

ACADÉMIE D'ORLÉANS-TOURS

UNIVERSITÉ DE TOURS

FACULTE DE PHARMACIE « Philippe-Maupas »

Année 2025-2026

N° 59

THÈSE D'EXERCICE
pour le
DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Par
Carla GOUTARD

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 05/09/2025

L'apport de l'Intelligence Artificielle pour le pharmacien d'officine dans la gestion personnalisée du Diabète de Type 2 : prévention, suivi et optimisation du traitement.

JURY

Président : Professeur ALLOUCHI Hassan, Pharmacien - Université de Tours (PU)

Membres :

Professeur ALLOUCHI Hassan, Pharmacien – Université de Tours (PU)

Docteur JALLEAU Julie, Pharmacienne - Praticien Hospitalier au CHRU Bretonneau à Tours (PH)

Docteur CHAMPION Hélène, Endocrinologue - Praticien Hospitalier au CHRU Bretonneau à Tours (PH)

Docteur BERTOLINO Anne-Laure, Pharmacienne Officinale à Saint-Cyr-sur-Loire

ANNEE : 2025 - 2026**Directeur : Pr Denys BRAND****Directeur Adjoint : M. Matthieu JUSTE**

Assesseurs : M. Gildas PRIE, Mme Mélanie BOUVIN PLEY, Mme Emilie ALLARD-VANNIER, M. Bruno GIRAUDEAU, Mme Claire POUPLARD, Mme Audrey OUDIN, Mme GERMON Stéphanie

ENSEIGNANTS**16 PROFESSEURS D'UNIVERSITÉ**

ALLARD-VANNIER	Emilie	PHARMACIE GALENIQUE
ALLOUCHI	Hassan	CHIMIE PHYSIQUE
BOUDESOCQUE-DELAYE	Leslie	PHARMACOGNOSIE
BRAND	Denys	MICROBIOLOGIE
BRAIBANT	Martine	MICROBIOLOGIE
CHEVALIER	Stéphane	BIOCHIMIE GENERALE & BIOTHERAPIE
CHOURPA	Igor	CHIMIE ANALYTIQUE
CLASTRE	Marc	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
DIMIER-POISSON	Isabelle	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-
ENGUEHARD-GUEIFFIER	Cécile	CHIMIE THERAPEUTIQUE
MAHEO	Karine	PHYSIOLOGIE
MAUPOIL-DAVID	Veronique	PHARMACOLOGIE
MUNNIER	Émilie	PHARMACIE GALENIQUE
TAUBER	Clovis	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
VELGE-ROUSSEL	Florence	IMMUNOLOGIE PARASITAIRE
VIAUD-MASSUARD	Marie-Claude	CHIMIE ORGANIQUE

6 PROFESSEURS D'UNIVERSITÉ ET PRATICIENS HOSPITALIERS

ANTIER	Daniel	PHARMACIE CLINIQUE
ARLICOT	Nicolas	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
EMOND	Patrick	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
GIRAUDEAU	Bruno	SANTÉ PUBLIQUE, BIOSTATISTIQUE & ÉPIDÉMIOLOGIE
LANOTTE	Philippe	MICROBIOLOGIE
POUPLARD	Claire	HEMATOLOGIE

2 PROFESSEURS ÉMERITES

BARIN	Francis	MICROBIOLOGIE
THIBAUT	Gilles	IMMUNOLOGIE

33 MAITRES DE CONFÉRENCES

AUBREY	Nicolas	BIOCHIMIE GENERALE & BIOTHERAPIE
BESSON	Pierre	PHYSIOLOGIE
BIRER-WILLIAMS	Caroline	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
BONNIER (disponibilité)	Franck	CHIMIE ANALYTIQUE
BORDY	Romain	PHARMACOLOGIE & TOXICOLOGIE
BOUVIN-PLEY	Mélanie	MICROBIOLOGIE
BREDELOUX	Pierre	PHARMACOLOGIE
DAVID	Stéphanie	PHARMACIE GALENIQUE
DEBIERRE-GROCKIEGO	Françoise	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-INFECTIEUSE
DELAYE	Pierre-	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DENEVAULT	Caroline	CHIMIE THERAPEUTIQUE
DOUZIECH-EYROLLES	Laurence	AFFAIRE REGLEMENTAIRE ET MANAGEMENT DE LA QUALITE

DUMAS	Jean-François	BIOCHIMIE GENERALE ET BIOTHERAPIE
GERMON	Stéphanie	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-INFECTIEUSE
GLEVAREC	Gaëlle	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
HERVE-AUBERT	Katel	CHIMIE ANALYTIQUE
JUSTE	Matthieu	PARASITOLOGIE & MYCOLOGIE MEDICALES, IMMUNITE ANTI-INFECTIEUSE
LAJOIE	Laurie	IMMUNOLOGIE
LANOUE	Arnaud	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
MARC	Jillian	BIOMOLECULES ET BIOTECHNOLOGIES VEGETALES
MAVEL	Sylvie	CHIMIE THERAPEUTIQUE
LOUDIN	Audrey	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
POUPET	Cyril	BIOLOGIE CELLULAIRE & BIOCHIMIE VEGETALE
PASQUALIN	Côme	PHARMACOLOGIE
PRIE	Gildas	CHIMIE ORGANIQUE
SAHLI	Ramla	PHARMACOGNOSIE
SIEROCKI	Pierre	CHIMIE ORGANIQUE
SOUCE	Martin	CHIMIE ANALYTIQUE
VERCOUILLIE	Johnny	BIOPHYSIQUE & BIOINFORMATIQUE
VERGER	Alexis	PHARMACIE GALENIQUE
VERGOTE	Jackie	AFFAIRE REGLEMENTAIRE ET MANAGEMENT DE LA QUALITE
VIERRON	Emilie	SANTÉ PUBLIQUE, BIOSTATISTIQUE & ÉPIDÉMIOLOGIE
ZHANG	Bei-Li	PHARMACOLOGIE

1 MAST

CAMUS GABRIEL	Mathilde	<i>Filière Officine</i>
---------------	----------	-------------------------

5 MAITRES DE CONFÉRENCES ET PRATICIENS HOSPITALIERS

FOUCAULT-FRUCHARD	Laura	PHARMACIE CLINIQUE
FOUCAULT	Amélie	HEMATOLOGIE
MARLET	Julien	MICROBIOLOGIE
POUPIN	Pierre	SANTÉ PUBLIQUE, BIOSTATISTIQUE & ÉPIDÉMIOLOGIE
VEYRAT DUREBEX	Charlotte	BIOCHIMIE CLINIQUE

3 AHU (Assistant Hospitalier Universitaire)

BOULARD	Pierre	IMMUNOLOGIE
DOUEZ	Emmanuel	PHARMACIE GALENIQUE
TULOUP	Vianney	PHARMACIE CLINIQUE

1 PRAG

WALTERS-GALOPIN	Susan	ANGLAIS
-----------------	-------	---------

1 CONTRAT D'ENSEIGNEMENT

GERBIER	Soledad	ANGLAIS
---------	---------	---------

3 CHARGÉS DE RECHERCHE

EPARDAUD	Mathieu	INRAE
MEVELEC	Marie-Noëlle	INRAE
MOIRE	Nathalie	INRAE



SERMENT DE GALIEN

En présence des Maîtres de la Faculté, je fais le serment :

D'honorer ceux qui m'ont instruit(e) dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle aux principes qui m'ont été enseignés et d'actualiser mes connaissances ;

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de Déontologie, de l'honneur, de la probité et du désintéressement ;

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers la personne humaine et sa dignité ;

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels ;

De ne dévoiler à personne les secrets qui m'auraient été confiés ou dont j'aurais eu connaissance dans l'exercice de ma profession ;

De faire preuve de loyauté et de solidarité envers mes collègues pharmaciens ;

De coopérer avec les autres professionnels de santé ;

Que les Hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert(e) d'opprobre et méprisé(e) de mes confrères si j'y manque.

Date : 05 septembre 2025

L'étudiant : Carla GOUTARD

*Le Doyen de la Faculté
Professeur Denys BRAND*

REMERCIEMENTS

Dans un premier temps, je souhaiterais remercier le docteur Julie JALLEAU, qui m'a accompagnée et soutenue durant toute la rédaction de ma thèse. Vous êtes une personne que j'admire et qui m'a beaucoup fait évoluer, aussi bien sur le plan professionnel que personnel. Vos conseils m'ont été d'une grande aide et m'ont permis d'avancer dans des moments clés. Merci pour votre investissement et votre confiance.

Je remercie sincèrement les membres du jury pour leur présence lors de ma soutenance, le docteur ALLOUCHI Hassan, le docteur CHAMPION Hélène ainsi que le docteur BERTOLINO Anne-Laure. Merci pour l'attention qu'ils ont portée à mon travail.

Je voudrais remercier ma mère, qui a toujours été présente pour moi, à m'encourager dans chaque décision. Ton soutien m'est précieux, et je te remercierai éternellement de l'amour inconditionnel que tu me portes. Notre relation est fusionnelle et je me rends compte de la chance que j'ai d'avoir une maman comme toi. Je t'aime fort.

À mon père, qui me motive et croit en moi. Je suis reconnaissante pour l'éducation que tu m'as apportée et pour l'attention que tu accordes à mon travail. Tu me donnes le courage d'affronter les obstacles et d'aller toujours de l'avant. Je t'aime fort.

