diagnosis = models.TextField(blank=True, null=True)
    prescription = models.TextField(blank=True, null=True)
    advice = models.TextField(blank=True, null=True)
    is_video_call = models.BooleanField(default=False)

    def __str__(self):
        return f"Consultation #{self.id} - {self.patient} with {self.doctor}"

```

Figure 59: Modèle ConsultationRequest.

```

@login_required
def doctor_consultation_detail(request, consultation_id):
    consultation = get_object_or_404(ConsultationRequest, id=consultation_id, doctor=request.user.doctor_profile)

    if request.method == 'POST':
        consultation.diagnosis = request.POST.get('diagnosis', '')
        consultation.prescription = request.POST.get('prescription', '')
        consultation.advice = request.POST.get('advice', '')
        consultation.status = 'completed'
        consultation.save()

        messages.success(request, "✅ Consultation completed successfully!")
        return redirect('doctor_dashboard')

    return render(request, 'accounts/consultation_detail.html', {
        'consultation': consultation,
        'patient': consultation.patient
    })

```

Figure 60: La fonction doctor_consultation_detail.

3.8.3 Demande de visioconférence

Nous avons ajouté l'option de demander une consultation par appel vidéo en utilisant la fonction `request_video_call` [Figure 61], qui est séparée des demandes de consultation ordinaires en utilisant la ligne `is_video_call=True`. Les demandes sont enregistrées dans le modèle

ConsultationMeeting [Figure 62].

```
@login_required
def request_video_call(request):
    if request.user.user_type != 'patient':
        return redirect('patient_dashboard')

    if request.method == 'POST':
        doctor_id = request.POST.get('doctor_id')
        requested_date = request.POST.get('requested_date')
        requested_time = request.POST.get('requested_time')
        notes = request.POST.get('notes', '')

        try:
            doctor = DoctorProfile.objects.get(id=doctor_id)

            consultation = ConsultationRequest.objects.create(
                patient=request.user.patient_profile,
                doctor=doctor,
                requested_date=requested_date,
                requested_time=requested_time,
                notes=notes,
                status='pending',
                is_video_call=True
            )
```

Figure 61: La fonction request_video_call.

```
class ConsultationMeeting(models.Model):
    consultation = models.OneToOneField(ConsultationRequest, on_delete=models.CASCADE, related_name='meeting')
    meet_link = models.URLField(max_length=500, blank=True, null=True)
    meeting_start_time = models.DateTimeField(blank=True, null=True)
    meeting_end_time = models.DateTimeField(blank=True, null=True)
    is_meeting_approved = models.BooleanField(default=False)
    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    def __str__(self):
        return f"Meeting for {self.consultation}"

    def is_meeting_time(self):
        now = timezone.now()
        return self.meeting_start_time <= now <= self.meeting_end_time

    def is_active(self):
        now = timezone.now()
        return self.meeting_start_time <= now <= self.meeting_end_time

    def is_upcoming(self):
        return timezone.now() < self.meeting_start_time

    def is_expired(self):
        return timezone.now() > self.meeting_end_time
```

Figure 62: Le modèle ConsultationMeeting.

Le médecin fixe l'heure de l'appel, le lien est créé automatiquement puis envoyé avec l'heure spécifiée par la fonction approve_video_call [Figure 63].

```

@login_required
def approve_video_call(request, consultation_id):
    if request.user.user_type != 'doctor':
        return HttpResponseForbidden("Not authorized")

    consultation = get_object_or_404(...)

    meeting_link = None

    if request.method == 'POST':
        try:
            start_time_str = request.POST.get('start_time')
            end_time_str = request.POST.get('end_time')

            start_time = timezone.make_aware(datetime.strptime(start_time_str, '%Y-%m-%dT%H:%M'))
            end_time = timezone.make_aware(datetime.strptime(end_time_str, '%Y-%m-%dT%H:%M'))

            meeting_link = create_meeting(...)

            ConsultationMeeting.objects.create(...)

            consultation.status = 'approved'
            consultation.save()

            PatientNotification.objects.create(...)

            messages.success(request, "✅ Video call approved and meeting link created!")
            return redirect('doctor_video_requests')

```

Figure 63: La fonction `approve_video_call`.

3.9 Système de notifications

Dans notre projet, le système d'alertes, en particulier pour le patient, est très important car le patient a des rappels pour les médicaments et les doses d'insuline saisies depuis le tableau de bord. Cela a été réalisé d'abord en installant Redis depuis le site officiel et Celery + Beat par les commandes « `pip install celery` et `pip install django-celery-beat` » puis l'ajouter dans le fichier `settings.py`.

Ensuite, nous avons créé le fichier `config/celery.py` [Figure 64] et exécuté par la commande « `python manage.py migrate django_celery_beat` ». Après la création de fichier `taske.py` [Figure 65] et on lance Redis par la commande « `& "C:\Program Files\Redis\redis-server.exe" --port 6380` ». On exécute Celery Beat par « `celery -A config beat --loglevel=info` ».


```

import os
from celery import Celery

os.environ.setdefault('DJANGO_SETTINGS_MODULE', 'config.settings')

app = Celery('patient_doctor_platform')

app.config_from_object('django.conf:settings', namespace='CELERY')

app.autodiscover_tasks(['accounts'])

app.conf.beat_scheduler = 'django_celery_beat.schedulers:DatabaseScheduler'

@app.task(bind=True)
def debug_task(self):
    print(f'Request: {self.request!r}')

```

Figure 64: Le fichier celery.py.

```

@shared_task(bind=True, name='accounts.tasks.run_medication_reminders')
def run_medication_reminders(self):
    now = datetime.now().time()
    today = date.today()

    medications = MedicationSchedule.objects.filter(
        schedule_times__contains=now.strftime('%H:%M')[:5]
    ).select_related('patient__user')

    for med in medications:
        ...
    return "Medication reminders processed successfully"

@shared_task(bind=True, name='accounts.tasks.run_insulin_reminders')
def run_insulin_reminders(self):
    now = datetime.now().time()
    today = date.today()

    insulin_doses = InsulinDose.objects.filter(
        time_of_day__in=get_current_time_period(now),
        taken=False,
    ).select_related('patient__patient_profile')

    for dose in insulin_doses:
        ...
    return "Insulin reminders processed successfully"

```

Figure 65: Fichier tasks.py.

Via l'interface Django Admin, nous avons ajouté les tâches dans la section Periodic Tasks et les avons liées à des horaires (crontab) pour qu'elles s'exécutent automatiquement à des moments spécifiques [Figure 66]. En cas de besoin, une notification est envoyée au patient en utilisant le modèle PatientNotification.

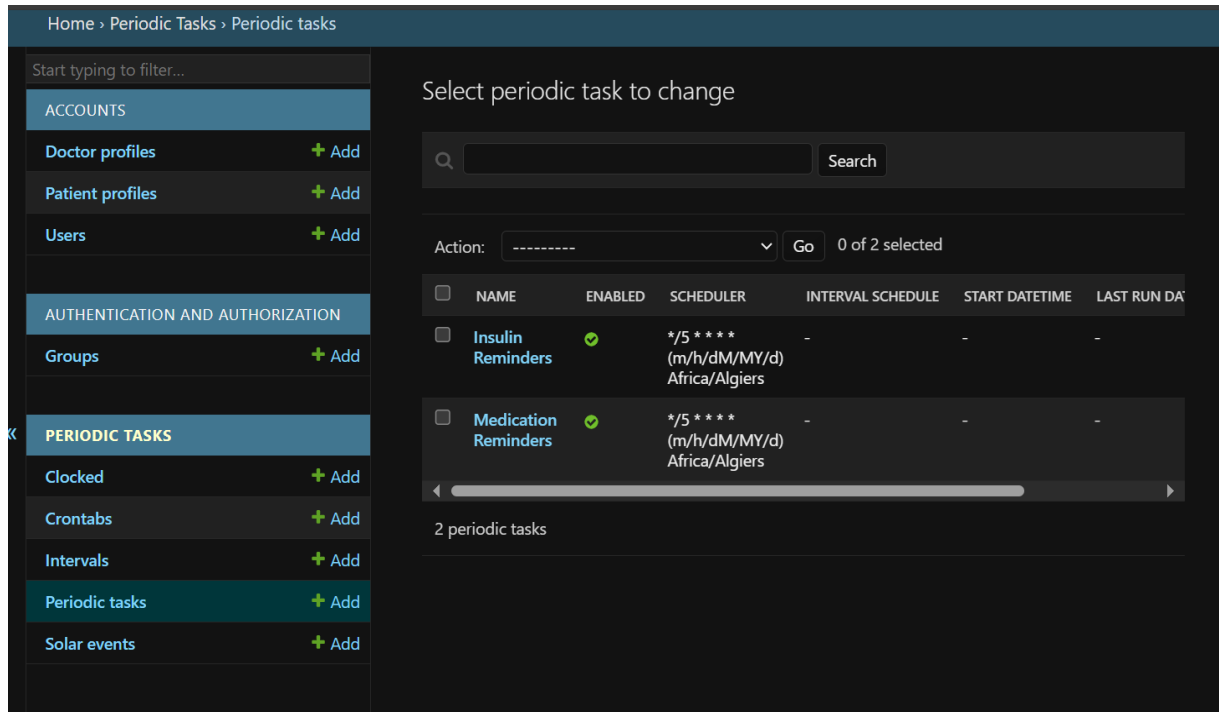


Figure 66: Ajout des tâches planifiées via l'interface admin.

D'autre part, nous avons pris en charge les notifications ordinaires pour le médecin et le patient, telles que la notification de l'arrivée d'un régime ou la demande de consultation, etc.

Qui sont enregistrées via les modèles PatientNotification et DoctorNotification [Figure 67].

```

class PatientNotification(models.Model):
    NOTIFICATION_TYPES = ( ...

    patient = models.ForeignKey(PatientProfile, on_delete=models.CASCADE, related_name='notifications')
    notification_type = models.CharField(max_length=20, choices=NOTIFICATION_TYPES)
    message = models.TextField()
    related_id = models.IntegerField(null=True, blank=True)
    is_read = models.BooleanField(default=False)
    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    class Meta: ...

    def __str__(self):
        return f"{self.get_notification_type_display()} - {self.patient.user.username}"

class DoctorNotification(models.Model):
    NOTIFICATION_TYPES = ( ...

    doctor = models.ForeignKey(DoctorProfile, on_delete=models.CASCADE, related_name='notifications')
    notification_type = models.CharField(max_length=30, choices=NOTIFICATION_TYPES)
    message = models.TextField()
    related_id = models.IntegerField(null=True, blank=True)
    is_read = models.BooleanField(default=False)
    created_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)

    class Meta: ...

    def __str__(self):
        return f"{self.get_notification_type_display()} - {self.doctor.user.username}"

```

Figure 67: Les modèles PatientNotification et DoctorNotification.

Chaque fois qu'un patient ou un médecin effectue une certaine action, une nouvelle notification est créée via des fonctions spécialisées dans les vues [Figure 68] en fonction du type d'utilisateur.

```

PatientNotification.objects.create(
    patient=patient,
    notification_type='diet_plan',
    message=f"A new diet plan has been created: {diet_plan.plan_name}",
    related_id=diet_plan.id
)

```

Figure 68: Exemple d'une fonction de génération de notifications.

3.9.1 Prise de rendez-vous avec visioconférence (Google Meet)

Sur notre plateforme, pour permettre la communication entre le patient et son médecin via des appels vidéo, nous avons intégré la plateforme avec les API de Google Calendar et Google Meet. Après avoir installé google-auth avec la commande suivante `pip install google-auth`.

Nous avons créé un projet sur Google Cloud et activé l'API Google Calendar [Figure 69]. Puis, nous avons téléchargé le fichier d'authentification `credentials.json` et l'avons lié au projet dans Django via le code de `google_calendar_service.py` [Figure 70] pour créer des

événements sur le calendrier et ajouter automatiquement le lien de réunion Meet. Lorsque le médecin fixe un rendez-vous, le lien de la réunion est généré et envoyé au patient, garantissant ainsi la confidentialité et la sécurité des consultations médicales.

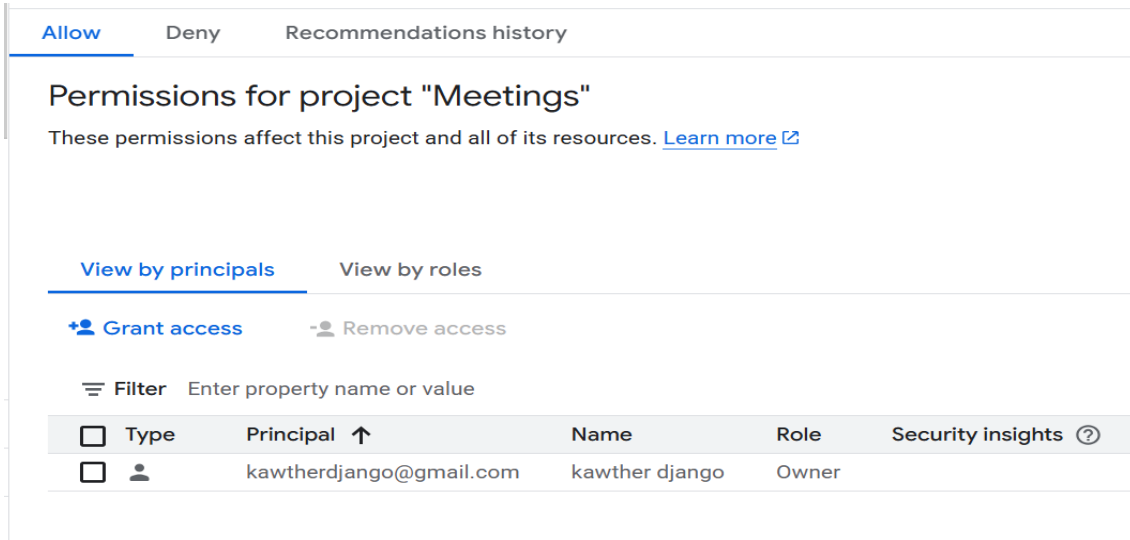


Figure 69: Création du projet « Meeting » dans Google Cloud.

```
def get_calendar_service():
    creds = None

    if os.path.exists(TOKEN_FILE):
        creds = Credentials.from_authorized_user_file(TOKEN_FILE, SCOPES)

> if not creds or not creds.valid: ...

    service = build('calendar', 'v3', credentials=creds)
    return service

def create_meeting(summary, description, start_time, end_time, attendees_emails):
    try:
        service = get_calendar_service()

        start_time_utc = start_time.astimezone(timezone.utc)
        end_time_utc = end_time.astimezone(timezone.utc)

> event = { ...

> event = service.events().insert(...

        return event.get('hangoutLink')

    except Exception as e:
        print(f"Error creating Google Meet: {str(e)}")
        raise
```

Figure70: Fichier google-auth.py.

3.10 Création d'un système expert basé sur l'intelligence artificielle

Le système expert est une valeur ajoutée à notre plateforme, car nous avons conçu un système expert personnalisé sans recourir à une bibliothèque externe pour mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes. Nous avons défini une base de connaissances knowledge_base.py [Figure 71] dans le dossier expert_system. Les bases de données de connaissances du système contiennent les symptômes, les facteurs de risque, les complications et les recommandations.

```
DIABETES_KNOWLEDGE = {
    "symptoms": {
        1: {"description": "Excessive thirst (polydipsia)", "weight": 1.5},
        2: {"description": "Frequent urination", "weight": 1.5},
        3: {"description": "Excessive hunger", "weight": 1.2},
        4: {"description": "Unexplained fatigue", "weight": 1},
        5: {"description": "Blurred vision", "weight": 0.8},
        6: {"description": "Slow healing wounds", "weight": 0.8},
        7: {"description": "Sudden weight loss", "weight": 1.2},
        8: {"description": "Irritability or mood swings", "weight": 0.5},
        9: {"description": "Tingling in feet or hands", "weight": 1},
        10: {"description": "Chest pain or shortness of breath", "weight": 1.2},
        11: {"description": "Ocular hypertension / visual blurriness", "weight": 0.8},
        12: {"description": "Swollen ankles / edema", "weight": 1},
    },
    "risk_factors": {
        1: {"description": "Overweight / Obesity", "weight": 1.5},
        2: {"description": "Sedentary lifestyle", "weight": 1.2},
        3: {"description": "Family history", "weight": 1.5},
        4: {"description": "High blood pressure", "weight": 1.2},
        5: {"description": "Age ≥ 45 years", "weight": 1},
        6: {"description": "Previous gestational diabetes", "weight": 1.2},
        7: {"description": "Polycystic ovary syndrome", "weight": 1},
        8: {"description": "Excessive sugar / sugary drinks consumption", "weight": 0.8},
        9: {"description": "Chronic stress", "weight": 0.5},
        10: {"description": "Chronic lack of sleep", "weight": 0.5},
    },
    "diagnoses": {
        "diabete_type1": {
            "description": "Suspected type 1 diabetes"
```

Figure 71: La base de connaissances knowledge_base.py.

Ensuite, nous avons créé un moteur d'inférence logique [Figure 72] utilisant DiabetesExpertSystem, qui représente l'esprit du système recevant les informations pour les analyser via la fonction calculate_score () et fournit un diagnostic approprié via get_diagnosis ().