À mon frère Hugo, qui me comprend et me soutient depuis le début de mes études. Tu sais me donner le sourire et partager ta bonne humeur. J'admire ta culture exceptionnelle et ton intérêt en chaque chose. Je t'aime fort.

À mon frère Théo, qui m'a partagé l'amour de la science, mais également d'autres passions qui font de moi la personne que je suis aujourd'hui. Tu m'as toujours fait voir les choses sous un autre angle et je t'en suis très reconnaissante. Je t'aime fort.

À mon frère Enzo, qui me rassure dans les moments difficiles. Je suis impressionnée par ta force et ta détermination. Tu as toujours été d'une gentillesse incroyable avec moi et je t'en remercie. Je t'aime fort.

À mes grands-parents, apportant la bienveillance et le calme à chacune de mes visites. Vous m'avez toujours félicité pour mon parcours et j'espère vous rendre fiers.

Enfin, à tous mes amis qui me soutiennent et m'écoutent depuis de nombreuses années. Vous êtes ma deuxième famille et un pilier dans ma vie. Je vous aime fort.

Table des matières

1	Le Diabète de Type 2	17
1.1	Généralités	17
1.2	Physiopathologie.....	19
1.2.1	Physiologie du pancréas	19
1.2.2	L'insuline	21
1.2.3	Le glucagon	24
1.2.4	Pathogénèse du Diabète de Type 2	25
1.3	Symptômes du Diabète de Type 2	26
1.4	Facteurs de risque	27
1.4.1	Relatifs à l'âge et risque génétique	27
1.4.2	Relatifs au mode de vie.....	27
1.4.3	Relatif à un syndrome métabolique	28
1.4.4	Relatifs à l'iatrogénie médicamenteuse	28
1.5	Comorbidités.....	29
1.6	Prévention.....	30
1.7	Diagnostic du Diabète de Type 2	30
1.7.1	Retard de diagnostic	30
1.7.2	Diagnostic	31
1.8	Complications	34
1.8.1	La néphropathie diabétique et Insuffisance Rénale Chronique.....	34
1.8.2	La Rétinopathie Diabétique	35
1.8.3	Le pied diabétique.....	37
1.8.4	Neuropathies diabétiques.....	37
1.8.5	Autres complications	38
1.9	Prise en charge.....	38
1.9.1	Stratégie de prise en charge non médicamenteuse.....	39
1.9.2	Stratégie de prise en charge médicamenteuse	41
2	Intelligence artificielle	49
2.1	Généralités	49
2.1.1	Définitions	49
2.1.2	Coûts et dépenses mondiales de l'IA	53
2.2	Histoire de l'Intelligence Artificielle	54
2.3	Intelligence Artificielle en santé	60
2.3.1	Débuts de l'IA en santé	60
2.3.2	Coûts et investissements de l'IA en santé	61
2.3.3	Ethique et protection des données	62
2.4	Les applications de l'Intelligence Artificielle en médecine.....	64
2.4.1	Le dépistage	64

2.4.2	Diagnostic médical	66
2.4.3	Médecine prédictive et aide à la décision	78
2.4.4	Chirurgie robotisée	79
2.4.5	Médecine personnalisée	83
2.4.6	Gestion et télémédecine	85
2.4.7	Conclusion	87
2.5	Les applications de l'Intelligence Artificielle en pharmacie	88
2.5.1	Nouveaux traitements et nouvelles indications	88
2.5.2	Analyses d'ordonnances	91
2.5.3	Sécurisation de la production et de la délivrance des médicaments	93
2.6	Conclusion sur les usages de l'IA en médecine et en pharmacie	94
3	L'Intelligence Artificielle et le Diabète de Type 2	95
3.1	Facteurs de risque	95
3.1.1	Prédiction de la survenue du Diabète de Type 2	95
3.2	Diagnostic	98
3.2.1	Biomarqueurs numériques	98
3.3	Complications	101
3.3.1	La Rétinopathie Diabétique	101
3.3.2	La Néphropathie Diabétique	104
3.3.3	Complications cardiovasculaires	107
3.4	Prise en charge	108
3.4.1	Optimisation de traitement	108
3.4.2	Détection de la non-observance	111
4	Discussion	114
5	Conclusion	118

ABREVIATIONS

AA : Acide Aminé

ADA : *American Diabetes Association*

ADP : Adénosine DiPhosphate

aGLP1 : analogue du *Glucagon-Like Peptide-1*

AIE : Agence Internationale de l'Energie

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

ARN : Acide RiboNucléique

ATP : Adénosine TriPhosphate

AUC : *Area Under the Curve*

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

Baggin-LR : Bagging-LogisticRegression

BDPM : Base de Données Publique des Médicaments

BMP : Bilan Partagé de Médication

BPCO : BronchoPneumopathie Chronique Obstructive

cAMP : cyclic Adenosine MonoPhosphate

CE-IVD : CE marking for In Vitro Diagnostic

cGMP : cyclic Guanosine MonoPhosphate

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CI : Contre-Indication

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

CSBM : Consommation de Soins et de Biens Médicaux

DAG : DiAcylGlycerol

DFG : Débit de Filtration Glomérulaire

DL : Deep Learning

DMLA : Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age

DMP : Dossier Médical Partagé

DNID : Diabète Non Insulino-Dépendant

DREES : Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques

DT2 : Diabète de Type 2

EMA : European Medicines Agency

ETP : Education Thérapeutique du Patient

FDA : Food and Drug Administration

FIV : Fécondation *In Vitro*

FLI : Future of Life Institute

GBA : Gradient Boosting Algorithm
GIP : Glucose-dependent Insulinotropic Polypeptide
GLP1 : Glucagon-Like Peptide-1
GPT : Generative Pre-trained Transformer
HAS : Haute Autorité de Santé
HbA1c : Hémoglobine glyquée
HGPO : HyperGlycémie Provoquée par voie Orale
HPV : Human PapillomaVirus
HTA : HyperTension Artérielle
IA : Intelligence Artificielle
IC : Intervalle de Confiance
iDPP4 : inhibiteurs de la *Dipeptidyl Peptidase-4*
IMC : Indice de Masse Corporelle
INRIA : Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
IP3 : Inositol 1,4,5-triPhosphate
IPP : Inhibiteur de la Pompe à Proton
IRC : Insuffisance Rénale Chronique
IRM : Imagerie par Résonance Magnétique
IRT : Insuffisance Rénale Terminale
iSGLT2 : inhibitor of Sodium/GLucose coTransporter 2
LADA : Latent Autoimmune Diabetes in Adults
LASSO : Least Absolute Shrinkage and Selection Operator
MAI : Maladie Auto-Immune
MCV : Maladies Cardio-Vasculaires
MICI : Maladie Inflammatoire Chronique de l'Intestin
ML : Machine Learning
MODY : Maturity-Onset Diabetes of the Young
ND : Néphropathie Diabétique
NPH : Neutral Protamine Hagedorn
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PARP : Poly(Adp-Ribose) Polymérase
PM : Perceptrons Multicouches
PMA : Procréation Médicalement Assistée
PROBAST : Prediction model Risk Of Bias Assessment Tool
RAC : Ratio Albuminurie/Créatininurie
RBMO : Reproductive Biomedicine Online
RD : Rétinopathie Diabétique

RNA : Réseau de Neurones Artificiels

RNC : Réseaux de Neurones Convolutifs

SARM : *Staphylococcus Aureus* Résistant à la Méricilline

SLA : Sclérose Latérale Amyotrophique

STAR : Smart Tissue Autonomous Robot

TARPON : Traitement Automatique des Résumés de Passages aux urgences pour un
Observatoire National

TCP : Théorie du Comportement Planifié

TDM : Trouble Dépressif Majeur

TSPT : Trouble de Stress Post-Traumatique

VBAI : Voice-Based conversational Artificial Intelligence

VIH : Virus de l'Immunodéficience Humaine

FIGURES

Figure 1 : Répartition du nombre de personnes atteintes de diabète dans le monde selon l'OMS	page 21
Figure 2 : Dépenses totales concernant le diabète en 2022	page 22
Figure 3 : Localisation et anatomie du pancréas humain	page 23
Figure 4 : Ilot de Langerhans humain entouré par les structures acinaires en microscopie optique (coloration hématoxyline/éosine).....	page 24
Figure 5 : La maturation de l'insuline	page 25
Figure 6 : Niveaux de glycémie et d'insulinémie sur 24 heures chez un sujet sain	page 27
Figure 7 : Cascade de signalisation aboutissant à l'exocytose des vésicules d'insuline et action de l'insuline sur le récepteur SUR1.....	page 28
Figure 8 : Graphique représentant le top 10 des comorbidités associées au diabète, en France (en pourcentage).....	page 33
Figure 9 : Fond d'œil d'un patient sain en comparaison au fond d'œil d'un patient atteint de rétinopathie diabétique	page 39
Figure 10 : Les piliers de la prise en charge du DT2 selon la HAS	page 41
Figure 11 : Prise en charge non médicamenteuse du DT2 selon la HAS.....	page 42
Figure 12 : Les normes de l'IMC selon l'OMS.....	page 43
Figure 13 : Prise en charge du DT2 par monothérapie et bithérapie selon la HAS	page 45
Figure 14 : Prise en charge du DT2 par trithérapie et insuline selon la HAS.....	page 46
Figure 15 : Diagramme de Venn montrant comment s'imbriquent les notions d'IA, d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond.....	page 52
Figure 16 : Structure d'un réseau de neurones artificiels multicouches	page 54
Figure 17 : Réseau de neurones artificiels identifiant un animal à partir d'une image .	page 55
Figure 18 : Investissements dans l'IA en fonction des pays.....	page 56
Figure 19 : Fonctionnement d'un système expert	page 58
Figure 20 : Fonctionnement d'un <i>GPT</i>	page 61
Figure 21 : Exemple de la phase d'entraînement d'un <i>GPT</i>	page 61
Figure 22 : Exemple de la phase d'utilisation d'un <i>GPT</i>	page 62
Figure 23 : Evolution de l'investissement dans le domaine médical et de soins de santé (en milliards de dollars)	page 64
Figure 24 : Fonctionnement de l'étude <i>Colive Voice</i>	page 68
Figure 25 : Analyse d'une imagerie médicale de sein par <i>Breast-SlimView</i>	page 70
Figure 26 : Mise en évidence d'une lésion suspecte par <i>ProFoundAI</i>	page 70
Figure 27 : Analyse d'images orthopédiques par <i>Milvue Suite</i>	page 71