```
class DiabetesExpertSystem:
    def __init__(self):
        self.symptoms = {}
        self.risk_factors = {}
        self.existing_complications = []
        self.years_since_diagnosis = 0
        self.total_score = 0
        self.complications_risk = 0
        self.potential_complications = set()
        self.explanation = {
            'symptoms': [],
            'risk_factors': [],
            'complications_factors': [],
            'duration_risk': None
        }

    def add_symptom(self, symptom_id, present=True): ...
    def add_risk_factor(self, factor_id, present=True): ...
    def add_complication_factor(self, comp_id, present=True): ...
    def set_diagnosis_duration(self, years): ...
    def calculate_score(self):
        self.total_score = 0
        self.complications_risk = 0
        self.potential_complications = set()
        self.explanation = {
            'symptoms': [],
            'risk_factors': [],
            'complications_factors': [],
            'duration_risk': None
        }
```

Figure 72 : Le moteur d'inférence (fichier inference_engine.py).

Enfin, nous avons ajouté rules.py [Figure 73] pour servir de substitut simplifié offrant le même résultat en utilisant des fonctions directes sous forme de règles conditionnelles simples (if-else).

```

# Main diagnosis
if score >= 7 and 7 in symptoms_ids and 1 in symptoms_ids and 2 in symptoms_ids:
    diagnosis = {"id": "type1_diabetes", "description": "Suspected type 1 diabetes", "score": score}
    recommendations = [
        "Urgent medical consultation",
        "Blood glucose and ketone testing",
        "Likely insulin therapy",
        "Diabetes education for type 1"
    ]
elif score >= 7:
    diagnosis = {"id": "type2_non_insulin", "description": "Probable type 2 diabetes (non-insulin dependent)",
    recommendations = [
        "Medical consultation",
        "Fasting blood glucose test",
        "Personalized meal plan",
        "Regular physical activity"
    ]
elif 4.5 <= score < 7:
    diagnosis = {"id": "prediabetes", "description": "Moderate risk (pre-diabetes)", "score": score}
    recommendations = [
        "Fasting blood glucose test",
        "Regular physical activity",
        "Balanced diet and nutritional follow-up"
    ]

```

Figure 73: Les règles conditionnelles dans le fichier rules.py.

3.11 Intégration du modèle « DeepSeek » pour l'analyse intelligente des données

Nous avons utilisé DeepSeek comme modèle d'intelligence artificielle pour analyser les données des patients. Tout d'abord, téléchargez et installez Ollama via l'interface de leur site officiel, puis installez DeepSeek r1.5 B en utilisant la commande « ollama pull deepseek : 1.5 » et exécutez-le avec la commande suivante « ollama run deepseek-r1 :1.5b ». Ensuite, vient l'étape de liaison du modèle avec Django via deepseek_api.py [Figure] qui communique avec le serveur local.

```

import logging
import requests

logger = logging.getLogger(__name__)

def analyze_patient_data(patient_data):
    url = "http://localhost:11434/api/generate"
    headers = { ...

    prompt = f"""
**Structured Diabetes Patient Assessment Report**

**Format Requirements:**
1. **Clinical Status Summary** (Full paragraph)
    - Comprehensive analysis of current patient condition
    - Detailed interpretation of all available metrics:
      * Glycemic control (HbA1c, fasting glucose, fluctuations)
      * Vital signs (BP, BMI, other relevant parameters)
      * Medication adherence and effects
      * Documented symptoms/complications
    - Professional assessment of disease progression

2. **Organ-Specific Risk Assessment** (Bullet points)
    - Renal System:
      * Current kidney function indicators
      * Diabetic nephropathy risk level
    - Ocular System:
      * Retinopathy risk factors
      * Recommended ophthalmologic evaluation urgency
    - Cardiovascular System:

```

Figure74: Fichier deepseek_api.py.

4. Plateforme

Dans cette section, nous vous présentons notre plateforme intelligente « Suk-Scan » : qui représente une solution innovante et intégrée spécifiquement conçue pour accompagner les diabétiques à différents stades, et également destinée aux professionnels de la santé tels que les médecins et les nutritionnistes.

Grâce à une interface conviviale et des technologies avancées, Suk-Scan vous aide à mieux comprendre et suivre la progression du diabète. Elle propose une gamme complète de services

pour l'objectif est de faciliter une gestion proactive et personnalisée de la maladie, vous trouverez ci-dessous quelques captures d'écran illustrant les services proposés par Suk-Scan :

4.1 Page d'accueil « Home »

La Figure 75, représente la page d'accueil de notre plateforme Suk-Scan, qui est considérée comme l'entrée principale dans le monde comme la principale passerelle vers le monde des soins intelligents pour les diabétiques. Elle offre une brève aperçue de la plateforme et de ses objectifs d'une manière claire et fluide en même temps, permettant aux utilisateurs qu'ils soient patients ou spécialistes, de se déplacer facilement entre les différentes sections du site selon leurs besoins.

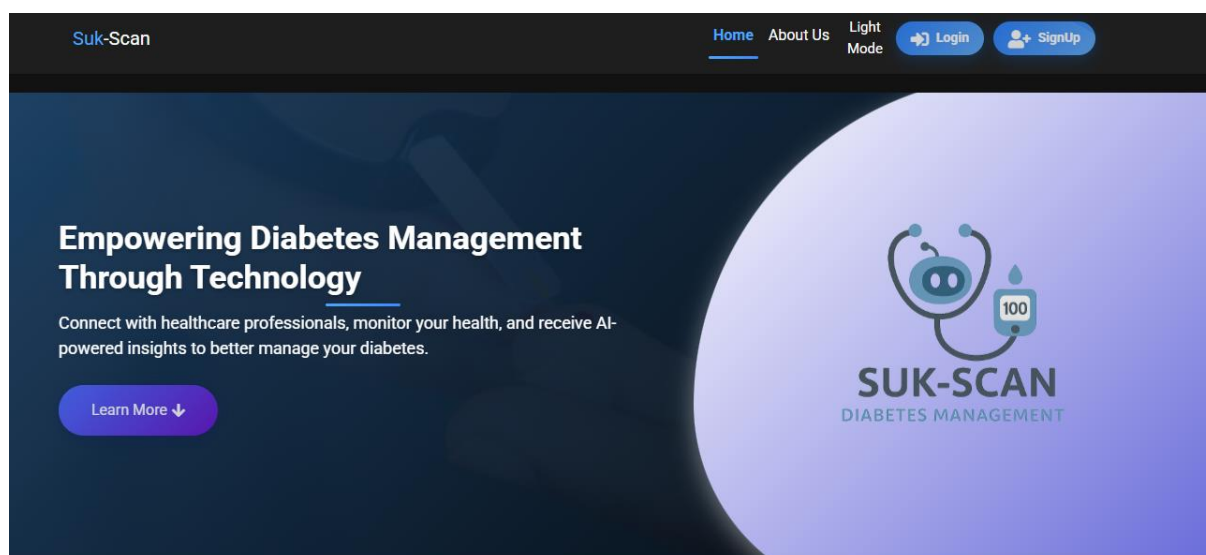


Figure 75: Page d'accueil de la plateforme Suk-Scan.

4.2 Page à propos de nous « About Us »

Cette section présente dans la Figure 76 c'est une explication de la mission et des objectifs de l'application. En mettant l'accent sur des outils intelligents de suivi de santé et d'analyse des risques futurs. La section mentionne également la possibilité de se connecter avec des professionnels de santé, renforçant ainsi la confiance des utilisateurs.

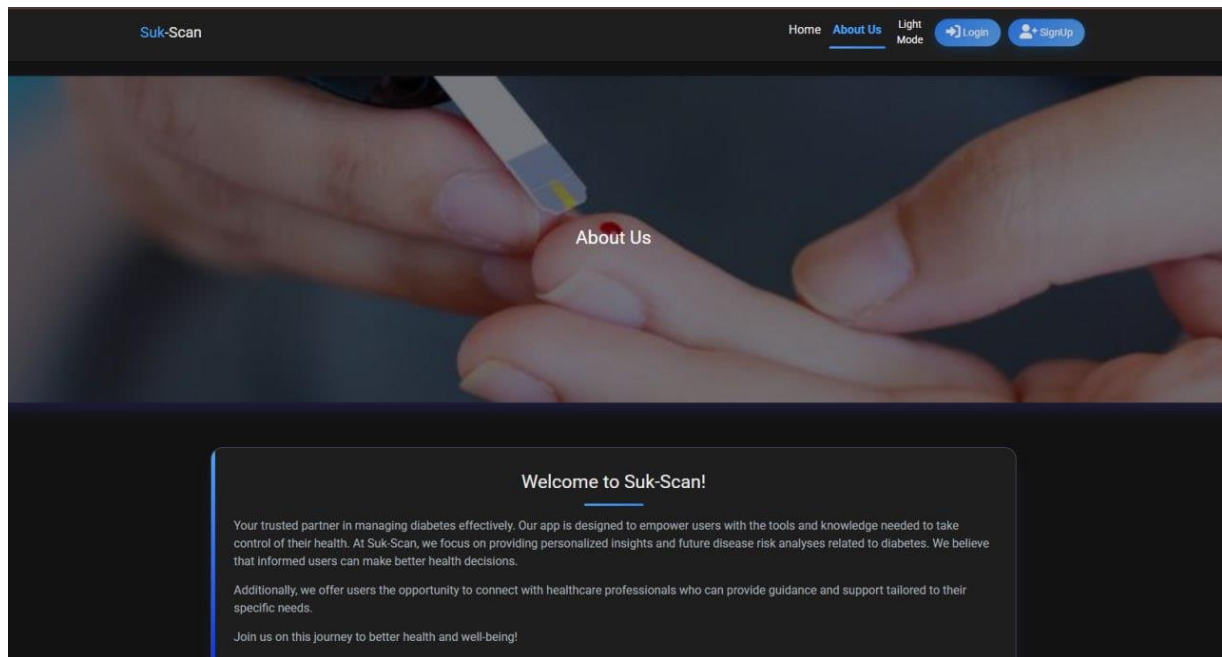


Figure 76 : Page about us.

La Figure 77 présente les informations sur l'équipe de développement sous le titre "OUR TEAM", accompagné d'espaces dédiés aux photos de profil.

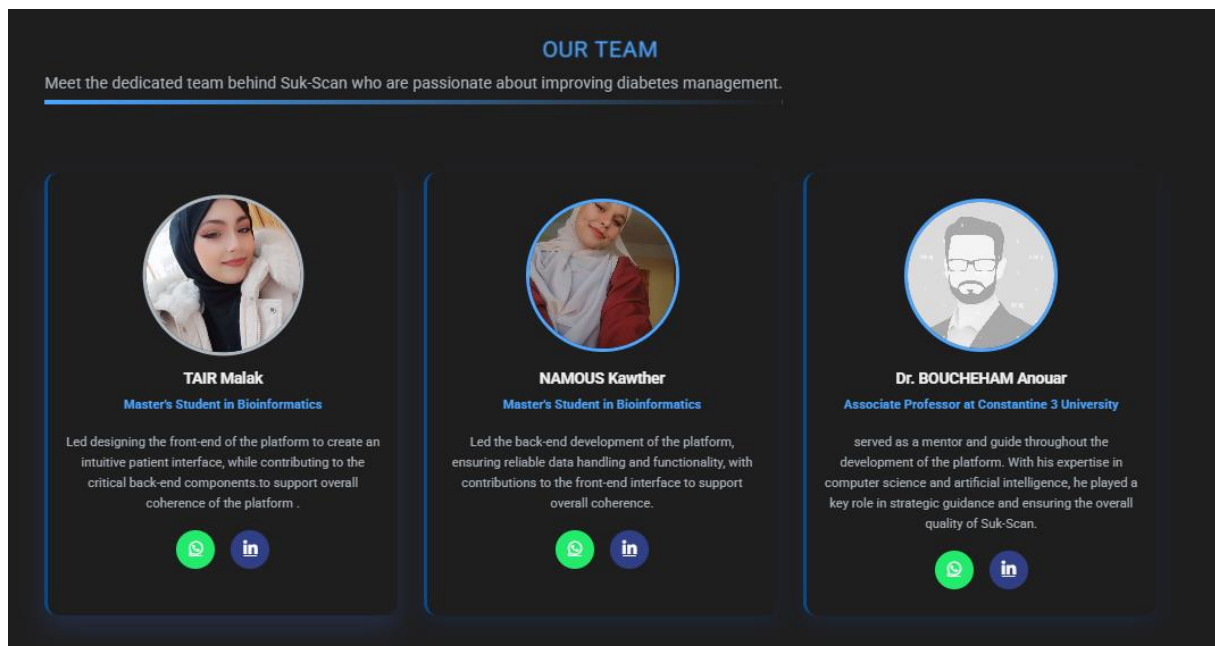


Figure 77: la section "Our Team" dans la page "About us".

4.3 Création des comptes

Cette page, « Page de création de compte » représente une étape essentielle dans l'expérience de l'utilisateur au sein de la plateforme Suk-Scan.

Car elle lui permet de créer un compte personnel pour bénéficier des services de la plateforme en fonction de ses besoins spécifiques.

L'utilisateur dispose de deux options claires présentes dans la :

- Créer un compte en tant que patient.
- Ou tant que médecin (ou professionnel de la santé)

- **Créer un compte « médecin » :**

La Figure 78 c'est un formulaire d'inscription simple qui permet aux médecins de s'inscrire sur la plateforme « Suk-Scan » et créer facilement leurs propres comptes. Pour commencer à utiliser, il suffit d'entrer quelques informations de base telles que le nom complet, l'adresse e-mail, la spécialité et joindre le numéro de licence professionnelle pour confirmation.

Après avoir choisi et confirmé un mot de passe sécurisé, le compte est prêt à être utilisé d'un simple clic sur le bouton d'inscription.

Une fois inscrit, le médecin pourra : Accéder à un espace professionnel sécurisé. Pour Gérer ses consultations et suivre ses patients.

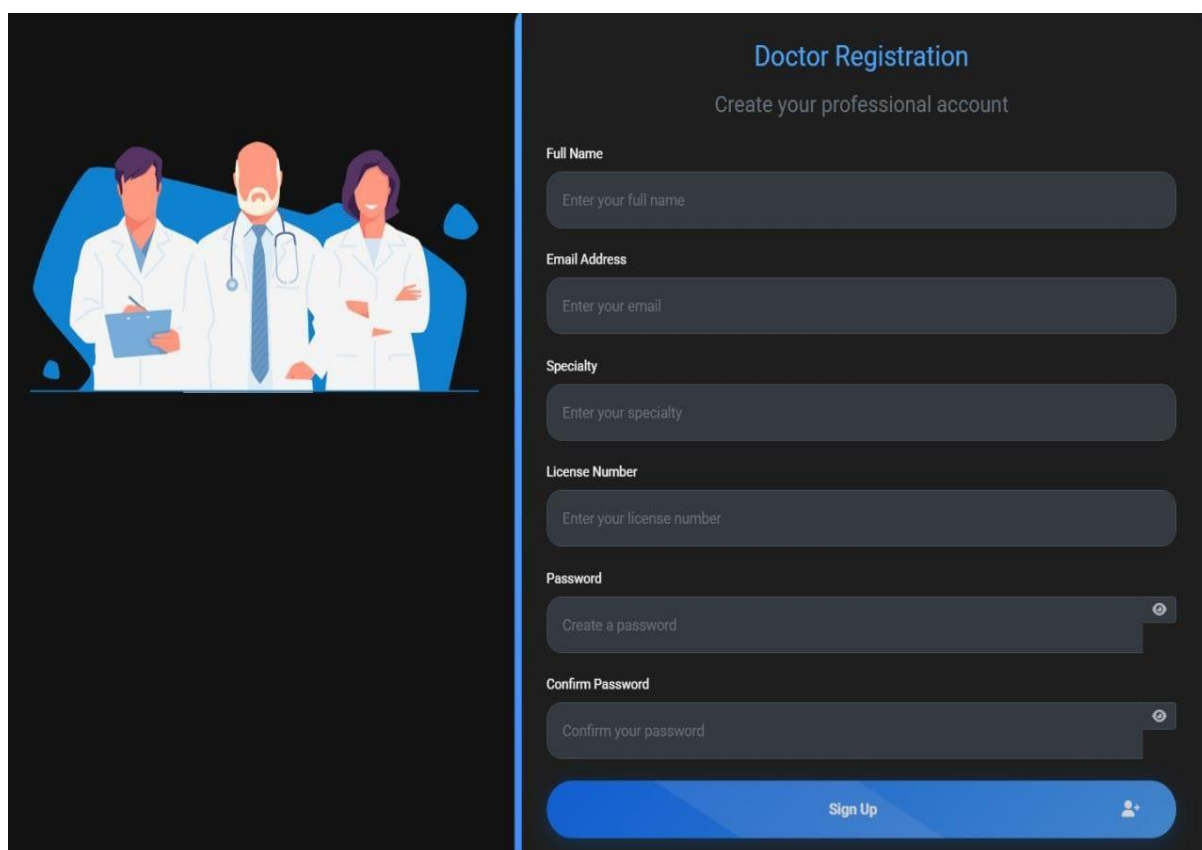
The image shows a 'Doctor Registration' form on a dark background. On the left, there is an illustration of three medical professionals in white coats. The form on the right is titled 'Doctor Registration' and 'Create your professional account'. It contains several input fields: 'Full Name' (placeholder: 'Enter your full name'), 'Email Address' (placeholder: 'Enter your email'), 'Specialty' (placeholder: 'Enter your specialty'), 'License Number' (placeholder: 'Enter your license number'), 'Password' (placeholder: 'Create a password'), and 'Confirm Password' (placeholder: 'Confirm your password'). Each field has a small eye icon for toggling visibility. At the bottom, there is a blue 'Sign Up' button with a user icon.

Figure 78: Page de création de compte pour médecin.

- **Créer un compte « patient »**

La Figure 79 représente le formulaire d'inscription du patient diabétique sur la plateforme « Suk-Scan », un portail simple et sécurisé pour commencer votre parcours de gestion de la maladie. Le formulaire comprend plusieurs champs clairs, y compris le nom complet, l'adresse courriel, le sexe...etc.

Une fois l'inscription terminée la plateforme offre aux patients : un accès complet à toutes les fonctionnalités nécessaires pour gérer efficacement leur condition. Ils peuvent suivre leurs indicateurs de santé au quotidien et communiquer simplement avec les différents professionnels médicaux, permettant ainsi un suivi personnalisé et une prise en charge optimale.

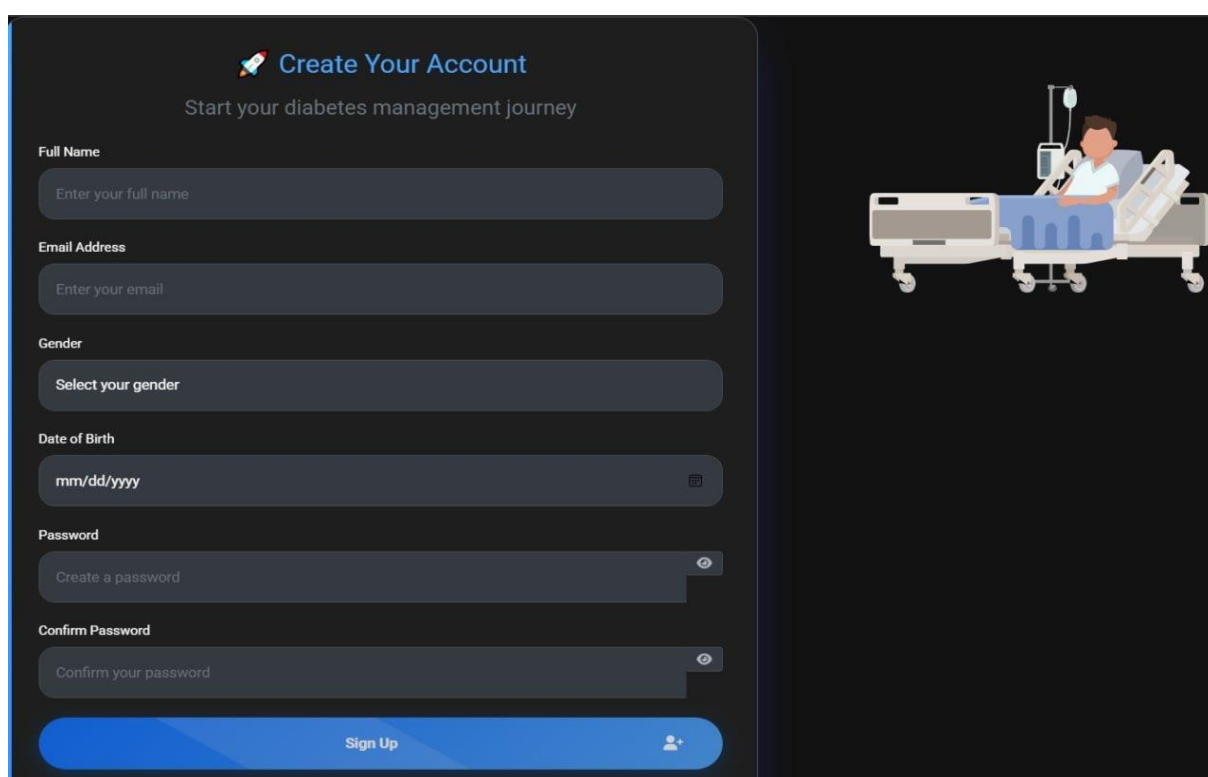


Figure 79: Page de création de compte pour patient.

4.3.1 Connexion

La Figure 80 présente une interface de connexion pour la plateforme Suk-Scan, qui permet aux utilisateurs de se connecter à leur compte (patient – médecin). Conçue pour faciliter l'accès des utilisateurs à leur espace personnel.

Le formulaire demande deux informations essentielles :

- le nom d'utilisateur (ou e-mail)
- le mot de passe

Avec un bouton "Login" bien visible permet de valider la connexion.

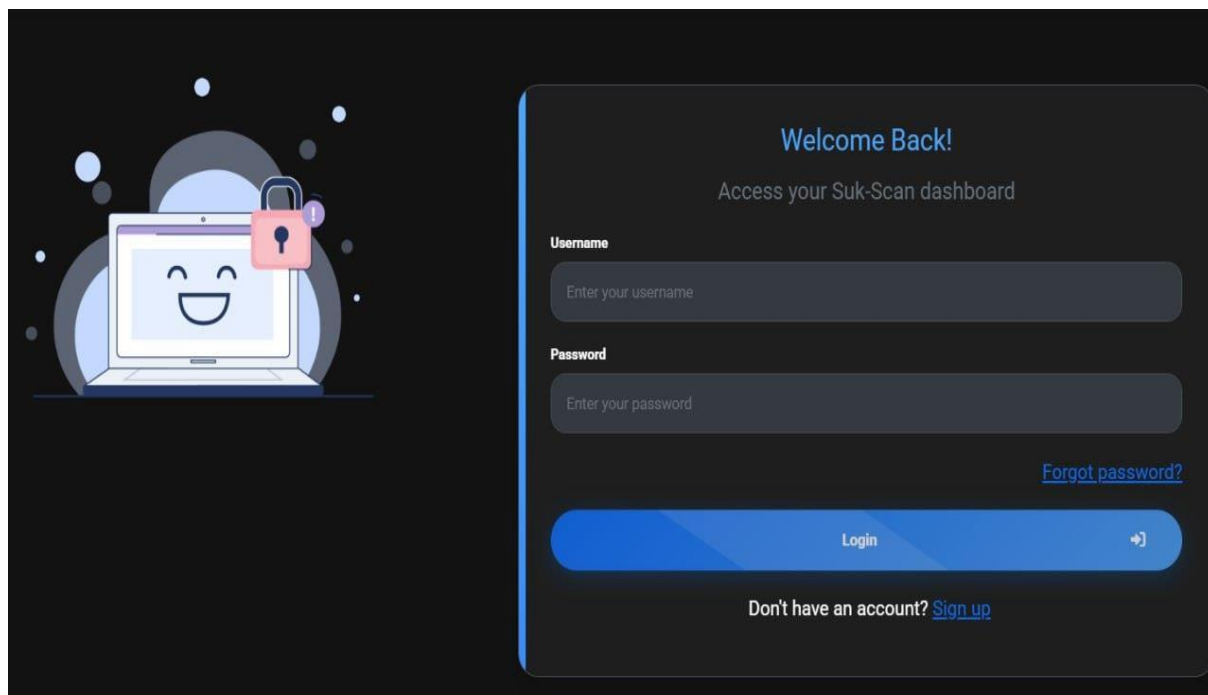


Figure 80 : page de connexion.

4.4 Patient

4.4.1 Tableau de bord Patient

Les Figure 81 représentent une partie du tableau de bord du patient, la première page à apparaître après avoir connecté dans son compte.

Cette interface numérique permet aux diabétiques de surveiller et de gérer leur état de santé au quotidien grâce à des outils interactifs et un affichage visuel clair.

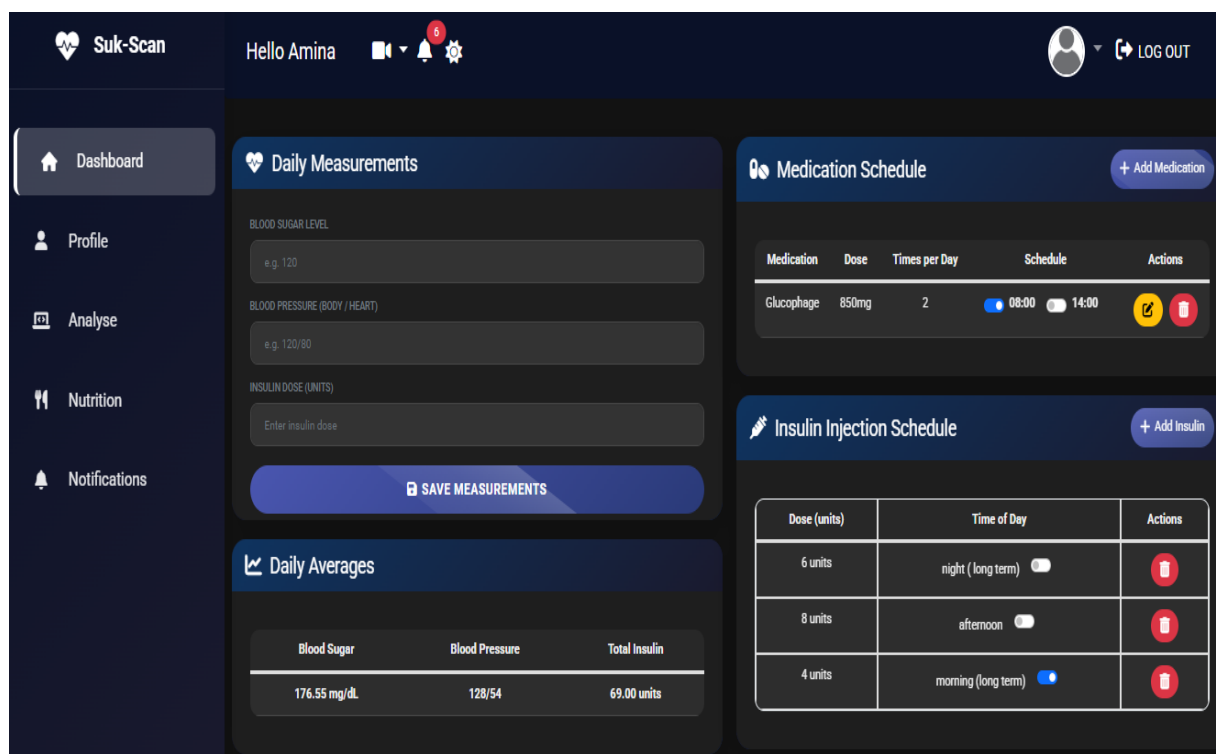


Figure 81: tableau de bord du patient.

La section "Daily Measurements" affiche les mesures quotidiennes essentielles pour le suivi médical du patient, notamment :

Le taux de glycémie (Blood Sugar Level)

La tension artérielle (Blood Pressure)

Les doses d'insuline (Insulin Dose)

Ces données sont automatiquement synthétisées dans le tableau "Daily Averages" (moyennes quotidiennes) pour une analyse rapide.

Il y a aussi deux sections dédiées aux médicaments prévus et autre pour les dates d'injection d'insuline.

La section "Medication Schedule" permet au patient d'organiser précisément son traitement médicamenteux, en indiquant le nom du médicament, la fréquence des prises et les horaires programmés. Le système complète cette fonctionnalité avec des rappels intelligents qui envoient des notifications en cas d'oubli de prise ou de retard dans l'enregistrement.

De même, la section "Insulin Injection Schedule" offre une gestion détaillée des injections d'insuline, avec la possibilité d'ajouter des doses et de programmer des rappels pour chaque injection.

Ces fonctionnalités sont renforcées par un système d'alertes automatisées qui préviennent le

patient si une dose n'a pas été enregistrée à l'heure prévue, assurant ainsi un suivi rigoureux du traitement.

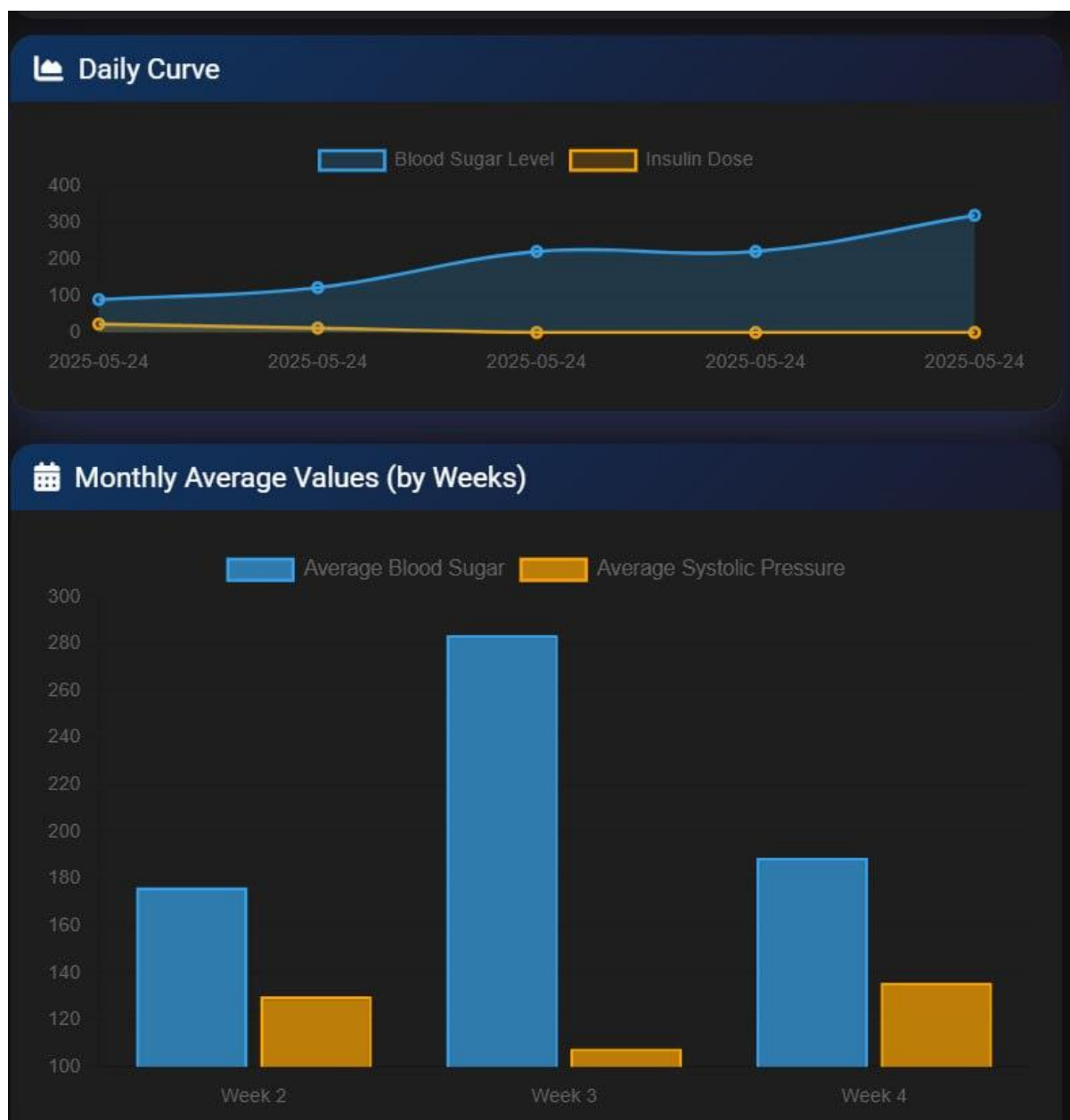


Figure 82: Les sections "Daily Curve" et " Monthly Average Values" dans le tableau de bord du patient.

Le tableau de bord contient également un graphique interactif, des colonnes relatives mensuelles illustrées dans la Figure 82, et graphiques circulaires illustrées dans la Figure 83.

Le "Daily Curve" c'est un graphique présente une courbe quotidienne de l'évolution du taux de glycémie et du nombre de doses d'insuline injectées, le cas échéant, "apparaissant et

disparaissant selon le type de sucre", ce qui lui permet de suivre les niveaux quotidiens de sucre d'une manière claire et novatrice basée sur des graphiques.

Le "Monthly Average Values " présent un paramètre relatif aux colonnes affiche également un suivi mensuel des niveaux de sucre et de la pression artérielle du patient, classés en semaines. Une comparaison mensuelle du taux de sucre et de la pression artérielle est affichée sous forme de colonnes relatives pour illustrer le changement dans le temps.

Les sections "weekly Blood Sugar Trends" et "Weekly Blood Pressure Trends" Présenter des cercles relatifs montrent un diagramme visuel clair de la glycémie moyenne et de la pression artérielle pour chaque jour de la semaine, où les résultats sont classés en trois niveaux (élevé, moyen, faible) utiliser des couleurs illustratives qui facilitent la compréhension de l'état de santé en un coup d'œil. Ces circuits interactifs reflètent les changements quotidiens et l'évolution des indicateurs de santé, permettant à l'utilisateur de suivre la stabilité de sa santé pendant la semaine.