Figure 28 : Interface du logiciel <i>Corex</i>	page 72
Figure 29 : Interface de la plateforme <i>QyScore</i>	page 73
Figure 30 : Interface de l'application mobile <i>Quitoxil</i>	page 76
Figure 31 : Interface du dispositif médical développé par <i>Emobot</i>	page 78
Figure 32 : Images des couches de la peau par <i>DeepLive</i>	page 79
Figure 33 : Photographie de <i>STAR</i> réalisant une opération	page 82
Figure 34 : <i>COBI</i> réalisant une injection de vaccin sans aiguille	page 83
Figure 35 : Photographie d'un chirurgien utilisant le robot <i>Da Vinci Xi</i>	page 83
Figure 36 : Reconstitution de la région thyroïdienne d'un patient par <i>Visible Patient</i> à partir d'un scanner ou d'une IRM	page 84
Figure 37 : Reconstitution de la région cardiaque d'un patient par <i>Visible Patient</i> à partir d'un scanner ou d'une IRM	page 84
Figure 38 : Interface de la plateforme <i>Desiree</i>	page 86
Figure 39 : Exemple de compte rendu rédigé par <i>Nabla Copilot</i> à partir de l'enregistrement audio de la consultation	page 87
Figure 40 : Interface de <i>Plan ART</i> délimitant une tumeur de manière précise afin d'optimiser la séance de radiothérapie	page 91
Figure 41 : Exemple de retranscription d'une ordonnance et de l'analyse des médicaments par <i>Posos</i>	page 92
Figure 42 : Schéma expliquant le fonctionnement de la régression logistique	page 97
Figure 43 : Schéma expliquant le fonctionnement de la forêt aléatoire	page 97
Figure 44 : Comparaison des résultats d'analyse entre l'ophtalmologue et <i>EyeWisdom DSS</i>	page 103
Figure 45 : Nombre d'ajustements de dose d'insuline par participant au fil du temps	page 110

TABLEAUX

Tableau I : Taux d'hémoglobine glyquée (HbA1c) à atteindre en fonction de la situation clinique	page 36
Tableau II : Principales complications du DT2 et mécanismes	page 37
Tableau III : Résumé des biomarqueurs pilotés par l'IA utilisés dans le DT2	page 99
Tableau IV : Résumé des caractéristiques à inclure dans un modèle de <i>ML</i> prédisant le risque de ND chez les patients atteints de DT2.....	...page 106
Tableau V : Comparaison des modèles d'IA analysant la non-observance chez les patients atteints de DT2.....	...page 112

INTRODUCTION

Le Diabète de Type 2 (DT2) est une pathologie métabolique chronique dont l'incidence augmente rapidement ces dernières décennies, au point d'être caractérisé d'épidémie¹. Il est associé à la forte augmentation contemporaine de l'obésité, étant lié aux changements des habitudes alimentaires et à la sédentarité dont l'humanité est touchée aujourd'hui.

Le nombre de malades dépassant largement les premières prédictions de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) réalisées au début des années 2000, il est urgent d'agir afin de ralentir la progression de cette maladie. Plus de 30 000² personnes décèdent chaque année des complications du Diabète de Type 2, un constat alarmant car ayant un impact socio-économique considérable.

En effet, l'Union Européenne a évalué le coût de l'épidémie de Diabète de Type 2 à plus de 20 milliards d'euros par an à la charge des patients et de la société. Il s'agit d'un enjeu de santé publique majeur à l'échelle mondiale, touchant aussi bien les pays industrialisés que les pays à revenu faible ou intermédiaire.

Face à ces constats, il est nécessaire de trouver de nouveaux outils capables d'aider les professionnels de santé à améliorer la prise en charge de cette maladie, afin d'en réduire l'incidence et la mortalité. La prévention actuelle, reposant sur l'identification des individus à risque et sur la mise en œuvre de mesures ciblant les facteurs modifiables, reste largement insuffisante face à l'ampleur du problème. Les recherches scientifiques s'intensifient sur le sujet, mais les stratégies connues sont peu appliquées à grande échelle en raison d'un manque de sensibilisation du public. Les résultats sont actuellement insuffisants au regard de l'épidémie en cours.

Dans ce contexte, l'Intelligence Artificielle (IA) suscite un intérêt croissant comme levier potentiel d'innovation à toutes les étapes de la prise en charge. L'IA offre des outils puissants pour repenser l'approche du Diabète de Type 2, de la prévention à la gestion thérapeutique, en passant par le dépistage, le suivi personnalisé et l'analyse prédictive.

Dans un premier temps, je propose de faire quelques rappels sur le Diabète de Type 2, en précisant la physiopathologie, les symptômes, les facteurs de risques et la prise en charge actuelle de la maladie.

¹ World Health Organization [en ligne]. Genève : WHO ; 2024. Diabète, il est urgent d'agir alors que le nombre de cas de diabète dans le monde a été multiplié par quatre au cours des dernières décennies [consulté le 16 juin 2025]. Disponible : [Il est urgent d'agir alors que le nombre de cas de diabète dans le monde a été multiplié par quatre au cours des dernières décennies](#)

² Wikipédia. Diabète de Type 2 [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 17 mai 2025]. Disponible : [Diabète de type 2 — Wikipédia](#)

La deuxième partie de ma thèse sera consacrée à l'Intelligence Artificielle, rappelant ses fondements et abordera notamment son utilisation actuelle dans la santé (médecine et pharmacie). Enfin, je terminerai en troisième partie par les applications actuelles et potentielles de l'IA dans la gestion du DT2.

Cette thèse a pour objectif de mieux comprendre comment l'IA peut contribuer à transformer la prise en charge du DT2, dans une logique de médecine plus individualisée, durable et efficace, dans un contexte de pénurie de professionnels de santé. Elle pose les bases de réflexion pour une prise en charge individualisée du patient atteint de DT2 par les pharmaciens d'officine.

1 Le Diabète de Type 2

1.1 Généralités

Le Diabète de Type 2 (DT2), aussi appelé « Diabète Non Insulino-Dépendant » (DNID) est une maladie métabolique caractérisée par une hyperglycémie chronique qui touche essentiellement les personnes de plus de 40 ans. Le DT2 touche 92%³ des diabétiques, le Diabète de Type 1 (DT1) touche 6% des diabétiques, les 2% restants correspondent aux autres types de diabète tels que le diabète gestationnel, *Maturity-Onset Diabetes of the Young (MODY)*, *Latent Autoimmune Diabetes in Adults (LADA)*.... Le Diabète de Type 1 (diabète insulino-dépendant) est une Maladie Auto-Immune (MAI) qui touche essentiellement les enfants et les jeunes adultes.

Le diabète touche **422⁴ millions de personnes dans le monde**, 8,5% des adultes âgés de 18 ans et plus sont atteints, les pays à revenu faible ou intermédiaires sont les plus touchés (Figure 1 ci-dessous). 1,5 millions de décès par an sont directement attribués au diabète, faisant de cette maladie l'une des 15 pathologies les plus mortelles dans le monde. Quasiment la moitié de tous les décès dus au diabète sont survenus avant l'âge de 70 ans. 460 000 décès par maladie rénale ont été causés par le diabète et l'augmentation de la glycémie est à l'origine d'environ 20 % des décès cardiovasculaires.

422 millions de diabétiques

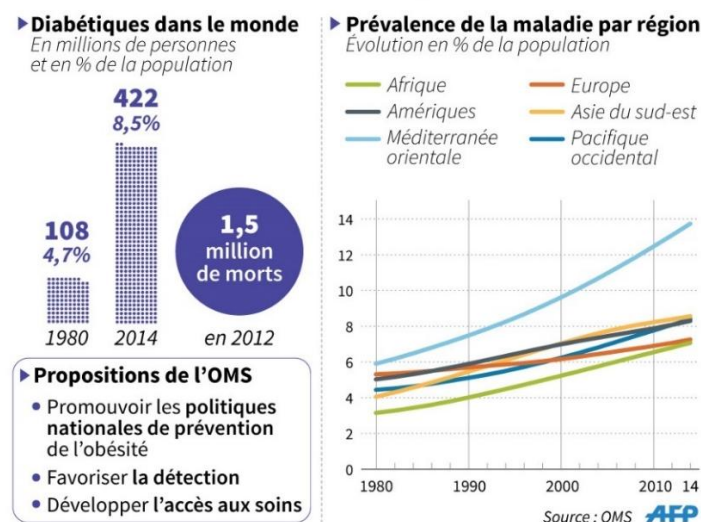


Figure 1 : Répartition du nombre de personnes atteintes de diabète dans le monde selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS)⁵

³ Fédération française des diabétiques [en ligne]. Paris : FFD. Qu'est-ce que le diabète ; [consulté le 15 octobre 2024].

Disponible : [Diabète : Types de diabète | Qu'est-ce que le diabète ? \(federationdesdiabetiques.org\)](https://www.federationdesdiabetiques.org/)

⁴ World Health Organization [en ligne]. Genève : WHO ; 2014. Diabète, aperçu ; [consulté le 18 octobre 2024]. Disponible : [Diabète \(who.int\)](https://www.who.int/)

⁵ Sciences et avenir. Diabète : le nombre de patients a explosé en 35 ans [en ligne]. 2016 [consulté le 18 novembre 2024].

Disponible : [Diabète : le nombre de patients a explosé en 35 ans - Sciences et Avenir](https://www.sciencesetavenir.fr/)

Le DT2 est une pathologie dont la prévalence et l'incidence ne cesse d'augmenter chaque année dans le monde, en raison de la sédentarité, du manque d'activité physique et du mode de vie peu sain de notre société. 108 millions de personnes⁶ étaient atteintes de diabète en 1980, contre 422 millions aujourd'hui. En à peine cinquante ans, le nombre de personnes touché à presque triplé (Figure 1 ci-avant).

En 2022, environ 4 millions de personnes⁷ étaient atteintes d'un diabète en France, soit 6,3% de la population, dont 55% d'hommes et 45% de femmes.

18%⁸ des hommes diabétiques et 26% des femmes diabétiques ont entre 80 et 84 ans, ce qui en fait la classe d'âge la plus touchée.

En **France**, en 2022, les dépenses totales de santé (correspondant aux dépenses remboursées chaque année) pour le diabète représentent **10 milliards d'euros**⁹ : parmi lesquels environ 8,6 milliards d'euros de soins de ville (soit 85% des dépenses totales), plus de 800 millions d'euros d'hospitalisation (soit 8 % des dépenses totales) et 720 millions d'euros de prestations en espèces (soit 7,1% des dépenses totales) (Figure 2 ci-dessous).

Les soins de ville correspondent aux soins de médecins, soins infirmiers ou de kinésithérapie, médicaments, biologie, transports, etc. Les hospitalisations comprennent le secteur public et privé et les prestations en espèces comprennent les indemnités journalières versées en cas de maladie, d'accidents du travail ou de maladies professionnelles.

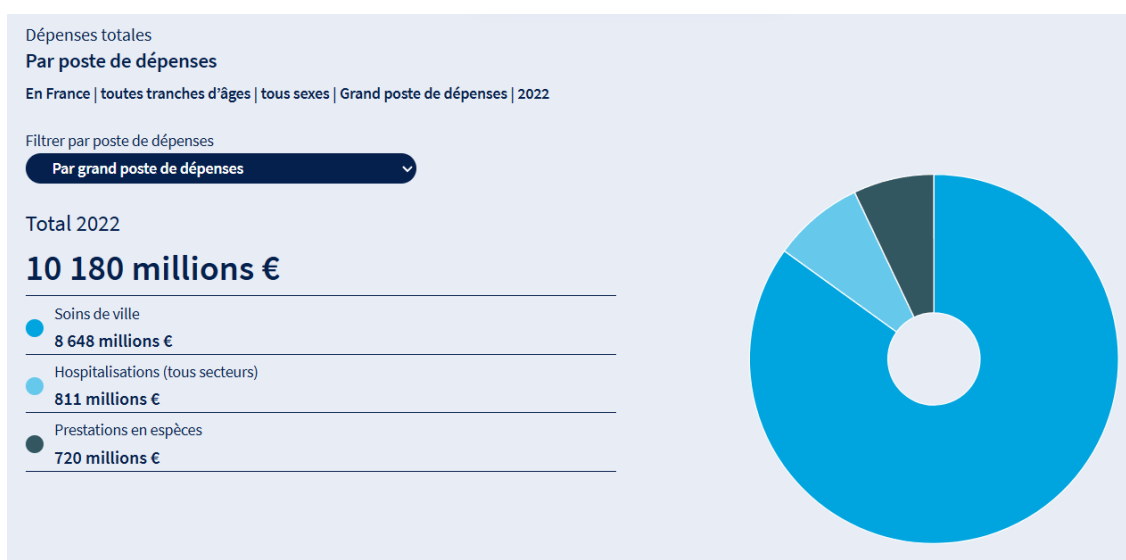


Figure 2 : Dépenses totales concernant le diabète en 2022

⁶ World Health Organization [en ligne]. Genève : WHO ; 2016. Rapport Mondial sur le diabète ; [consulté le 18 novembre 2024]. Disponible : [9789242565256-fre.pdf](#)

⁷ Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, répartition des effectifs ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)

⁸ Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, répartition par tranche d'âge ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)

⁹ Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, dépenses remboursées ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)

A titre de comparaison, en 2022, la Consommation de Soins et de Biens Médicaux (CSBM) atteint **235,8 milliards d'euros en France**¹⁰. Le diabète représente donc 4,3% du CSBM en France en 2022.

1.2 Physiopathologie

Le Diabète de Type 2 est causé par un déséquilibre entre la production d'insuline par le pancréas et les besoins du corps. L'insuline est une hormone hypoglycémiante fabriquée par les cellules bêta des îlots de Langerhans, présents dans la partie endocrine du pancréas.

1.2.1 Physiologie du pancréas

Le pancréas est un organe vital, allongé et aplati, situé au niveau de la face postérieure de l'estomac, en avant de l'aorte et de la veine cave inférieure. Il est considéré comme une glande annexe au tube digestif, indispensable dans la digestion, pesant entre 60 et 80g, mesurant 12 à 15 centimètres de long et 2 à 4 centimètres de large. Il se compose de 3 parties (de son extrémité médiale vers son extrémité latérale) : la tête, le col, le corps et la queue (Figure 3)¹¹.

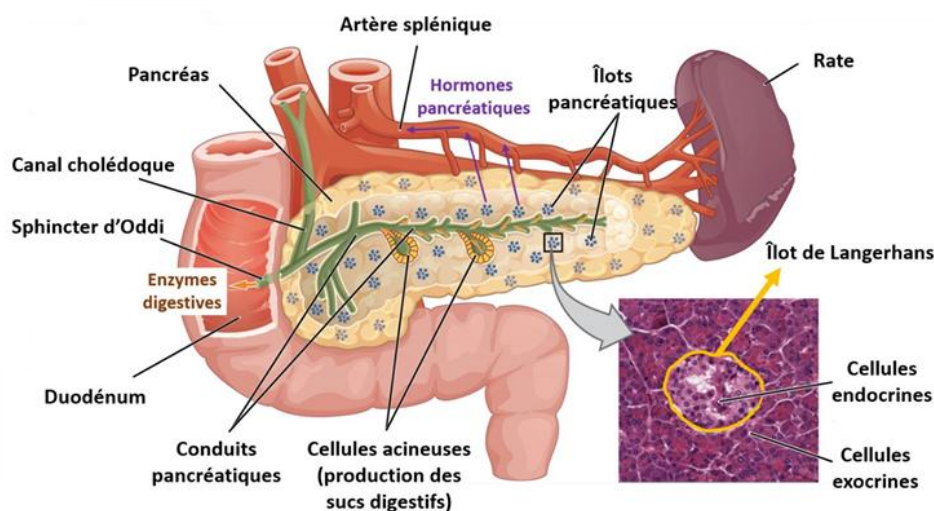


Figure 3 : Localisation et anatomie du pancréas humain¹²

¹⁰ Institut national de la statistique et des études économiques [en ligne]. France : INSEE ; 2023 [consulté le 22 octobre 2024]. Disponible : [Dépenses de santé – France, portrait social | Insee](#)

¹¹ Bessaguet F, Desmoulière A. Le pancréas. Actualités pharmaceutiques [en ligne]. 2021 juin [consulté le 19 octobre 2024] ;60(607) :55-59. Disponible : [Le pancréas - ScienceDirect \(univ-tours.fr\)](#)

¹² Daziano G. Rôle du propeptide de la sortiline et de ses dérivés dans les mécanismes de survie de la cellule bêta pancréatique [en ligne]. 153. Thèse de doctorat : Biologie cellulaire : Université Côte d'Azur : 2021 [consulté le 19 octobre 2024]. Disponible : [Role du propeptide de la sortiline et de ses deriv.pdf](#)

Une partie exocrine est assurée par les *acini* pancréatiques (unités sécrétrices) et permettent la production d'enzymes digestives et la synthèse du suc pancréatique. Le tissu exocrine constitue la plus grande partie de l'organe, estimé à 95% de l'ensemble des cellules du pancréas.