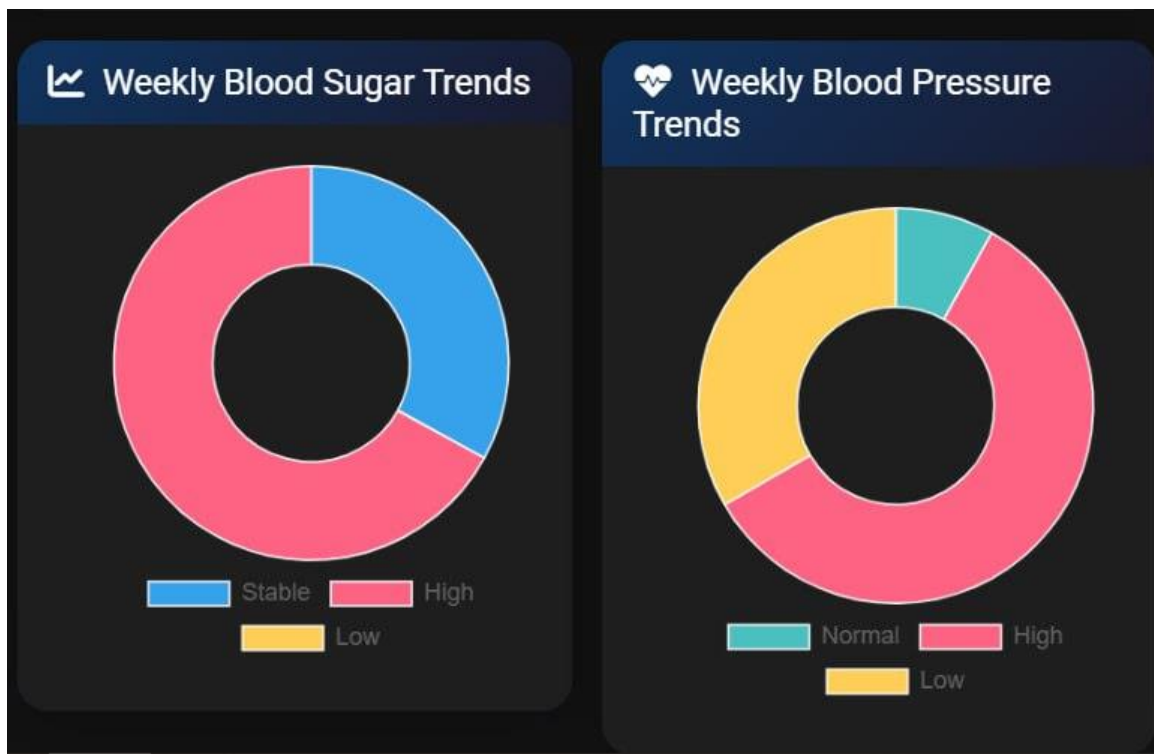


Figure 83: La section weekly_trend.

D'autre part la plateforme offre deux autres sections principales pour soutenir les soins de santé complets : " Medical Diet" et "Medical Consultation", illustré dans la Figure 84.

Dans la section " Medical Diet", Le patient peut jeter un coup d'œil au régime donné par le médecin ou le spécialiste, qui est entièrement disponible sur la page de nutrition par détaille.

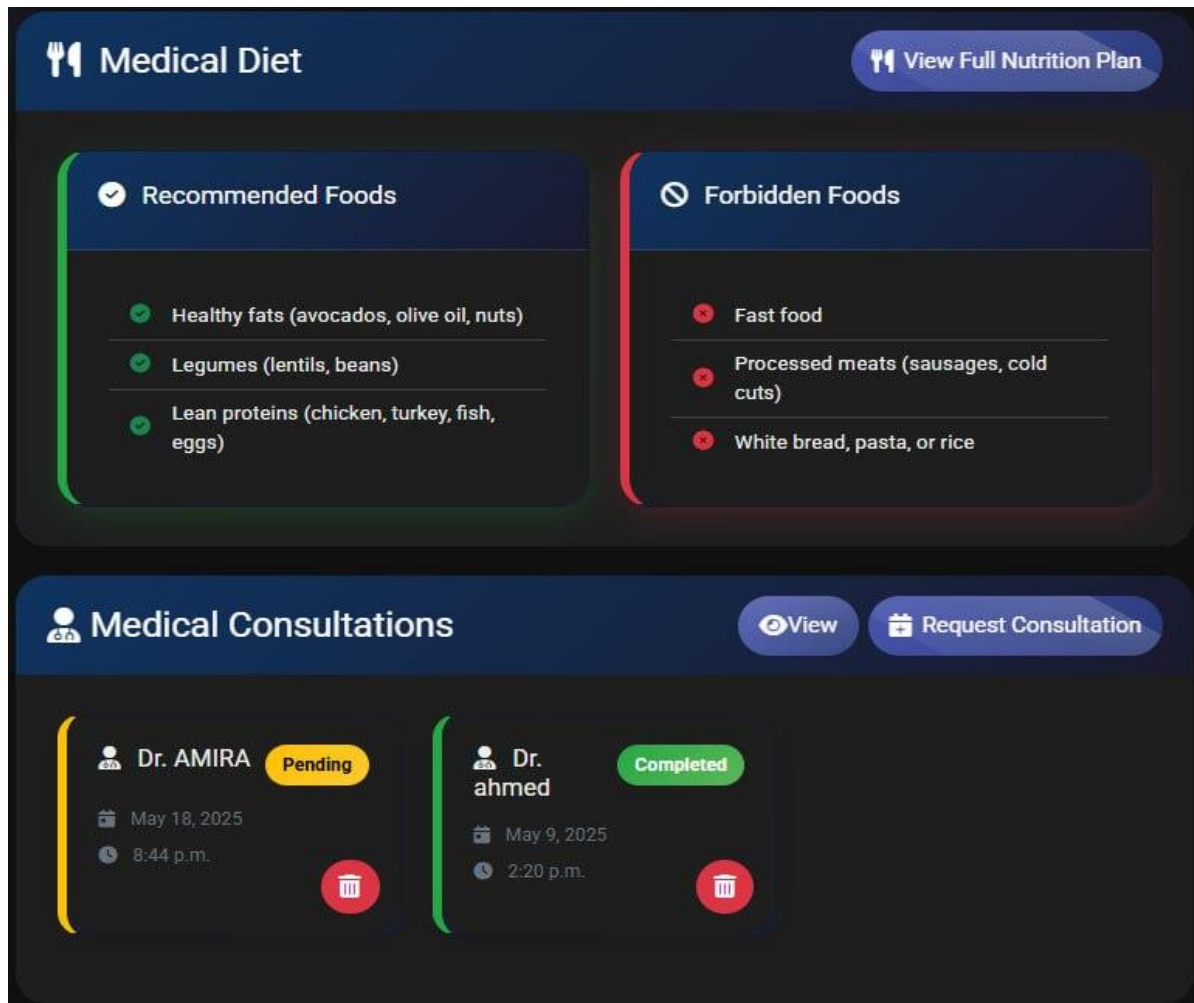


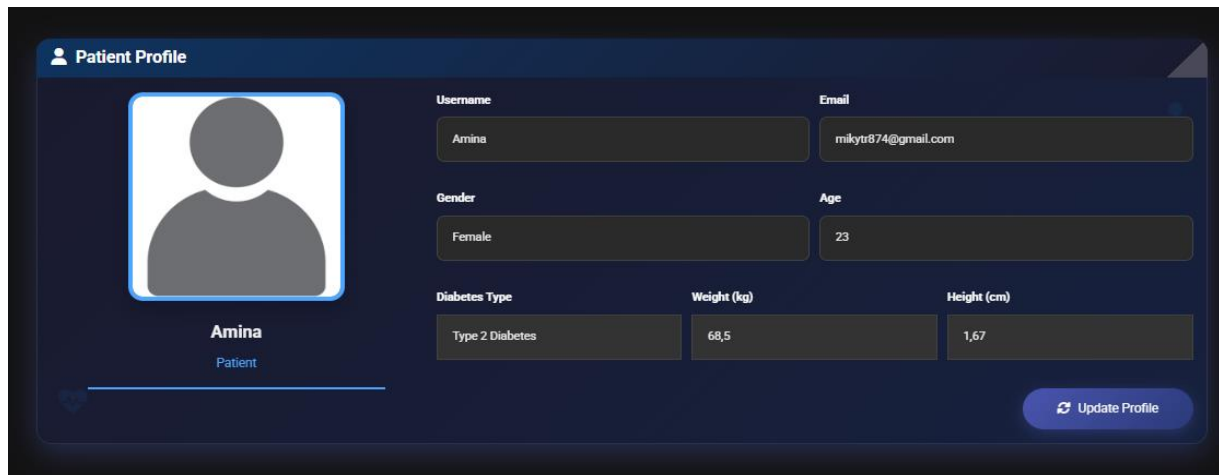
Figure 84: Les sections Medical Diet et Medical Consultation.

De même, dans la section "Medical Consultation", le patient peut connaître les rendez-vous acceptés et en attente avec tous les médecins, en plus des options de communication flexibles via la vidéo en direct (visio-conférence). Avec accès aux détails de la consultation sur la page "Consultation détails" qui contient tous les détails, ça assure un suivi précis et efficace du traitement et une vie saine.

4.4.2 Profile Patient

La page "Profil Patient", illustré dans la Figure 85 Permet aux utilisateurs de consulter leurs informations fixes (nom, email, sexe, âge), qui sont en lecture seule, tout en leur offrant la possibilité de modifier leurs données de santé évolutives, telles que le type de diabète, la taille

ou le poids. Ces modifications ont un impact immédiat sur le système : par exemple, un changement du type de diabète (de Type 2 à Type 1) déclenche un réajustement automatique des doses d'insuline. Une fois les modifications effectuées, l'utilisateur peut les enregistrer en cliquant sur le bouton "Mettre à jour", ce qui actualise instantanément le tableau de bord pour refléter les nouveaux paramètres. Cette fonctionnalité assure une gestion dynamique et personnalisée du suivi médical.

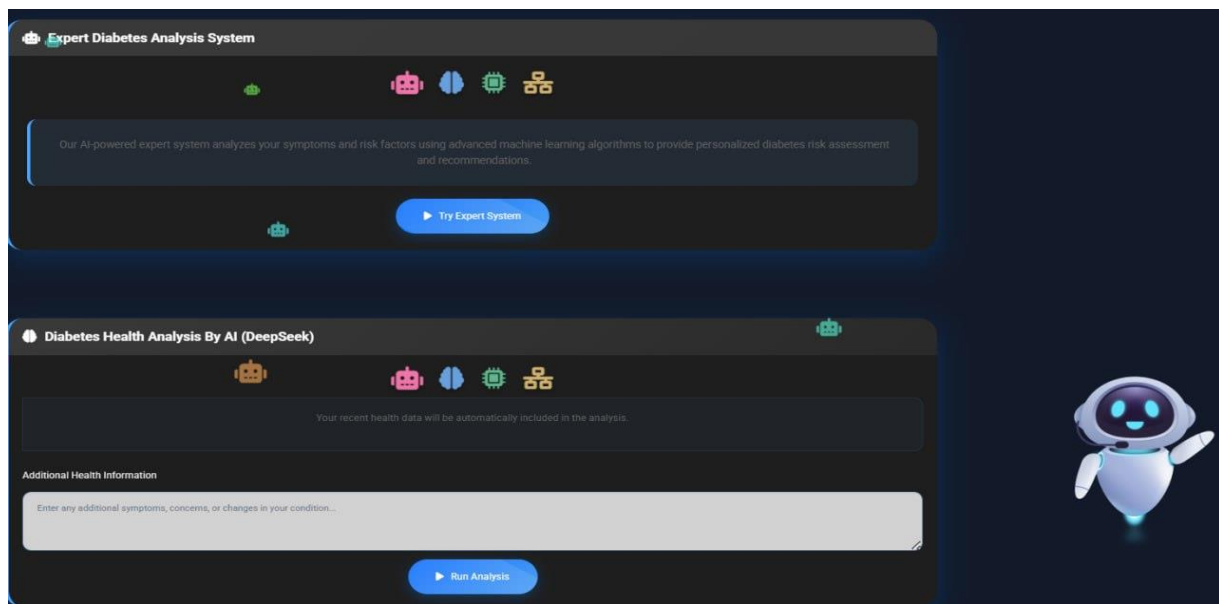


The image shows a 'Patient Profile' form with a dark blue background. On the left is a placeholder for a profile picture. To the right, there are input fields for 'Username' (containing 'Amina'), 'Email' (containing 'mikytr874@gmail.com'), 'Gender' (containing 'Female'), and 'Age' (containing '23'). Below these are fields for 'Diabetes Type' (containing 'Type 2 Diabetes'), 'Weight (kg)' (containing '68,5'), and 'Height (cm)' (containing '1,67'). At the bottom right is a blue button labeled 'Update Profile'.

Figure 85: patient profile.

4.4.3 Page Analyse

Cette page Figure 86 permet aux patients diabétiques d'utiliser des outils d'intelligence artificielle pour analyser leur état de santé et obtenir des recommandations personnalisées.



The image shows a 'Diabetes Health Analysis By AI (DeepSeek)' interface. It features a header with the title and a row of five icons: a green robot, a pink robot, a blue brain, a green circuit, and a yellow robot. Below this is a text box stating: 'Our AI-powered expert system analyzes your symptoms and risk factors using advanced machine learning algorithms to provide personalized diabetes risk assessment and recommendations.' A blue button labeled 'Try Expert System' is positioned below the text. Further down, there is a section titled 'Diabetes Health Analysis By AI (DeepSeek)' with a row of the same five icons. Below this is a text box stating: 'Your recent health data will be automatically included in the analysis.' A section titled 'Additional Health Information' contains a text input field with the placeholder text 'Enter any additional symptoms, concerns, or changes in your condition...'. A blue button labeled 'Run Analysis' is at the bottom. On the right side of the interface is a large, stylized illustration of a white robot with a blue face and glowing eyes.

Figure 86: La page analyse.

Elle se compose de deux sections principales :

- **Système Expert d'Analyse du Diabète :**

"L'Expert Diabetes Analysis System" présenté dans la Figure 86, est une solution intégrée intelligente conçue pour évaluer le risque de diabète et ses complications potentielles. Ce système s'appuie sur des algorithmes médicaux avancés et des protocoles globaux pour fournir une analyse précise et complète de l'état de santé de l'utilisateur.

Lors de l'utilisation du système :

Il analyse automatiquement les symptômes, facteurs de risque et complications potentielles sélectionnés par l'utilisateur la Figure 87. Ensuite, le système expert traite ces données au moyen d'une base de connaissances médicales complète pour fournir :

- Classification précise du niveau de risque (faible/moyen/élevé).
- Identifier une liste des complications potentielles et des recommandations adaptées en fonction du cas du patient.
- Un plan de prévention personnel varié, selon la situation.

Cela aide le patient à comprendre facilement son état de santé et à suivre les conseils fournis par le système, ce qui conduit à une amélioration de la qualité de vie globale [Figure 88].

The interface is titled "Expert Diabetes Analysis System" and is designed for user input. It features three primary sections for data entry:

- Symptoms:** Includes checkboxes for Excessive thirst (polydipsia), Frequent urination, Excessive hunger, Unexplained fatigue, Blurred vision, Slow healing wounds, Sudden weight loss, Irritability or mood swings, Tingling in feet or hands, Chest pain or shortness of breath, Ocular hypertension / visual blurriness, and Swollen ankles / edema.
- Risk Factors:** Includes checkboxes for Overweight / Obesity, Sedentary lifestyle, Family history, High blood pressure, Age ≥ 45 years, Previous gestational diabetes, Polycystic ovary syndrome, Excessive sugar / sugary drinks consumption, Chronic stress, and Chronic lack of sleep.
- Complication Factors:** Includes checkboxes for HbA1c > 7%, Smoking, High cholesterol, Foot ulcers, Kidney disease, Uncontrolled hypertension, and Ocular hypertension.

Below these sections is a "Time Since Diagnosis" section with a label "Years since diagnosis (if applicable):" and a corresponding input field. At the bottom right, a friendly robot character is present, along with two navigation buttons: "Prognosis" and "Back to Analysis".

Figure 87: Interface d'utilisation du système d'expert.

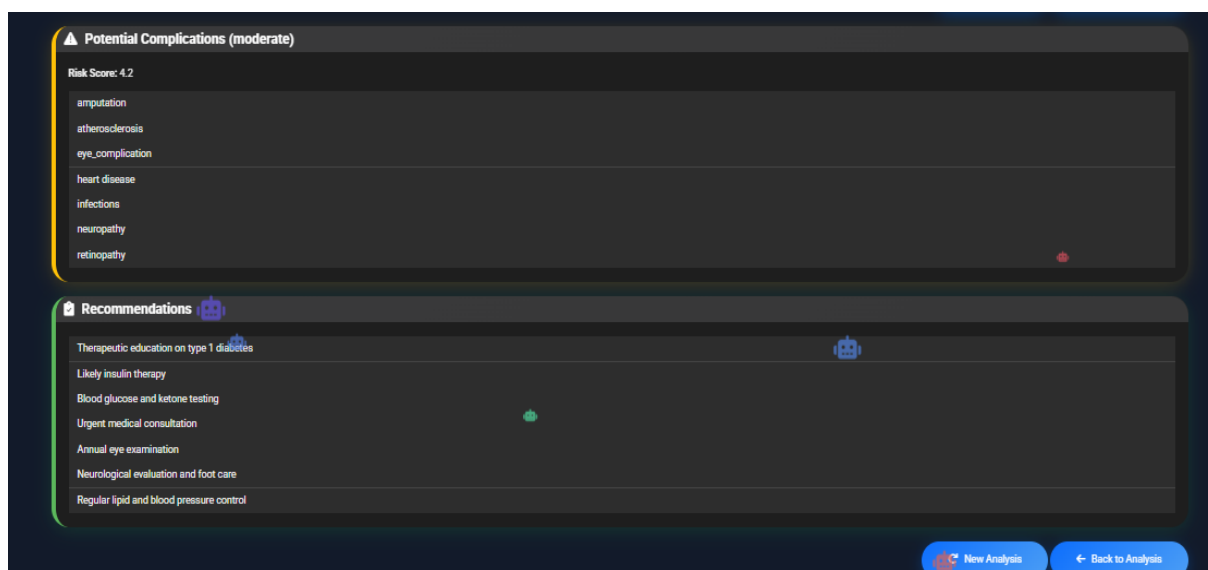


Figure 88: le résultat d'une analyse de système expert.

- **Module Deepseek - Analyse Intelligente du Diabète :**

Notre plateforme intègre une intelligence artificielle avancée « DeepSeek », comme indiqué dans la Figure 86. Spécialisée dans l'analyse précise de la santé du patient, fournissant des prévisions sur les effets du diabète sur ses organes ainsi que des recommandations personnalisées. Ce modèle fonctionne comme un outil d'assistance médicale virtuelle en temps réel, où l'analyse est basée sur les données du patient selon la base de données (type de diabète, âge, etc.).

Les résultats de l'analyse présentés dans la Figure 89 sont fournis dans un rapport détaillé. Il offre également une explication claire et facile à comprendre des résultats, permettant ainsi aux patients de prendre des décisions éclairées.

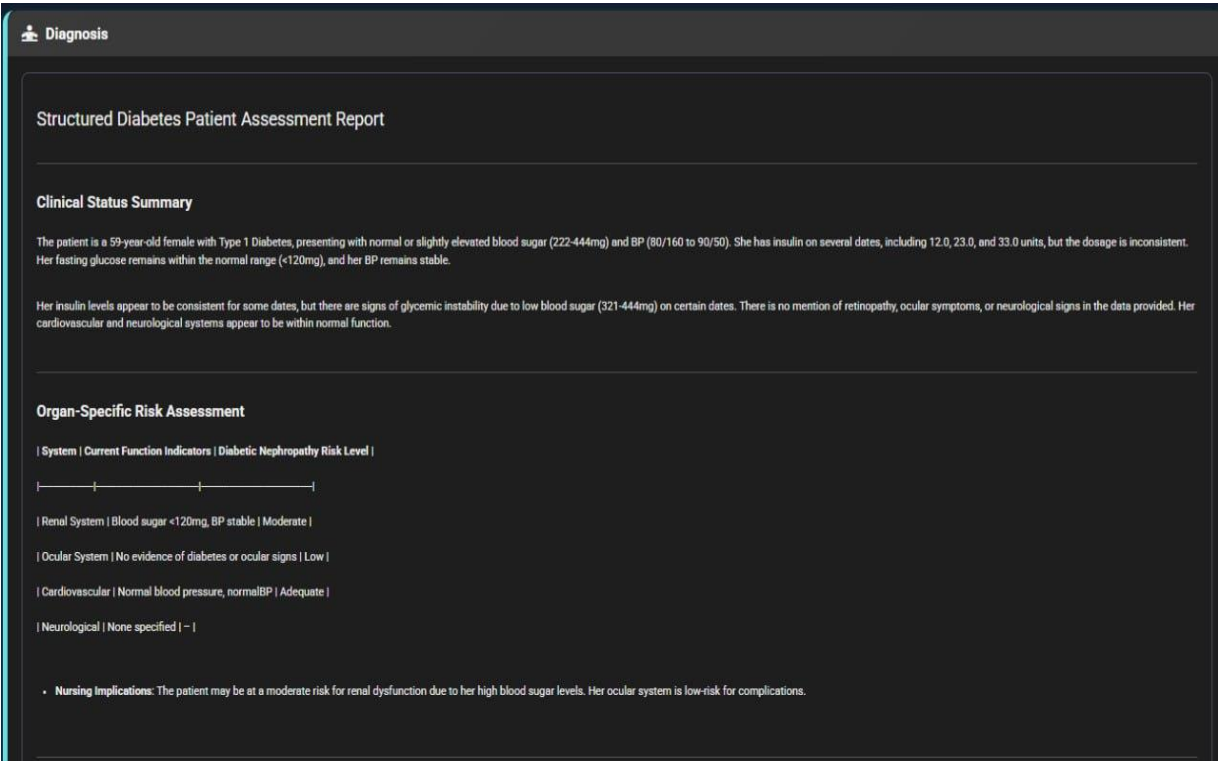


Figure 89: résultats d’analyse intelligente par le module deepseek.

4.4.4 Page Nutrition

Cette page est une interface dédiée à la gestion des plans nutritionnels du patient, qui contient en détail plusieurs sections permettant de visualiser les différents régimes d’une manière claire et organisée, en plus des exercices recommandés, en plus des notes du médecin

La Figure 90 indique les sections des repas qui comprennent le petit déjeuner, le déjeuner, le dîner, etc.

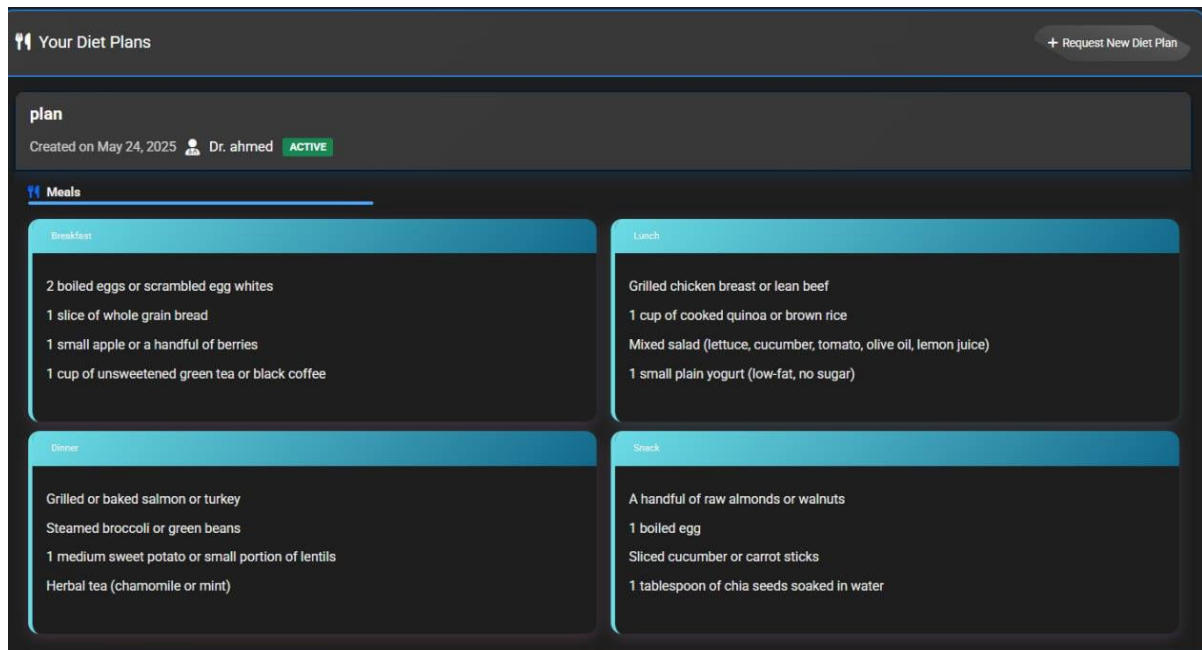


Figure 90: les sections des repas dans la page nutrition.

La Figure 91 montre également les aliments autorisés et interdits. La Figure 92, montre aussi les types d'exercices recommandés, en plus des notes du médecin [Figure 92].

Options pour demander un nouveau plan ou supprimer un plan existant. Et des options pour demander un nouveau plan ou supprimer un plan existant.

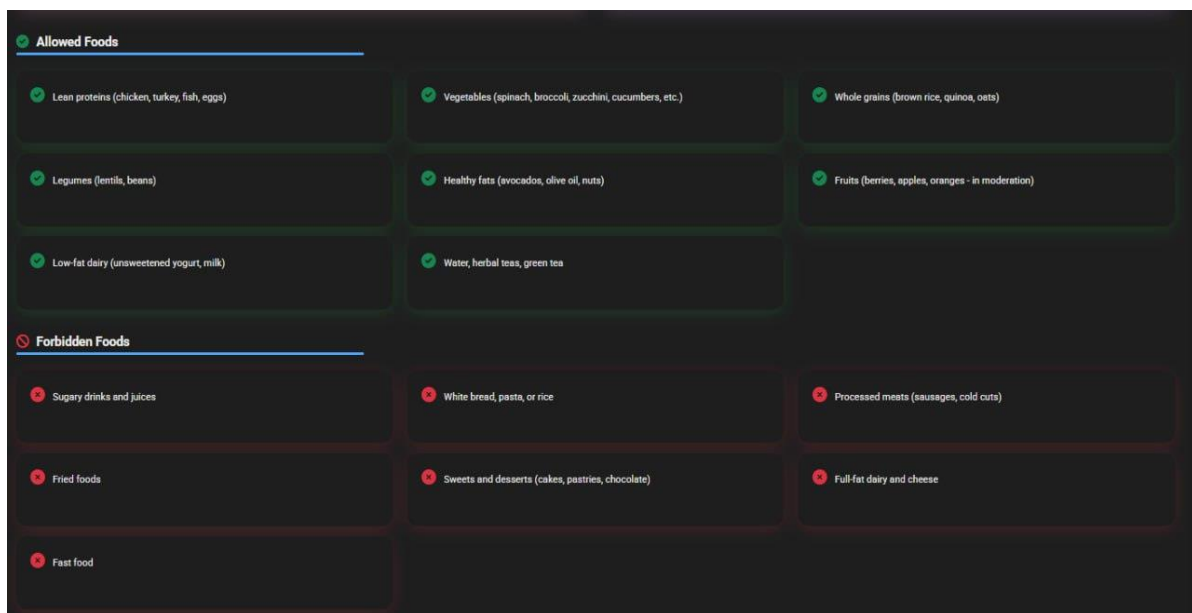


Figure 91 : les aliments autorisés et interdits.

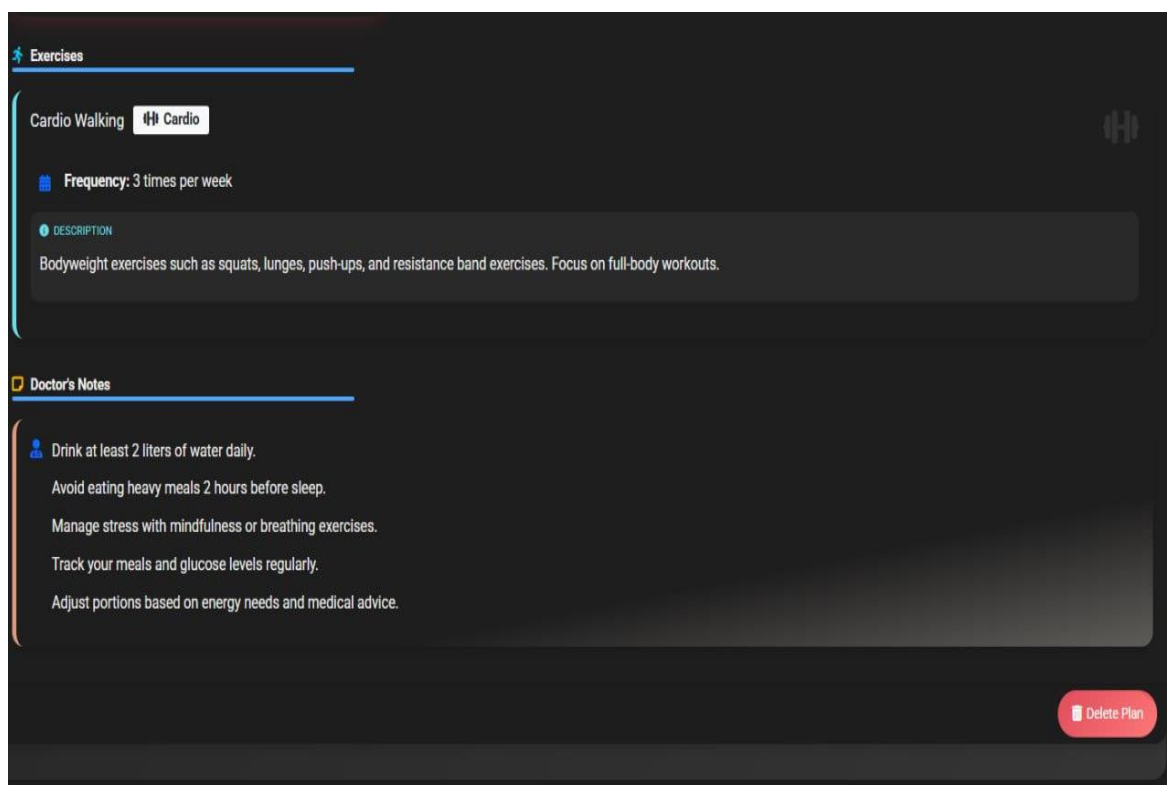


Figure 92: les sections d'exercice recommandés et note du medcin.

4.4.5 Page Notification

Cette page " Page Notification " présenté dans la Figure 93, permet au patient de recevoir les réponses des médecins spécialisés concernant ses demandes de consultation diététique ou vidéo, des rappels pour les rendez-vous. Le système envoie également des notifications intelligentes pour assurer le suivi du traitement : alertes en cas d'oubli de prise de médicaments ou d'insuline, rappels préventifs quelques minutes avant l'heure prévue du traitement, et avertissements en cas de retard. Cette fonctionnalité améliore considérablement l'observance thérapeutique et facilite la communication entre le patient et son équipe médicale.