Une partie endocrine est permise par les îlots de Langerhans (environ 1 à 2 millions) qui produisent les hormones pancréatiques directement sécrétés dans la circulation sanguine (Figure 4) :

- L'**insuline** : hormone hypoglycémiante produite par les cellules bêta qui représentent 65 à 80% des îlots,
- Le **glucagon** : hormone hyperglycémiante produite par les cellules alpha qui représentent 15 à 20% des îlots,
- La **somatostatine** : hormone inhibitrice de l'hormone de croissance produite par les cellules delta (3-10%),
- Le **polypeptide pancréatique** : hormone glucorégulatrice produite par les cellules gamma (1%),
- La **ghréline** : hormone digestive qui stimule l'appétit produite par les cellules Epsilon.

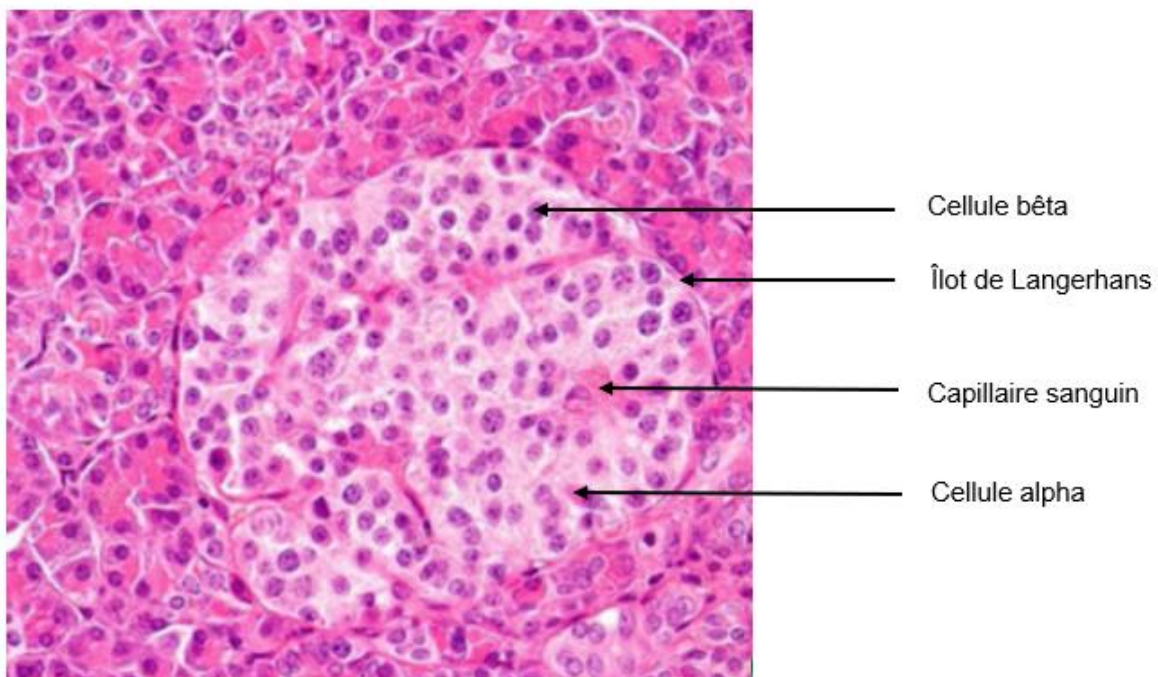


Figure 4 : Ilot de Langerhans humain entouré par les structures acinaires en microscopie optique (coloration hématoxyline/éosine)¹³

¹³ Schlienger J-L. The history of the islets of Langerhans. Elsevier [en ligne]. 2022 Juillet 2 [consulté le 22 octobre 2024] ; 16(7) : 655-661. Disponible : [L'histoire des îlots de Langerhans - ScienceDirect](#)

1.2.2 L'insuline

1.2.2.1 Généralités

L'insuline¹⁴ est la seule hormone hypoglycémiante de l'organisme. C'est un polypeptide composé d'une chaîne A de 21 Acides Aminés (AA) et d'une chaîne B de 30 AA. L'insuline est produite dans un premier temps sous forme de pré-pro insuline qui sera ensuite clivée par une peptidase au niveau de la partie N-terminale pour former la pro-insuline. Celle-ci se dirige ensuite vers l'appareil de Golgi dans les vésicules qui vont s'acidifier par la suite. Les enzymes trypsiques et carboxypeptidasiques clivent ensuite le peptide C pour donner l'insuline (Figure 5).

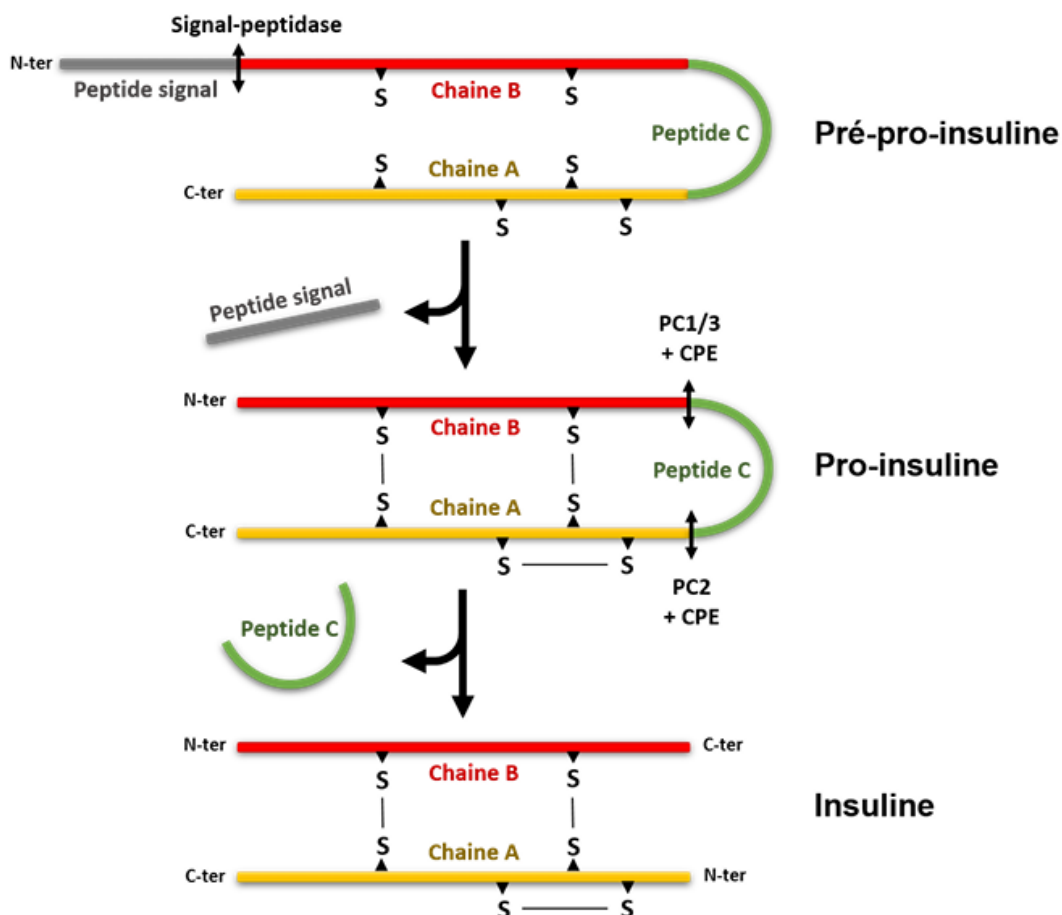


Figure 5 : La maturation de l'insuline¹⁵

¹⁴ Bessaguet F, Desmoulière A. Le pancréas. Actualités pharmaceutiques [en ligne]. 2021 juin [consulté le 19 octobre 2024] ;60(607) :55-59. Disponible : [Le pancréas - ScienceDirect \(univ-tours.fr\)](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268869721000000)

¹⁵ Daziano G. Rôle du propeptide de la sortiline et de ses dérivés dans les mécanismes de survie de la cellule bêta pancréatique [en ligne]. 153. Thèse de doctorat : Biologie cellulaire : Université Côte d'Azur : 2021 [consulté le 19 octobre 2024]. Disponible : [Role du propeptide de la sortiline et de ses deriv.pdf](https://theses.univ-corse.fr/document/role-du-propeptide-de-la-sortiline-et-de-ses-deriv.pdf)

Les vésicules sont ensuite stockées dans les cellules B pancréatiques jusqu'à leur libération. Lors de sa sécrétion, l'insuline entre dans la veine porte, ce qui lui permet d'atteindre rapidement le foie pour favoriser le stockage du glucose. Elle circule sous forme de monomère libre et a une demi-vie courte d'environ 5 minutes. Elle est rapidement métabolisée, principalement par le foie et les reins, via l'internalisation du complexe insuline-récepteur.

Le glucose est stocké dans les muscles, le tissu adipeux (adipocytes) et le foie. Lors d'une surabondance alimentaire, l'insuline favorise la conversion des glucides en acides gras pour leur stockage dans le tissu adipeux. Elle participe activement à la captation du glucose par le foie, le muscle strié squelettique et les adipocytes via la surexpression des transporteurs membranaires du glucose appelés GLUT 4 dans le muscle squelettique et les adipocytes. Il n'y a pas besoin de transporteur du glucose dans le foie car celui-ci diffuse librement et ne requiert pas de transporteur spécifique.

Dans ces conditions, après les repas, l'insuline inhibe la production de glucose par le foie. Cela conduit à une baisse de la glycémie grâce au stockage du glucose alimentaire et à l'arrêt de sa production par le foie. Entre les repas, la réduction de la sécrétion d'insuline permet la libération des réserves de glucose (glycogénolyse) et la production de nouveau glucose par le foie (néoglucogenèse). Cependant, cette production *de novo* ne peut pas se poursuivre indéfiniment, car elle utilise directement les muscles plutôt que les réserves énergétiques beaucoup plus importantes du tissu adipeux.

1.2.2.2 Variations de la glycémie au cours de la journée

L'insuline est sécrétée en fonction des variations de concentrations en glucose dans les capillaires pancréatiques. La glycémie augmente rapidement après un repas, ce qui entraîne une augmentation de la sécrétion d'insuline, et ce tant que la glycémie reste élevée. La sécrétion est biphasique : un premier pic, obtenu très rapidement, correspond à l'insuline déjà stockée dans les vésicules, et une deuxième phase correspond à l'insuline néoformée. On observe des pics d'insuline après chaque repas et une insulïnémie basale au cours de la journée chez un sujet sain (Figure 6 ci-après).

Les valeurs physiologiques de la glycémie sont :

- A jeun : entre 0,7 g/L et 1,10 g/L,
- 2h après un repas : < 1,40 g/L.

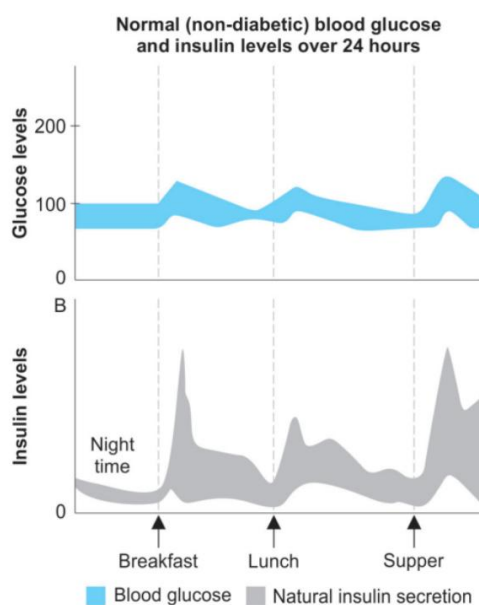


Figure 6 : Niveaux de glycémie et d'insulinémie sur 24 heures chez un sujet sain¹⁶

1.2.2.3 Sécrétion d'insuline

Le glucose est le principal déclencheur de la sécrétion d'insuline¹⁷, bien que les Acides Aminés et les acides gras puissent également induire cette sécrétion mais dans une moindre mesure. La libération d'insuline stimulée par le glucose repose sur des mécanismes de déclenchement et d'amplification actifs dans les cellules bêta. L'augmentation du rapport entre l'Adénosine TriPhosphate (ATP) et l'Adénosine DiPhosphate (ADP) joue un rôle central dans ce processus. GLUT2 est le principal capteur détectant les niveaux de glucose sur les cellules bêta pour initier la sécrétion d'insuline. Le *cyclic Adenosine MonoPhosphate* (cAMP) ainsi que le *cyclic Guanosine MonoPhosphate* (cGMP), l'Inositol 1,4,5-triPhosphate (IP3) et le *DiAcy/Glycerol* (DAG) pourraient également jouer un rôle significatif dans cette régulation.

GLUT2 est un transporteur spécifique qui permet de faire pénétrer le glucose dans le cytoplasme des cellules bêta. Ce transporteur est ensuite phosphorylé par une kinase, puis métabolisé, ce qui aboutit à la formation d'une grande quantité d'ATP. Cette augmentation d'ATP cytoplasmique induit la fermeture de canaux K⁺ sensibles au rapport ATP-ADP. La modification des conductances potassiques entraîne la dépolarisation de la membrane plasmique et l'ouverture des canaux calciques potentiel-dépendants. Cette élévation rapide de la concentration de calcium dans le cytoplasme déclenche la phosphorylation de diverses

¹⁶ Argawal S, Sahay R. Insulin monograph (a complete guide to insulin therapy) [en ligne]. Jaypee Brothers Medical Publishers ; 2020 [consulté le 22 octobre 2022]. 338 p. Disponible : [RSSDI's Insulin Monograph: A Complete Guide to Insulin Therapy - Sanjay Agarwal, Rakesh Sahay - Google Livres](#)

¹⁷ Argawal S, Sahay R. Insulin monograph (a complete guide to insulin therapy) [en ligne]. Jaypee Brothers Medical Publishers ; 2020 [consulté le 22 octobre 2022]. 338 p. Disponible : [RSSDI's Insulin Monograph: A Complete Guide to Insulin Therapy - Sanjay Agarwal, Rakesh Sahay - Google Livres](#)

protéines, ce qui conduit à la polymérisation des microtubules. Ces microtubules guident ensuite les vésicules vers la membrane plasmique, permettant la libération d'insuline (Figure 7). Les cellules bêta fonctionnent de manière synchronisée grâce à des jonctions communicantes au sein d'un même îlot, ce qui explique le caractère pulsatile de la sécrétion d'insuline.

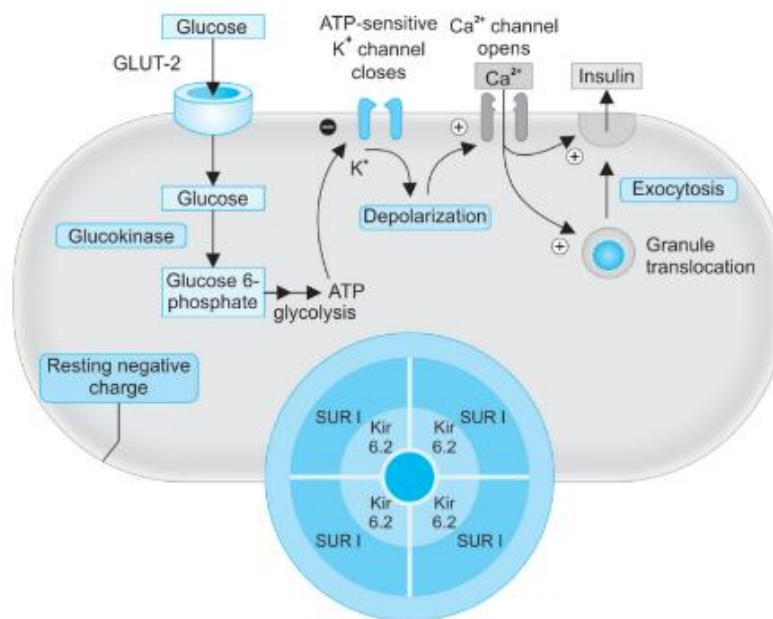


Figure 7 : Cascade de signalisation aboutissant à l'exocytose des vésicules d'insuline et action de l'insuline sur le récepteur SUR1¹⁸

1.2.3 Le glucagon

Le glucagon¹⁹ est une hormone peptidique hyperglycémiante (augmente le taux de glucose sanguin) produite par les cellules alpha des îlots de Langerhans. Il est sécrété dans la veine porte et agit principalement sur le foie en déclenchant la glycogénolyse. Le glucagon permet de maintenir la production de glucose hépatique pendant le jeûne et d'en augmenter la production lors du stress, y compris le stress cliniquement important de l'hypoglycémie. Il exerce également des effets sur le cerveau en augmentant la satiété et la dépense énergétique. Il est composé de 29 AA et n'est produit que lorsque la glycémie diminue de manière significative.

¹⁸ Argawal S, Sahay R. Insulin monograph (a complete guide to insulin therapy) [en ligne]. Jaypee Brothers Medical Publishers ; 2020 [consulté le 22 octobre 2022]. 338 p. Disponible : [RSSDI's Insulin Monograph: A Complete Guide to Insulin Therapy - Sanjay Agarwal, Rakesh Sahay - Google Livres](#)

¹⁹ Taborsky G. The physiology of glucagon. Journal of diabetes science and technology [en ligne]. 2010 Novembre 6 [consulté le 23 octobre 2024] ; 4(6) : 1338-1344. Disponible : [La physiologie du glucagon \(sagepub.com\)](#)

1.2.4 Pathogénèse du Diabète de Type 2

L'hyperglycémie correspond à une concentration en glucose dans le sang supérieur à 1,26 g/L (= 7,0 mmol/L) à jeun, ou supérieur à 2,00 g/L (= 11,1 mmol/L) à n'importe quel moment de la journée²⁰. Lors du diabète, cette hyperglycémie est qualifiée de chronique, c'est-à-dire qu'elle persiste dans le temps²¹.

Le « pré-diabète » correspond à un état intermédiaire entre une homéostasie normale du glucose et le Diabète de Type 2 avéré.