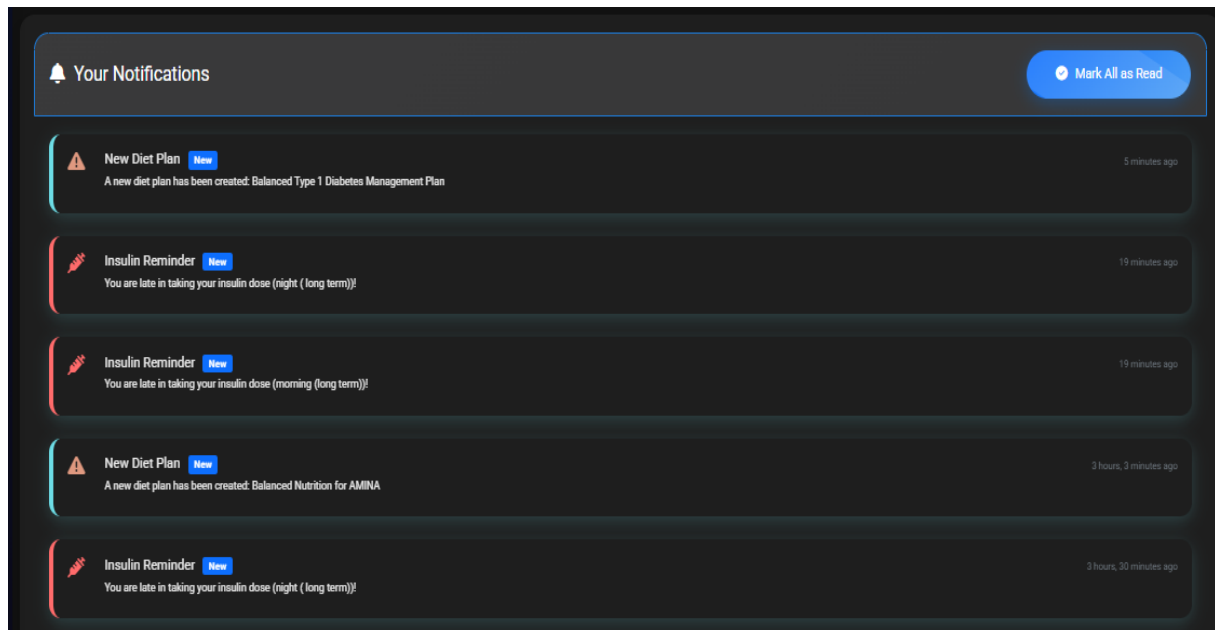


Figure 93: Page notification patient.

4.5 Médecin

4.5.1 Tableau de bord médecin

L'interface illustrée dans la Figure 94 représente un tableau de bord de médecin complet permettant au médecin de gérer efficacement les différentes demandes des patients diabétiques. Le tableau affiche une liste organisée des requêtes en attente, comprenant pour chaque patient :

Les Informations personnelles et la nature de la demande soit Plan nutritionnel personnalisé, Consultation écrite ou un Appel vidéo

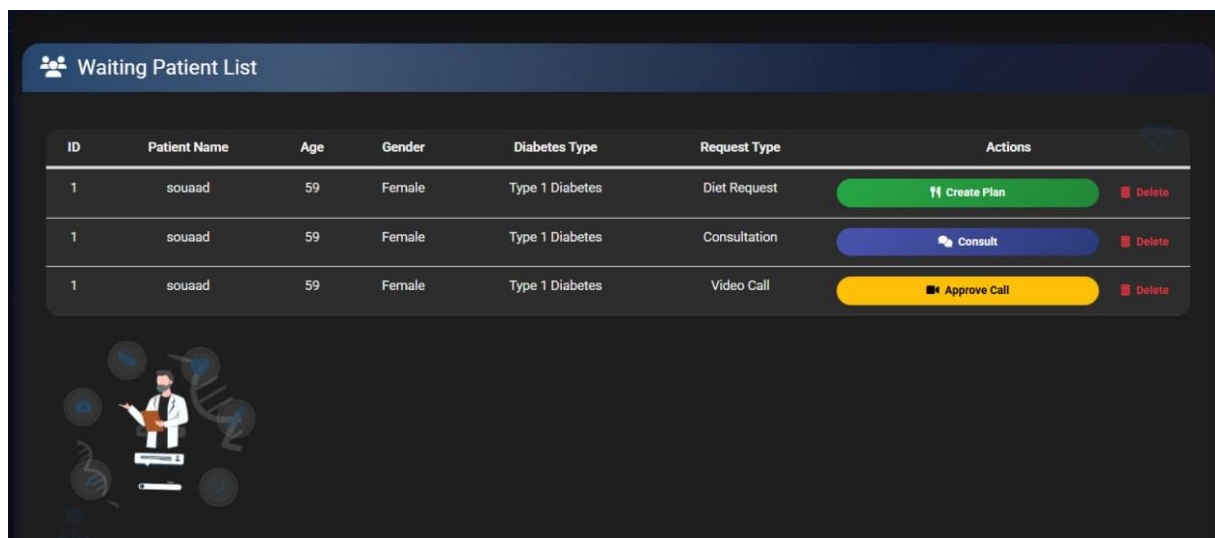


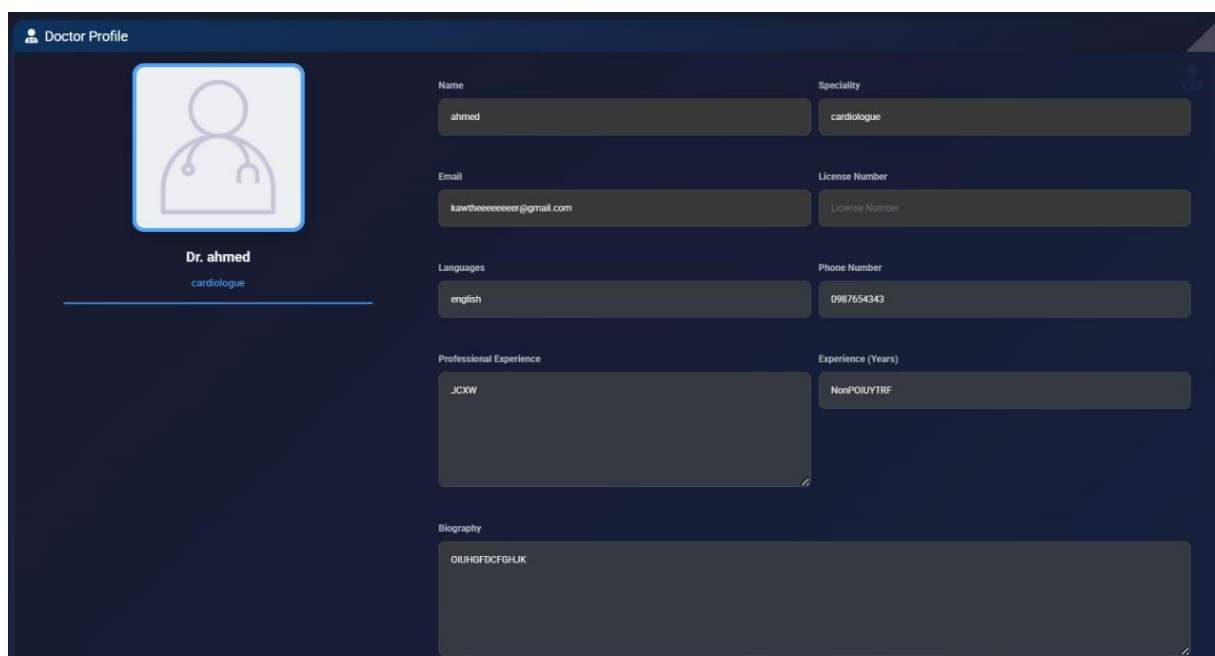
Figure 94: Tableau de bord médecin.

Les médecins peuvent traiter chaque demande via des boutons de procédure dédiés :


- Créer un Plan nutritionnel personnalisé: Via la page "Create a new diet plan" Ce qui permet au médecin de déterminer les détails du Plan nutritionnel «comme les repas et les aliments autorisée ou interdite. Il détermine également les exercices que le patient doit maintenir, en plus des notes qu'il veut que le patient fasse attention à son alimentation appropriée.
- Réponse aux consultations : Via la page "Doctor Consultation Details" Ce qui permet au médecin de diagnostiquer l'état de santé du patient afin d'élaborer la prescription médicale nécessaire pour son état, en plus d'un ensemble de conseils médicaux qu'il fournit à un médecin, en tenant compte des notes envoyées par le patient accompagnées de la demande de consultation.
- Appels vidéo : Via la page "Doctor video Consultation". Le médecin détermine les dates de début et de fin ainsi que l'heure exacte de l'appel. En réponse à la demande du patient.

4.5.2 Profile Médecin

La page "Profil Médecin" illustrée dans la Figure 95, offre une interface professionnelle permettant aux praticiens de gérer leurs informations personnelles et médicales. De manière claire et organisée et permet aux médecins de maintenir facilement leur profil à jour tout en répondant aux exigences professionnelles.



Doctor Profile


Dr. ahmed
cardiologue

Name: ahmed

Speciality: cardiologue

Email: kawthoooooooo@gmail.com

License Number: License Number

Languages: english

Phone Number: 0987654343

Professional Experience: JCXW

Experience (Years): NonPOLLYTRF

Biography: OILHGFDCFGHJK

Figure 95: profile médecin.

4.5.3 Patient

Cette page illustrée dans la Figure 96 offre aux médecins une vue centralisée de tous leurs patients, avec des informations clés et des indicateurs visuels pour suivre l'état des demandes.

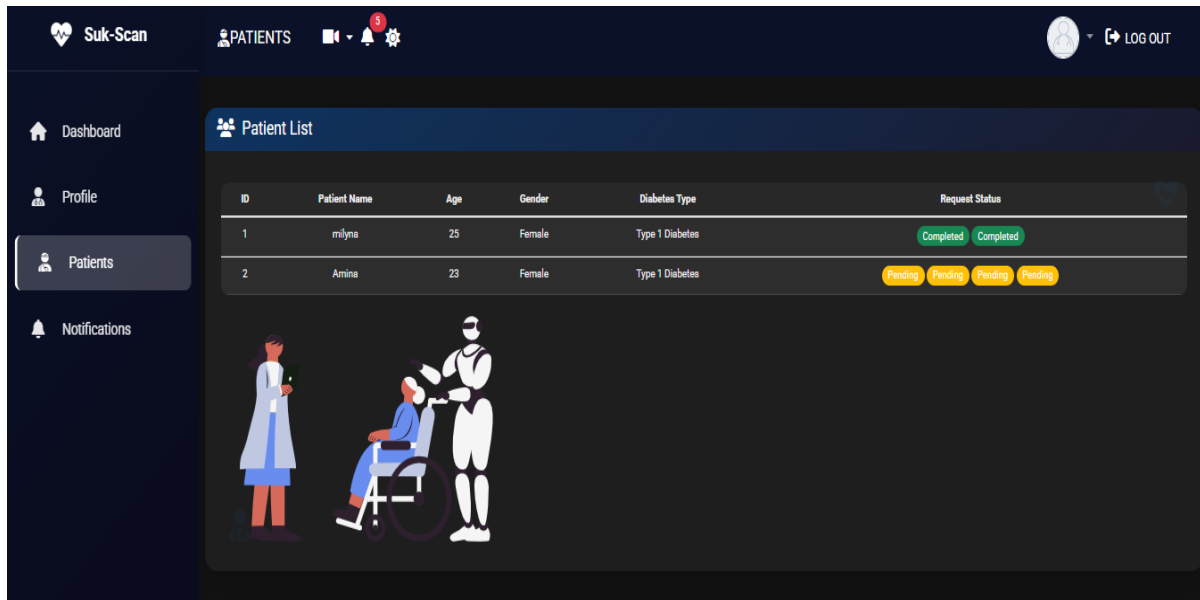


Figure 96: page patient pour médecin.

4.5.4 Page Notification

Cette page présentée dans la Figure 97 centralise toutes les notifications reçues par les médecins (demandes de régime, consultations, alertes)

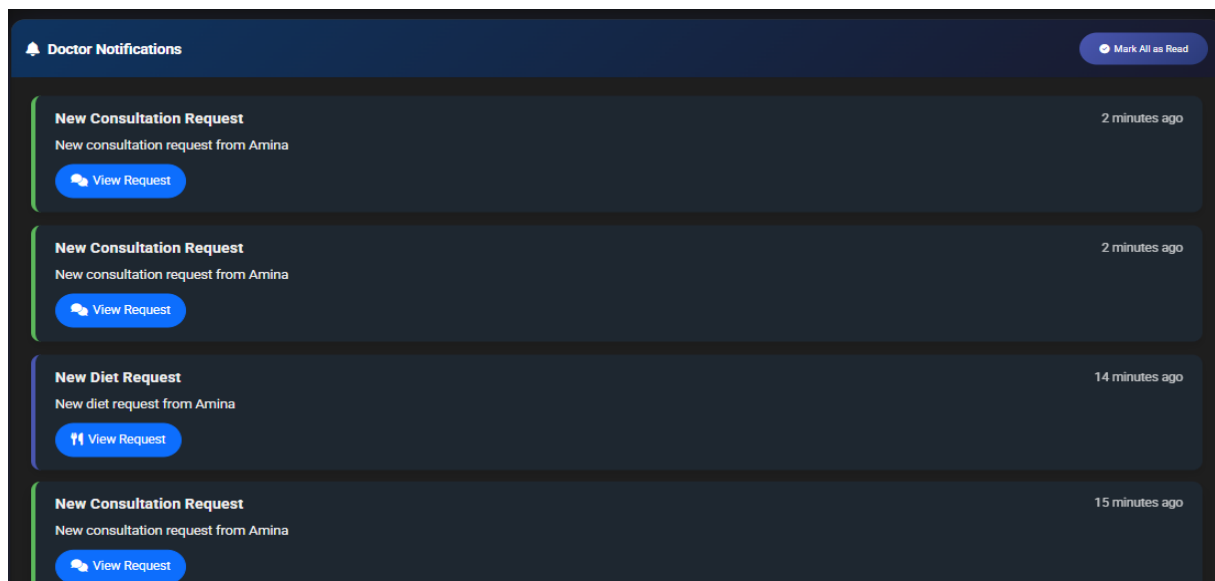


Figure 97: notification médecin.

Conclusion et discussion

Ce travail a abouti à la mise au point d'une plateforme intelligente et intégrée visant à surveiller et diagnostiquer le diabète et à anticiper ses complications futures, tout en facilitant l'interaction directe entre les patients et les médecins.

Cette plateforme a été conçue pour répondre aux besoins des diabétiques, car elle offre un large éventail de fonctions pratiques dans un environnement structuré, facile à utiliser et évolutif.

La plateforme offre des fonctions avancées pour le patient, notamment la possibilité d'enregistrer et de surveiller les indicateurs vitaux tels que la glycémie, la tension artérielle et les doses d'insuline s'il souffre du diabète de type 1. Nous soulignons également que la plateforme est conçue pour traiter tous les types de diabète, et même les cas pré diabétiques.

Ce qui distingue cette plateforme, c'est qu'elle ne collecte pas seulement des données de santé, mais fournit également un cadre interactif organisé qui permet une communication directe et efficace entre le médecin et le patient.

Techniquement, la plateforme est basée sur une architecture intégrée qui combine des interfaces utilisateur simplifiées, une base de données structurée, un système d'alertes intelligent, un moteur avancé d'intelligence artificielle (DeepSeek), et un système expert médical construit sur des règles fiables.

L'une des fonctionnalités les plus importantes de notre plateforme est le service d'appel vidéo via Google Meet, qui permet aux patients d'effectuer des consultations médicales directes avec les médecins, ce qui améliore la facilité de communication et réduit le besoin de mouvement, surtout dans les régions éloignées ou dans des situations d'urgence.

Par rapport aux solutions disponibles localement en Algérie, notre plateforme se distingue comme le premier système intégré qui combine toutes ces fonctionnalités au sein d'une architecture unique. La plupart des projets locaux se limitent à enregistrer les valeurs de glycémie ou à fournir des conseils généraux, et ne prévoient pas d'interaction réelle avec les médecins ni l'utilisation d'outils d'analyse intelligents.

À l'échelle mondiale, il existe des applications comme « **mySugr** » et « **Diabetes : M** » qui offrent des services avancés de suivi du taux de glycémie, mais leurs fonctionnalités restent limitées. Ceci, en termes d'interaction médecin-patient ou en termes d'analyse approfondie et personnalisée, nécessitent souvent des abonnements payants et ne comprennent pas de fonctions intégrées dans les systèmes ou analyses d'experts d'après des données réelles.

Quant à notre plateforme, elle offre une alternative intégrée, gratuite et adaptée aux besoins des

patients, puisqu'elle combine l'analyse médicale intelligente, le suivi quotidien et les services de télésanté, dans un environnement sûr et flexible.

Malgré tout cela, il reste des défis à relever et à surmonter. Les résultats basés sur l'intelligence artificielle nécessitent une vérification clinique approfondie pour garantir l'exactitude et la validité de leurs résultats.

La facilité d'utilisation de la plateforme doit également être améliorée pour s'adapter aux différents groupes d'âge, en particulier ceux qui n'ont pas une expérience suffisante avec la technologie ou souffrent d'une mauvaise connexion à Internet.

Quant aux perspectives de développement, elles incluent la possibilité d'intégrer des capteurs de santé pour surveiller les signes vitaux en temps réel, ainsi que l'extension des capacités de la plateforme pour inclure d'autres maladies chroniques, le développement d'outils pour soutenir la prise de décision dans les cas d'urgence, ainsi que la création et l'enrichissement d'une base médicale en incluant des articles scientifiques, des études de terrain et des contributions de médecins spécialisés dans divers domaines.

Par conséquent, cette plateforme représente une première étape réussie vers la numérisation du système de santé en fonction du contexte local et répond à des besoins réalistes et urgents dans le domaine de la gestion du diabète, en faisant un projet pionnier qui combine une vision médicale et technique moderne, et établit des innovations futures dans le domaine de la santé numérique.

Plan Financier

1. Les couts et charges

1.1 Matériels requis

1.1.1 Achat du mobilier

Mobilier	Prix Unitaire (Da)	Quantité	Total (Da)
Bureau	25.000	4	100.000
Chaises	4.000	9	36.000
Climatiseur	70.000	1	70.000
Pc bureau puissant	150.000	1	150.000
Caméra de surveillance	10.000	4	40.000
Modem	8.000	1	8.000
Imprimante	20.000	1	20.000
PC portable	120.000	2	240.000
Total			664.000 DA

1.1.2 Financement pour lancer notre projet (fond de roulement)

Matière première	00 DA
Matière diverses (Électricité, internet, l'eau)	70.000 DA

♦ **Fonds de roulement (6 mois) : matière première + matière divers = 70.000 DA**

Pour location du locale (6 mois)	Loyer	1200.000 DA
Les services annexes à prendre en compte lors de l'ouverture du projet	Assurance	20.000 DA

1.1.3 Cout globale du projet

Achat du mobilier + Font de roulement + Assurance = 664.000 + 70.000 + 20.000 = **754.000 DA**

2. Calcul prévisionnel du coût de revient du produit

- ♦ **Matière divers (Électricité, internet, l'eau) : 70.000 DA**
- ♦ **Matière divers (12 mois) : 70.000 DA × 12 = 840.000 DA**
- ♦ **Amortissement = Coût totale des équipements / 5 (l'âge de tous les équipements est 5 ans) = 664.000 DA / 5 = 132.800 DA**
- ♦ **Loyer : 1.200.000 DA × 2 = 2.400.000 DA (12 mois)**
- ♦ **Salaire :**

Employés	Salaire
2 Développeur Full-stack	80.000 DA
1 Expert en sécurité informatique AI	90.000 DA
1 Responsable du support client	60.000 DA
Totale (1 mois)	310.000 DA

- ♦ **Salaire (12 mois)** = $310.000\text{DA} \times 12 = 3.720.000 \text{ DA}$
- ♦ **Totale des charges fixes** = **salaire des employés + amortissement + loyer + assurance**
= $3.720.000 \text{ DA} + 132.800\text{DA} + 2.400.000 \text{ DA} + 20.000 \text{ DA} = 6.272.800 \text{ DA}$
- ♦ **Totale des charges variables** = **matières diverses (12 mois)** = **840.000 DA**
- ♦ **Charge totale** = **Totale des charges fixes + Totale des charges variables** = $840.000 \text{ DA} + 6.272.800 \text{ DA} = 7.112.800 \text{ DA}$

2.1 Tarifs des ventes

2.1.1 Abonnement de médecin

- ♦ **Horaire de travail** : 5/7 et 8 h/24 pendant 11 mois
- ♦ **Nous comptons intégrer 30 médecins par mois, donc 330 médecins par année**
Le coût d'abonnement = $\text{charge totale} / 330 = 7.112.800 \text{ DA} / 330 = 21.553 \text{ DA}$
- ♦ **Le bénéfice est de 30%, le prix de vente calculé comme suit** : $(26.876 \text{ DA} \times 30) / 100 \approx 6465 \text{ DA}$
Donc : le prix de d'abonnement est $\approx 21.553\text{DA} + 6465 \text{ DA} = 28.018 \text{ DA/Mois}$

Désignations	Prix d'abonnement
Abonnement	28.018 DA

Chiffre d'affaires mensuel = $30 \times 28.018 = 840.540\text{DA}$

Chiffre d'affaires annuel = $840.540 \times 11 = 9.245.940\text{DA}$

2.1.2 Commission sur les médecins

- ♦ **Consultations médicales classiques** : Supposons que les médecins reçoive **150** consultations par mois, commission par consultation classique : **200 DA**
Revenu mensuel : $150 \times 200 = 30.000 \text{ DA}$
Revenu annuel : $30.000 \times 11 = 330.000 \text{ DA}$
- ♦ **Consultations médicales vidéo** : Supposons que les médecins reçoive **80** consultations vidéo par mois, commission par consultation classique : **300 DA**
Revenu mensuel : $80 \times 300 = 24.000 \text{ DA}$
Revenu annuel : $24.000 \times 11 = 264.000 \text{ DA}$
- ♦ **Plans régime** : Supposons que les médecins reçoive **100** des plans par mois, commission par consultation classique : **400 DA**
Revenu mensuel : $100 \times 400 = 40.000 \text{ DA}$
Revenu annuel : $40.000 \times 11 = 440.000 \text{ DA}$
Total commissions médecin = $440.000 + 264.000 + 330.000 = 1.034.000 \text{ DA}$

2.2 Calcule prévisionnel du chiffre d'affaires de la 1' ère année

- ♦ **Total chiffre d'affaires**= Chiffre d'affaires annuel des Abonnement des patients + Total commissions médecins= $9.245.940 + 1.034.000 = 10.279.940 \text{ DA}$
- ♦ **Le bénéfice attendu de l'entreprise pour la première année** = Chiffre d'affaires annuel - Charge totale = $10.279.940 - 7.112.800 = 3.167.140 \text{ DA}$

BMC

Model d'affaire économique (BMC) de la plateforme intelligente de suivi du diabète :

Partenaires clés	Activités clés	Proposition de valeur	Relation avec les clients	Segments de clientèle
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Établissements de santé (publics privés) : Tels que les hôpitaux, cliniques et les centres de santé, pour intégrer la plateforme dans les parcours de soins. ♦ Professionnels de la santé : Tels que les Médecins généralistes et spécialistes (diabétologues, cardiologues...), pour valider et utiliser la plateforme. ♦ Fournisseurs de technologie : Ce sont les fournisseurs des outils techniques, qui nous soutiennent dans le développement et la mise à jour de la plateforme. ♦ Fournisseurs de services d'hébergement (sécurisés) : Pour assurer la disponibilité et la sécurité de la plateforme en ligne. ♦ Sponsors ♦ Associations de patients diabétiques : pour promouvoir la plateforme, représenter les besoins des patients, recueillir des retours d'expérience et 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Développement et maintenance continu de la plateforme : Ajouter de nouvelles fonctionnalités, corriger les bugs, améliorer l'expérience utilisateur selon ces besoins. ♦ Intégration de l'intelligence artificielle : Pour l'analyse des données et la prédiction des complications. Aussi pour rendre les prédictions plus précises. ♦ Conception d'un système expert médical : Basé sur des règles cliniques. ♦ Collecte, stockage sécurisé et traitement des données : Assurer la conformité avec les normes de confidentialité et de protection des données. ♦ Mise en place de la communication médecin-patient : Assister les patients et médecins à distance (appels vidéo via Google Meet). ♦ Collaborer avec les fournisseurs de technologies : Pour incorporer les 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Diagnostic assisté par IA : Moteur DeepSeek + système expert basé sur des règles médicales. Aide à la détection précoce des complications et soutien à la prise de décision médicale. ♦ Communication médecin-patient : Télésanté via Google Meet intégrée à la plateforme, rendant les consultations accessibles, surtout pour les patients isolés ou à mobilité réduite. ♦ Meilleur suivi des patients diabétiques, anticipation des complications. ♦ Innovation locale : Première plateforme algérienne alliant IA, télésanté, système expert, et suivi global du diabète dans une seule interface. Ce projet établit une base solide pour l'avenir de l'e-santé dans le pays. ♦ Suivi personnalisé : Enregistrement et suivi des indicateurs de santé : glycémie, tension artérielle, insuline... aussi adaptés à tous les types de diabète (type 1, type 2, gestationnel, pré diabète). ♦ Plateforme unique combinant surveillance, diagnostic, 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Assistance personnalisée : support technique, médical et pédagogique. ♦ Formation continu en ligne : tutoriels, webinaires, pour apprendre à utiliser la plateforme facilement. ♦ Canal de feedback intégré pour améliorer l'expérience. ♦ Interaction directe avec les professionnels via chat/vidéo. ♦ Mise à jour régulière des fonctionnalités en fonction des retours. ♦ Newsletter et notifications pour informer des nouveautés et rappels médicaux. ♦ Une relation continue et évolutive avec les patients et professionnels via des interactions régulières, un suivi personnalisé, et des mises à jour basées sur les retours utilisateur 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Établissement de santé publics et privés. ♦ Médecins généralistes et spécialistes (diabétologues, cardiologues...). ♦ Patients diabétiques (type 1, type 2, gestationnel, pré-diabétiques). ♦ Instituts de recherche en santé et intelligence artificielle.

<p>sensibiliser à son utilisation</p> <p>◆ Université : Elle est comme un Support académique ou expertise technique (fournir un encadrement scientifique et technique, collaborer pour des études cliniques, et contribuer à la validation de la solution.)</p> <p>◆ ANGEM CNAC : pour le lancement du projet, accompagnement administratif, soutien à la création d'entreprise.</p> <p>◆ Incubateurs Technopôle : Aide pour la facilité Hébergement du projet dans son développement technologique et entrepreneurial.</p>	<p>progrès technologiques récents dans la plateforme.</p> <p>◆ Fournir une assistance technique : et une résolution rapide des problèmes aux utilisateurs de la plateforme patient-médecin.</p>	<p>prédiction, et communication médecin-patient.</p> <p>◆ Adaptée à tous les types de diabète (T1, T2, pré-diabète)</p> <p>◆ Plateforme gratuite ou à coût réduit, adaptée au contexte local.</p>		
--	--	---	--	--

Ressources clés	Canaux de distribution
<p>◆ Équipe technique : développeurs full-stack (Front end, Backend), spécialistes IA, Experts en sécurité informatique,</p> <p>◆ Partenaires stratégiques : incubateurs, universités,</p>	<p>◆ Partenariats avec structures de santé : Collaboration avec des hôpitaux, des cliniques et des instituts de recherche afin d'intégrer la plateforme dans le secteur de la santé.</p>

associations.	♦ Plateforme en ligne accessible aux professionnels
Structure des couts	Sources de revenus
<ul style="list-style-type: none"> ♦ Développement technique continu : salaires, logiciels et outils ♦ maintenance, hébergement. ♦ Patients utilisateurs : source active de données, ♦ Frais administratifs : création d'entreprise, indispensables au fonctionnement de l'IA et du système expert. ♦ Frais d'hébergement et sécurité des données. ♦ la documentation médicale : comme source ♦ Support client et assistance médicale. ♦ scientifique officielle sur laquelle tu construis les règles que ton système expert. ♦ Formations et création de contenu éducatif. ♦ Coûts de marketing et de promotion ♦ Données de santé structurées. 	<p>Les professionnels de santé partenaires peuvent</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦ Abonnements mensuels/annuels pour les recommander directement la plateforme à leurs professionnels de la santé. ♦ Partenariats avec des établissements de santé. ♦ Sensibilisation de notre offre : Utilisation de ♦ Modèle freemium ♦ Facebook, Instagram, YouTube et LinkedIn pour ♦ Collaboration avec centres de recherche ou sensibiliser, informer et guider les utilisateurs universités. Vente de services de diagnostic avancé vers la plateforme ♦ aux institutions

Référence bibliographique