Les valeurs glycémiques chez un sujet prédiabétique sont les suivantes²² :

- Glycémie à jeun : entre 1,10 g/L et 1,26 g/L,
- Glycémie 2h après 75g de glucose *per os* : entre 1,40 g/L et 2g/L.

En réponse à l'hyperglycémie chronique, on observe initialement une augmentation compensatoire de la production d'insuline à partir des cellules bêta des îlots de Langerhans. Cependant, à mesure que la glycémie à jeun augmente d'avantage, les cellules bêta ne peuvent pas maintenir cette production d'insuline accrue, elles deviennent incapables de sécréter suffisamment d'insuline en réponse au glucose sanguin, ce qui est à l'origine d'une insulino-pénie relative ou absolue. Suite à une exposition prolongée aux cytokines pro-inflammatoires, les cellules bêta perdent leur capacité à sécréter de l'insuline en réponse à l'hyperglycémie et meurent finalement par apoptose.

De plus, on observe une augmentation de la résistance à l'insuline des tissus cibles de l'insuline tels que le foie, les muscles et le tissu adipeux. La perte relative ou absolue de la sensibilité de l'insuline précède le dysfonctionnement des cellules bêta pancréatique. A cela est accompagné une réduction de la masse totale des cellules bêta : on observe une réduction de 65% de la masse totale des cellules bêta pancréatiques lors du DT2.

La résistance à l'insuline des tissus cibles pourrait être expliquée par une inflammation chronique induite par l'hyperlipidémie. L'exposition chronique aux cytokines pro-inflammatoires de ces tissus entraînent une insulino-résistance. La résistance des tissus insulino-sensibles peut aussi s'expliquer par une augmentation de la perméabilité intestinale et un changement de composition du microbiote (fréquemment observé chez les sujets obèses atteints de DT2).

²⁰ Fédération française des diabétiques. Qu'est-ce que le diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 16 octobre 2024].

Disponible : [Diabète : Types de diabète | Qu'est-ce que le diabète ? \(federationdesdiabetiques.org\)](https://www.federationdesdiabetiques.org/)

²¹ Tenenbaum M, Bonnefond A, Frogel P, Abderrahmani A. Physiopathologie du diabète. Elsevier [en ligne]. 2018 Mai [consulté le 28 octobre 2024] ; 2018(502) : 26-32. Disponible : [Physiopathologie du diabète - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969596118300000)

²² CHU Nantes. Prédiabète [en ligne]. Nantes : CHU Nantes ; 2024 [consulté le 23 octobre 2024]. Disponible : [CHU de Nantes - Prédiabète \(chu-nantes.fr\)](https://www.chu-nantes.fr/pre-diabete)

L'obésité entraîne d'une part, un stress du réticulum endoplasmique à l'origine d'une diminution de la capacité des cellules bêta à produire de l'insuline et d'une autre part, une altération de l'expression de gènes clés du fonctionnement et de la survie des cellules bêta par des mécanismes épigénétiques. En effet, on retrouve une modification du niveau de la méthylation de l'ADN sur des îlots pancréatiques de patients diabétiques de type 2.

1.3 Symptômes du Diabète de Type 2

Le DT2²³ est une maladie souvent asymptomatique et est majoritairement détecté via une prise de sang à jeun permettant de mesurer la glycémie. Cependant, il existe des symptômes qui peuvent apparaître progressivement, après plusieurs années d'évolution. Ces signes cliniques sont principalement secondaires à l'hyperglycémie :

- Polydipsie : augmentation de la soif,
- Polyurie : augmentation du besoin d'uriner,
- Polyphagie : augmentation de l'appétit,
- Fatigue,
- Cicatrisation très lente des plaies,
- Vision trouble,
- Infections fréquentes (notamment urinaires et cutanées), récidivantes ou traînantes,
- Démangeaisons au niveau des organes génitaux : prurit vulvaire chez la femme et balanite chez l'homme (mycoses génitales),
- Fourmillements ou engourdissements dans les mains et les pieds.

L'hyperglycémie chronique peut être à l'origine de plusieurs complications telles que la neuropathie douloureuse, le mal perforant plantaire et autres lésions du pied, la rétinopathie et les atteintes cardiovasculaires²⁴.

²³ *International diabetes federation*. Diabète de type 2 [en ligne]. France : IDF ; 2024 [consulté le 20 octobre 2024]. Disponible : [Diabète de type 2 Fédération Internationale du Diabète](#)

²⁴ Chevalier N. Les référentiels des collègues : Endocrinologie, diabétologie et maladies métaboliques. 5^{ème} édition. Nice : Elsevier Masson ; 2021. 287 p.

1.4 Facteurs de risque

Les facteurs de risque du diabète regroupent un ensemble de conditions et d'habitudes de vie qui augmentent la probabilité de développer cette pathologie chronique, nécessitant ainsi une attention particulière pour prévenir ses complications²⁵.

1.4.1 Relatifs à l'âge et risque génétique

Les facteurs de risque relatifs à l'âge et au risque génétique sont :

- Un âge supérieur à 45 ans,
- Des antécédents familiaux de diabète, c'est-à-dire un parent proche (père, mère, frère ou sœur) est ou a été atteint d'un DT2,
- Une prédisposition génétique au DT2.

1.4.2 Relatifs au mode de vie

Les facteurs de risque relatifs au mode de vie peuvent être contrôlés efficacement en modifiant ses habitudes de vie et/ou par des traitements médicamenteux adaptés.

- Le surpoids, c'est-à-dire un Indice de Masse Corporelle (IMC) supérieur ou égal à 25 kg/m²,
- L'obésité, c'est-à-dire un IMC supérieur ou égal à 30 kg/m²,
- La sédentarité, qui correspond au temps passé, assis, couché ou debout sans bouger (sans mouvement conduisant à une dépense d'énergie). Le temps journalier de sédentarité est néfaste pour la santé quand il dépasse régulièrement 7 à 8 heures²⁶,
- Le manque d'activité physique, qui correspond à moins de 30 minutes d'activité physique par jour,
- L'obésité abdominale, c'est-à-dire un tour de taille > 80 cm pour les femmes et > 94 cm pour les hommes,
- Une alimentation trop grasse et trop sucrée,
- Le tabagisme, en cours ou interrompu depuis moins de 3 ans. Fumer augmente le risque de survenue d'un Diabète de Type 2 de 37 à 44%²⁷. L'insulinorésistance est majorée, même en cas de tabagisme passif. Le tabac est également nocif pour les reins et les yeux, favorisant la progression de la néphropathie et de la rétinopathie diabétique.

²⁵ Assurance maladie [en ligne]. Indre-et-Loire : ameli ; 2024. Causes et facteurs favorisant le diabète ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Causes et facteurs favorisant le diabète | ameli.fr | Assuré](#)

²⁶ Fédération française des diabétiques. Facteurs de risque et diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : quels sont les facteurs de risque et comment les contrôler ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)

²⁷ Fédération française des diabétiques. Facteurs de risque et diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : quels sont les facteurs de risque et comment les contrôler ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)

1.4.3 Relatif à un syndrome métabolique

Le syndrome métabolique se traduit par une résistance à l'insuline, qui conduira à l'apparition d'une hyperglycémie puis d'un Diabète de Type 2. Une personne est atteinte du syndrome métabolique lorsqu'elle présente une obésité abdominale associée à au moins 2 des facteurs suivants :

- Un taux élevé de triglycérides, c'est-à-dire supérieur ou égal à 1,5 g/L de sang,
- Un faible taux de cholestérol *High Density Lipoprotein (HDL)*, c'est-à-dire inférieur à 0,4 g/L chez l'homme et inférieur à 0,5 g/L chez la femme,
- Une HyperTension Artérielle (HTA), qui se définit par une pression artérielle systolique supérieure, à 140 mmHg et/ou une pression artérielle diastolique supérieure à 90 mmHg,
- Un taux élevé de glycémie veineuse.

1.4.4 Relatifs à l'iatrogénie médicamenteuse

Certains médicaments²⁸ peuvent participer au déclenchement d'un DT2. Les principaux mécanismes impliqués sont les altérations de la sécrétion et de la sensibilité à l'insuline, les effets cytotoxiques directs sur les cellules pancréatiques et l'augmentation de la production de glucose.

Les principales classes de médicaments à l'origine d'hyperglycémie sont :

- Les glucocorticoïdes,
- Les inhibiteurs de l'HMG-coA réductase (statines),
- Les diurétiques thiazidiques,
- Les bêta-bloquants,
- Les antipsychotiques,
- Les fluoroquinolones,
- Les antirétroviraux,
- Les agents antinéoplasiques,
- Les immunosuppresseurs.

²⁸ Heurtebize M, Faillie J. Drug-induced hyperglycemia and diabetes. ScienceDirect [en ligne]. 2023 Octobre 31 [consulté le 16 octobre 2024] ;79(2) :221-238. Disponible : [Hyperglycémie et diabète d'origine médicamenteuse - ScienceDirect](#)

1.5 Comorbidités

Les patients diabétiques de type 2 présentent souvent des comorbidités associées, c'est-à-dire qu'ils sont également pris en charge pour une ou plusieurs autres pathologies (Figure 8).