- [1] O. M. d. I. S. (OMS), «Rapport mondial sur le diabète,» 2016.
- [2] K. Boudaoud, «Le pré-diabète,» [En ligne]. Available: https://elhakim.net/wpcontent/uploads/2020/12/Le_prediabete_un_enjeu_majeur_pour_la_prevention_du_diabete_last.pdf.
- [3] G. Priya, «Management of prediabetes,» *Journal of the Pakistan Medical Association*, vol. 68(4), pp. 669-671, 2018.
- [4] S. Djelouat, «Comprendre le dosage du glucagon,» *Médecine, Science et Recherche*, 22 08 2017.
- [5] L. Foucambert, *Effets de l'entraînement fractionné de haute intensité chez les patients atteints de diabète de type II*, 2022.
- [6] N. P. F. Fery, «Etiopathogénie et physiopathologie du diabète de type 2,» *Revue Médicale de Liège*, vol. 60, pp. 5-6, 2005.
- [7] P. Duquenne, L. . K. Fezeu, L. Bourhis, P. Yvroud, B. Srour, E. Kesse-Guyot et V. A. Andreeva, «Facteurs de risque d'origine nutritionnelle du diabète de type 2,» *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 2024.
- [8] Ameli.fr, «Diabète adulte : Causes et facteurs favorisants,» [En ligne]. Available: <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/diabete-adulte/diabete-comprendre/causes-facteurs-favorisants>.
- [9] A. Scheen, M. Letiexhe et P. Ernest, «Prevention du diabete de type 2 : style de vie ou medicaments ?,» *Revue Médicale de Liège*, p. 58(4), 2003.
- [10] F. Pillon, K. Tan et Y. Frullani, «Le traitement médicamenteux du diabète de type 2,» *Actualités pharmaceutiques*, pp. 23-28.
- [11] A. Scheen, « Perspectives dans le traitement pharmacologique du diabète de type 2,» *Médecine des maladies métaboliques*, pp. 174-181, 2018.
- [12] P. Darmon, M. Meras, A. S. Boureau, N. Masseboeu et B. Bauduceau, «Les traitements non médicamenteux du diabète des personnes âgées,» *Médecine des Maladies Métaboliques*, pp. 8S83-8S89, 2023.
- [13] M. Duclos et al., «Activité physique et prévention du diabète de type 2,» *Médecine des maladies métaboliques*, pp. 147-151, 2010.
- [14] A. SCHEEN, J. C. Philips et J. M. Krzesinski, «Hypertension et diabete,» *Revue Médicale de Liège*, p. 67(3), 2012.
- [15] K. Gariani et al, «Diabète et cancer : une association pernicieuse,» *Revue médicale suisse*, p. 6(252), 2010.
- [16] A. Scheen, «Triple thérapie orale,» *Revue Médicale Suisse*, pp. 1942-1948, 2005.
- [17] Elsan, «Diabète de type 1 : définition, cause, traitement,» [En ligne]. Available: <https://www.elsan.care/fr/pathologie-et-traitement/maladies-endocriniennes/diabete-type-1-causes-traitements>.

- [18] N. Magdelaine, École centrale de Nantes, 2017.
- [19] C. Vatie, «Le volume pancréatique, nouveau biomarqueur prédictif de la progression du diabète de type 1,» *Société Francophone du Diabète*, 2019.
- [20] J. V. P. L. C. Daems, «Diabète de type 1 : une maladie auto-immune, vraiment,» *Leuv Med*, pp. 185-192, 2019.
- [21] I. Weets, I. Truyen, J. C. Philips et F. Gorus, «Diagnostic précoce et prévention du diabète de type 1 : rôle du Registre Belge du Diabète,» *Revue Médicale de Liège*, vol. 60, pp. 306-312, 2005.
- [22] R. R. J.C. Philips, «L'insulinothérapie dans le diabète de type 1,» *Revue Médicale de Liège*, vol. 60, pp. 322-328, 2005.
- [23] U. Vischer, «Insulinothérapie intensifiée du diabète de type 1 : injections multiples ou pompe sous-cutanée ?,» *Médecine et hygiène*, pp. 1226-1232, 2003.
- [24] L. Bougherara, S. Hanssens, D. Subtil, A. Vambergue et P. Deruelle, «Diabète gestationnel,» *EMC-Obstétrique/Gynécologie*, vol. 30, pp. 2-11, 2017.
- [25] D. M. O. A. N. Pirson, «Prise en charge du diabète gestationnel en 2016 : une revue de la littérature,» *Endocrinol Nutr*, vol. 135(10), pp. 661-668, 2016.
- [26] R. Médicales, «Diabète gestationnel,» Reco Médicales – Recommandations médicales pour la pratique clinique. [En ligne].
- [27] D. M. O. A. N. Pirson, «Prise en charge du diabète gestationnel en 2016 : une revue de la littérature,» *Endocrinol Nutr*, vol. 135(10), pp. 661-668, 2016.
- [28] J. R. J. Philippe, «Pourquoi la prise en charge du patient diabétique est-elle si difficile ?,» 2009.
- [29] L. P. J. P. S. Ardigo, «Diabète de la personne âgée : une prise en charge sur mesure,» *Revue Médicale Suisse*, pp. 9(389), 1192-9, 2013.
- [30] A. S. d. Diabète, «L'alimentation des diabétiques,» 2014.
- [31] V. Costil et al, «Nutrition et diabète,» *Hegel*, pp. S17-S19, 2014.
- [32] N. D. N. I. C. T. V. & W.-R. J. Tomuta, *Nutritional Management of Diabetes*, 2009, pp. 231-261.
- [33] M. L. J. L. e. A. Z. Gaby Baillargeaux, «Alimentation.,» 13 04 2016. [En ligne]. Available: <https://immunologieetdiabete.wordpress.com/alimentation/>.
- [34] B. F. J. W.-R. N. Davis, «Nutritional strategies in type 2 diabetes mellitus,» *Mt Sinai J Med*, vol. 76(3), pp. 257-68, 2009.
- [35] A. V. H. e. Al, «Diabète de type 2 chez les jeunes : stratégies nutritionnelles pour la prévention et la prise en charge,» *Nutrition Science en évolution*, pp. 7-12, 2018.
- [36] JOSIE-K, «GUIDE NUTRITIONNEL DU DIABETIQUE, QUE FAUT-IL MANGER ? QUE FAUT-IL EVITER POUR PROFITER DE LA VIE ET GARDER UNE SANTE DE FER ?,» 2022.
- [37] M. Z. e. al., «L'effet de régime alimentaire sur le diabète type 2 (Etude systématique) ' thèse de doctorat ',» 2022.
- [38] I. M. A. A. I. N. H. A. W. M. D. R. M. S. E. C. C. A. & Stratton,

- «Association of glycaemia with macrovascular and microvascular,» *complications of type 2 diabetes (UKPDS 35): prospective observational*, pp. 405-412.
- [39] D. 66, «Diabète et complications cardio-vasculaires,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.diabete66.fr/diabete-et-complications-cardio-vasculaires/>.
- [40] L. Ernande, «Diabète et insuffisance cardiaque : la cardiomyopathie diabétique,» *Médecine des Maladies Métaboliques*, pp. 377-384, 2015.
- [41] «Ma trousse de révision APED,» *Centre d'excellence en santé de Lanaudière*, 15 05 2020.
- [42] K. Spector, «Diabetic cardiomyopathy,» *Clinical cardiology*, vol. 21(12), pp. 885-887, 1998.
- [43] D. Tziakas, «Epidemiology of the diabetic heart,» *Coronary artery disease*, 2005.
- [44] H. Mouad, «LE CORONARIEN DIABÉTIQUE».
- [45] F. Becin, P. Massin , K. Angioi-Dupez et et al, «Dépistage, surveillance et traitement de la rétinopathie diabétique, recommandations de l'ALFEDIAM,» *Diabétique Met*, pp. 203-209, 1996.
- [46] C. P. Wilkinson, F. L. Ferris III, R. E. Klein et &. al, «Proposed international clinical diabetic retinopathy and diabetic macular edema disease severity scales,» *Ophthalmology*, pp. 1677-1682, 2003.
- [47] D. A. Arrouas, «Ophtalmologiste,» 1 11 2005.
- [48] X. Zhang, J. B. Saaddine, C. F. Chou et & al, «Prevalence of diabetic retinopathy in the United States, 2005-2008,» *JAMA*, pp. 649-656, 2010.
- [49] K. A. I. Fettouma Mazari l, «Rétinopathie diabétique entre le diagnostic, la classification et le rythme de», *diagnosis, classification and follow-up*.
- [50] Q. M. Gillies, M. C. et T. Y. Wong, «Management of diabetic retinopathy: A systematic review,» *JAMA*, pp. 902-916, 2007.
- [51] F. Mazari et K. Ait Idir, «Rétinopathie diabétique, entre le diagnostic, la classification et le rythme de surveillance,» *Batna Journal of Medical Sciences*, pp. 5-9, 2017.
- [52] A. Maheshwary, S. Oster, R. Yuson et et al, «The association between percent disruption of the photoreceptor inner segment-outer segment junction and visual acuity in diabetic macular edema,» *American Journal of Ophthalmology*, pp. 63-67, 2010.
- [53] «Nouvel appareil de tomographie par cohérence optique (OCT),» 16 07 2019.
- [54] B. Culleton, «La néphropathie chronique en présence de diabète,» *Canadian Journal of Diabetes*, p. 139, 2008.
- [55] D. C. Pombourcq, «Néphropathie Diabétique : comprendre, prévenir et traiter cette complication du diabète».
- [56] C. E. Mogensen et ET AL, «The stages in diabetic renal disease: with emphasis on the stage of incipient diabetic nephropathy,» *Diabetes*, pp. 64-78, 1983.
- [57] L. Weekers, A. Scheen et G. Rorive, «Prevention de la nephropathie diabétique : de la microalbuminurie à l'insuffisance renale terminale,» *Revue*

Médicale de Liège, 2003.

- [58] G. Said, «Les neuropathies diabétiques,» *Neurologie.com*, pp. 40-44, 2009.
- [59] A. Scheen, «La neuropathie diabétique : données épidémiologiques et prédictives,» *Diabetes and Metabolism*, p. 24, 1998.
- [60] D. E. A. DIVE, «La neuropathie diabétique périphérique,» *Revue Médicale de Liège*, pp. 490-497, 2005.
- [61] D. Ziegler, K. Dannehl, H. Mühlen, M. Spüler et F. A. Gries, «Prevalence of cardiovascular autonomic dysfunction...,» *Diabetic Medicine*, pp. 806-814, 1992.
- [62] A. J. Scheen, «Pharma-Clinics. Comment je traite... Un patient avec hypotension,» *Revue Médicale de Liège*, pp. 134-137, 1997.
- [63] R. U. Haq, W. Pendlebury, T. J. Fries et et al, «Chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy in diabetic patients,» *Muscle Nerve*, pp. 465-470, 2003.
- [64] J. R. Singleton, «Diabetic Neuropathy,» San Francisco, CA, 2004.
- [65] T. D. C. a. C. T. R. Group, «The effect of intensive treatment of diabetes...,» *New England Journal of Medicine*, vol. 329, pp. 977-986, 1993.
- [66] D. M. Nathan, «Long-term complications of diabetes mellitus,» *New England Journal of Medicine*, vol. 328(23), pp. 1676-1685, 1993.
- [67] H. Van Damme, M. Rorive, B. Maertens De Noordhout et e. al, «Amputations in diabetic patients,» *Acta Chir Belg*, vol. 101, pp. 123-129, 2001.
- [68] H. Van Damme, B. Paquet, B. Maertens De Noordhout et et al, «Le pied diabétique : étiopathogénie, prévention et traitement,» *Revue Médicale de Liège*, vol. 49(1), 1994.
- [69] M. Delamaire, D. Maugendre, M. Moreno et et al, «Impaired leucocyte functions in diabetic patients,» *Diabetic Medicine*, 1997.
- [70] C. Nay, «La gangrène : Causes, Conséquences, Prévention».
- [71] J. Apelqvist, K. Bakker, W. H. Van Houtum et et al, «International consensus and practical guidelines,» *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, pp. S84-S92, 2000.
- [72] J. L. Mills, W. C. Beckett et S. M. Taylor, «The diabetic foot: consequences of delayed treatment,» *Southern Medical Journal*, vol. 84, n° % 18, pp. 970-974, 1991.
- [73] J. Apelqvist, K. Bakker, W. H. Van Houtum et et al., «International consensus and practical guidelines,» *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, vol. 16, n° % 1S1, pp. S84-S92, 2000.
- [74] M. J. Young, P. R. Cavanagh, G. Thomas et et al, «The effect of callus removal on dynamic plantar foot pressures,» *Diabetic Medicine*, vol. 9, n° % 11, pp. 55-57, 1992.
- [75] D. G. Armstrong, L. A. Lavery, H. R. Kimbriel et et al , «Activity patterns of patients with diabetic foot ulceration,» *Diabetes Care*, vol. 26, n° % 19, pp. 2595-2597, 2003.
- [76] J. Robbie, «Foot ulcers in older people with diabetes mellitus: prevention and management,» *Nursing Standard*, vol. 35.
- [77] J. Aragón-Sánchez, «Treatment of diabetic foot osteomyelitis,» *The*

International Journal of Lower Extremity Wounds, pp. 37-59, 2010.

- [78] F. J. Aragón-Sánchez, J. J. Cabrera-Galván, Y. Quintana-Marrero et al, «Outcomes of surgical treatment of diabetic foot osteomyelitis,» *Diabetologia*, vol. 51, pp. 1962-1970, 2008.
- [79] O. Heymans, V. Lemaire, X. Nelissen et al, «Revascularisation artérielle et transfert de lambeau libre,» *Revue Médicale de Liège*, 2002.
- [80] B. E. Sump, J. Aruny et P. A. Blume, «The multidisciplinary approach to limb salvage,» *Acta Chirurgica Belgica*, pp. 647-653, 2004.
- [81] M. Edmonds, A. Boulton, T. Buckenham et al, «Report of the Diabetic Foot and Amputation Group,» *Diabetic Medicine*, 1996.
- [82] F. W. LoGerfo, G. W. Gibbons, F. B. Pomposelli et al, «Trends in the care of the diabetic foot,» *Archives of Surgery*, pp. 617-621, 1992.
- [83] Wikimédia, «Onychomycose.»
- [84] S. Ardigo et J. Philippe, «Hypoglycémie et diabète,» *Revue Médicale Suisse*, 2008.
- [85] S. Ardigo, «Hypoglycémie et diabète.» *Revue Médicale*,.
- [86] A. Maladie, «Diabète : hypoglycémie, hyperglycémie et acidocétose,» [En ligne]. Available: <https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/diabete-adulte/diabete-symptomes-evolution/acido-cetose-hypoglycemie-hyperglycemie>.
- [87] M. Trop, «Prise en charge simplifiée de l'acidocétose diabétique,» *Médecine Tropicale*, pp. 587-588, 2008.
- [88] d. m. L, J. S, N. S et S.-. Q. W, «introduction a l'apprentissage automatique,» 2022.
- [89] A. d. automatique. [En ligne]. Available: <https://fastercapital.com/fr/contenu/Algorithmes-d-apprentissage-automatique-bases-sur-NIF---exploration-des-techniques-avancees.html>. [Accès le 27 03 2023].
- [90] E. s. m. a. application, 1995 to 2004.
- [91] j. P, «Artificial intelligence : a guide to intelligent systems,» *addison wesley*, 2005.
- [92] VectorMine, «Types of machine learning with algorithms classification outline diagram. Labeled educational scheme with supervised, unsupervised and reinforcement artificial intelligence methods vector illustration,» 2022.
- [93] P. Woo, «Apprentissage supervisé : essentiel à l'apprentissage automatique,» 5 2 2024. [En ligne]. Available: <https://ledigitaliseur.fr/ia/apprentissage-supervise/>. [Accès le 2024 3 30].
- [94] L. Gimazane, «Les différents algorithmes de l'IA [Présentation PowerPoint]. DANE Nancy-Metz.»
- [95] D. R. Musicant, J. Christensen et J. F. Olson, «Supervised Learning by Training on Aggregate Outputs,» 2007.
- [96] M. A. Mahfouz, «Incorporating density in k-nearest neighbors regression,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 2023.
- [97] N. Marginean, J. Sirbu et D. Racovițan, «Decision trees a perspective of electronic decisional support,» 2010.

- [98] H. Xue, Q. Yang et S. Chen, «SVM: Support Vector Machines,» 2009.
- [99] K. Hsu, S. Levine et C. Finn, «Unsupervised Learning via Meta-Learning,» 2018.
- [100] M. Hamour et N. Benhamdine, «Prédiction du Churn Rate Par le Machine Learning,» 2020.
- [101] H. Moussaoui, N. El Akkad et M. Benslimane, «Reinforcement Learning: A review,» *International Journal of Computing and Digital Systems*, 2023.
- [102] DataScientest., «Schéma de l'apprentissage par renforcement,» 2020.
- [103] W. Li, «The impact of computing and machine learning,» *Engineering Reports*, 2023.
- [104] G. Briganti, «Intelligence artificielle: une introduction pour les cliniciens,» *Revue des Maladies Respiratoires*, vol. 40, n° 14, pp. 308-313, 2023.
- [105] U. Shahzad, «Machine learning as a subfield of artificial intelligence,» 2022.
- [106] IBM, «Qu'est-ce qu'un réseau de neurones convolutifs».
- [107] G. Cloud, «Qu'est-ce que le machine learning ?».
- [108] J. Giarratano et G. Riley, «Expert Systems: Principles and Programming,» *Course Technology (éditeur traité comme revue)*, 2005.
- [109] L. t. Python, «Documentation Python 3.10.13.»
- [110] J. Holcombe, «Qu'est-ce que le HTML ? Un guide pour débutants,» *Kinsta – Base de connaissances*, 3 12 2024.
- [111] TecnoDigital, «Qu'est-ce que CSS : le guide ultime du débutant,» *InformaTecDigital*, 28 03 2025.
- [112] Ismail, «Qu'est-ce que JavaScript ? Introduction basique pour les débutants,» 21 02 2025.
- [113] BILITY, «Définition Visual Studio Code». *Agence de développement web sur-mesure*.
- [114] BurchCarl, «Django, a web framework using Python,» *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 2010.
- [115] I. t. Django.
- [116] b. U. Sufyan, «Bootstrap,» 2022.
- [117] b. U. Sufyan, «Mastering Bootstrap,» 2022.
- [118] Diego, Javier, Oscar, Omar, L. Bastidas-, L. Espíndola-, Alex, Darío et -R. Palma, «Implementación del bootstrap como una metodología ágil en la web,» 2020.
- [119] I. Anaconda, «Anaconda, Inc.,» [En ligne]. Available: <https://anaconda.org/anaconda/psycopg2>.
- [120] C. Chakir, «Qu'est-ce que Ollama ? Comprendre son fonctionnement, ses

-] principales caractéristiques et ses modèles,» *Hostinger – Tutoriels*, 30 1 2025.
- [121 A. Sabu, «Configure Environment Variables with Python Decouple,»
] *Medium*, 03 02 2024.
- [122 Google, «google-auth — google-auth 2.40.1 documentation». *Google APIs*.
]
- [123 C. Projec, «Celery documentation,» [En ligne]. Available:
] <https://docs.celeryq.dev>. [Accès le 12 06 2025].
- [124 R. Ltd, «Redis documentation,» [En ligne]. Available: <https://redis.io>. [Accès
] le 12 06 2025].

Année universitaire : 2024-2025	Présenté par : Tair Malak Namous Kawther
Thème Plateforme Patient-Médecin pour le suivi et le pronostic du diabète	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Bio-informatique	
<p>Le diabète est l'une des maladies les plus répandues dans le monde, mais comprendre et gérer ses effets sur la santé représente un grand défi. Ce mémoire de master propose la conception d'une plateforme auto-administrée pour faire face au diabète. Cette dernière offre une gestion technologique intelligente aidant les patients diabétiques à contrôler leur maladie eux-mêmes. Cette plateforme permet un tableau de bord complet pour suivre l'état de santé quotidien du patient et organiser son traitement, tout en fournissant des analyses intelligentes utilisant une intelligence artificielle de haute performance et des prévisions basées sur un système expert. Elle couvre également le volet préventif à travers des programmes alimentaires et des activités physiques élaborés par des experts de santé. Notre plateforme contribue également à mettre en relation les patients avec des médecins spécialistes. Elle offre également des consultations ainsi qu'une communication en direct entre le médecin et le patient.</p>	
Mots-clés : diabète, plateforme auto-administrée, intelligence artificielle, système expert.	
<p>Président : Dr. MEDJROUBI Mohammed Elarbi (MCB) Encadrant : Dr. BOUCHEHAM Anouar (MCA) Co-Encadrant : Dr. CHEHILI Hamza (MCA) Examineur : Dr. GHERBOUDJ Amira (MCA)</p>	