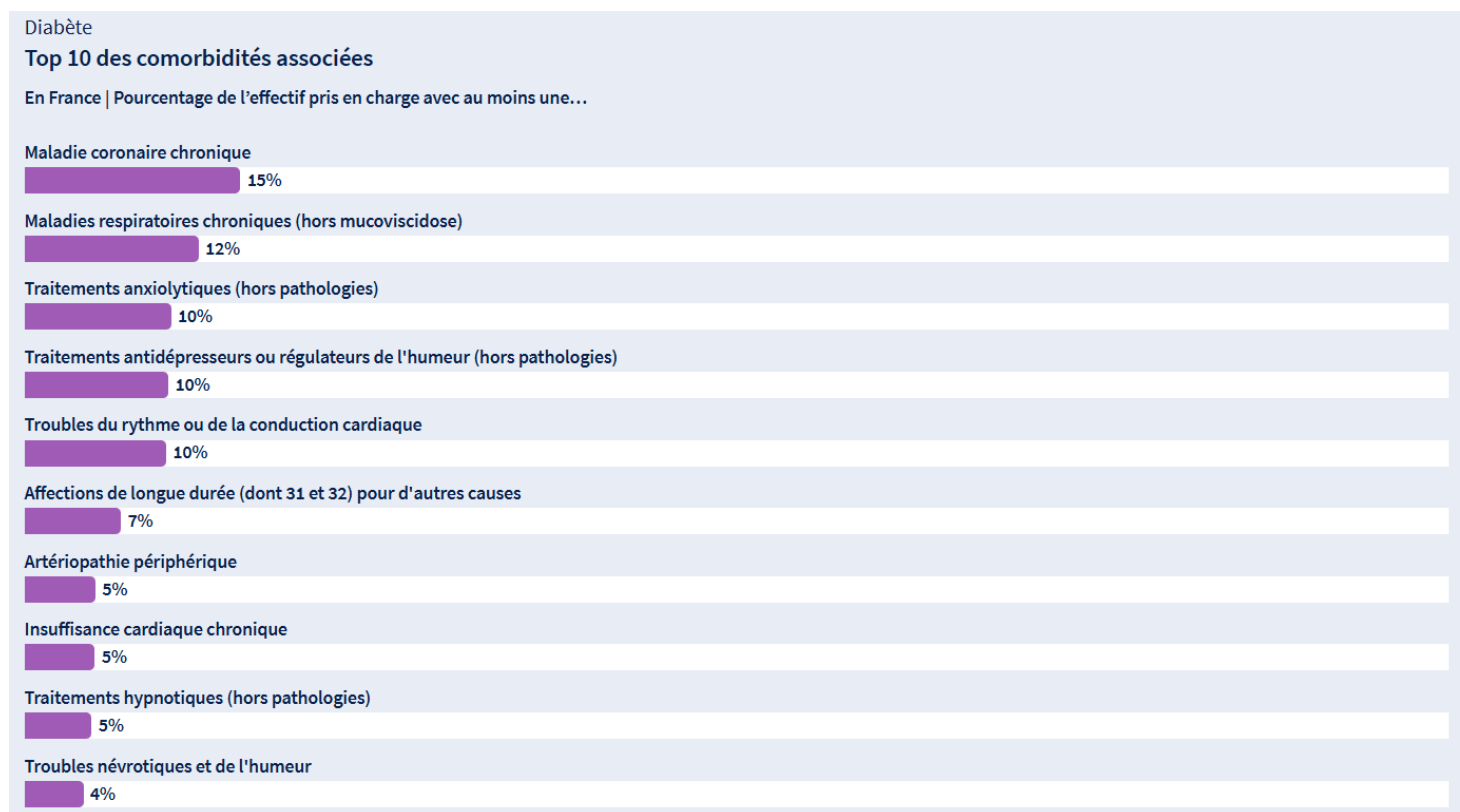


Figure 8 : Graphique représentant le top 10 des comorbidités associées au diabète, en France (en pourcentage)²⁹

Les maladies cardio-cérébrovasculaires sont fréquemment liées au DT2 et peuvent représenter un danger vital, notamment la coronaropathie, les Accidents Vasculaires Cérébraux (AVC) et l'insuffisance cardiaque. Leur tableau clinique peut être atypique et rester longtemps silencieux. Le DT2 doit donc être reconnu comme un facteur de risque cardiovasculaire à part entière³⁰.

²⁹ Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, comorbidités associées ; [consulté le 16 octobre 2024].

Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)

³⁰ Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 23 octobre 2024] ; 42(5) : 839-848.

Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)

1.6 Prévention

Il est possible de prévenir³¹ ou de retarder la survenue d'un DT2 de plusieurs manières, principalement en modifiant son mode de vie. Ces moyens de prévention sont également à appliquer chez un patient déjà atteint de Diabète de Type 2, afin de prévenir les complications de celui-ci :

- Atteindre et conserver un poids sain, ce qui correspond à un IMC entre 18,5 et 25 kg/m²,
- Pratiquer une activité physique régulière, c'est-à-dire en effectuant au moins 30 minutes d'exercice modéré chaque jour,
- Préconiser une alimentation saine, riche en fruits et légumes, pauvre en sucre et en graisses saturées. Les aliments contenant des graisses saturées sont principalement les aliments d'origine animale (beurre, graisse animale, fromage, viande...),
- Mettre en place un sevrage tabagique.

1.7 Diagnostic du Diabète de Type 2

1.7.1 Retard de diagnostic

L'évolution du DT2 est souvent lente et silencieuse, ce qui engendre un retard de diagnostic et un retard de prise en charge. Il s'écoule en moyenne 5 à 10 ans³² entre l'apparition des premières hyperglycémies et le diagnostic du DT2. Il est estimé que 20 à 30% des adultes diabétiques ne sont pas diagnostiqués³³.

L'inadaptation des critères diagnostiques actuels pour identifier la dysglycémie à un stade plus précoce dans l'évolution vers le Diabète de Type 2 pourrait, de manière involontaire, favoriser l'augmentation des cas de prédiabète et de diabète. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce retard de diagnostic. Les concentrations de seuil de glucose recommandées concernant le prédiabète varient entre l'Organisation Mondiale de la Santé et l'*American Diabetes Association (ADA)*. De plus, les valeurs seuils de glycémie sont arbitraires sachant que la dysglycémie est un processus continu. Les valeurs d'HbA1c peuvent être affectées par de nombreuses conditions cliniques telles que l'anémie, les différences raciales ou ethniques, la génétique, les maladies rénales chroniques et les hémoglobinopathies. Enfin, le jeûne physiologique et les concentrations de glucose 2 heures après le repas sont nettement inférieurs aux critères actuellement établis pour définir le prédiabète et le diabète³⁴.

³¹ World Health Organisation. Diabète, prévention [en ligne]. Genève : WHO ; 2023 [consulté le 28 octobre 2024]. Disponible : [Diabète](#)

³² Fédération française des diabétiques. Qu'est-ce que le diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 15 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : Types de diabète | Qu'est-ce que le diabète ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)

³³ Institut national de la santé et de la recherche médicale [en ligne]. Paris : INSERM ; 2019. Diabète de type 2 ; [consulté le 15 octobre 2024]. Disponible : [Diabète de type 2 · Inserm, La science pour la santé](#)

³⁴ Bergman M. Current diagnostic criteria identify risk for type 2 diabetes too late. The Lancet [en ligne]. 2023 Avril 6 [consulté le 6 novembre 2024] ; 11(4) : page 224-226. Disponible : [Current diagnostic criteria identify risk for type 2 diabetes too late - The Lancet Diabetes & Endocrinology](#)

1.7.2 Diagnostic

Le diagnostic clinique de l'hyperglycémie repose sur la mesure de la glycémie plasmatique, effectuée soit à jeun, soit à n'importe quel moment de la journée, ou encore lors d'un test de tolérance au glucose par voie orale : HyperGlycémie Provoquée par voie Orale (HGPO). Depuis 2009, l'hémoglobine glyquée (HbA1c), initialement utilisée uniquement pour le suivi du diabète, est également reconnue comme un critère supplémentaire pour le diagnostic de cette maladie.

Le diagnostic est confirmé lorsque³⁵ :

- Une seule glycémie à jeun est supérieur à 2 g/L (11,1 mmol/L) avec ou sans symptômes associés,
- Si la glycémie se situe entre 1,26 g/L (7 mmol/L) et 2 g/L (11,1 mmol/L), on confirmera le diagnostic avec un second test de glycémie veineuse à jeun. Il est nécessaire d'obtenir 2 valeurs de glycémie à jeun entre 1,26 g/L et 2 g/L,
- Si la glycémie est comprise entre 1,10 g/L (6 mmol/L) et 1,25 g/L (6,8 mmol/L), le diagnostic d'hyperglycémie modérée à jeun (prédiabète) est posé.

1.7.2.1 HyperGlycémie Provoquée par voie Orale

Ce test³⁶ s'effectue le matin, chez un patient à jeun depuis au moins 8 heures. Il est essentiel de supprimer toute médication hypoglycémiante ou hyperglycémiante plusieurs jours avant l'épreuve (glucocorticoïdes en particulier). Durant ce test, on administre au patient par voie orale en 3 à 5 minutes 75 g de glucose anhydre dilué dans 300 cc d'eau additionnée d'un peu de jus de citron. Le sang veineux est prélevé avant l'épreuve et 2 heures après la fin de l'ingestion du glucose afin de mesurer la glycémie avant et après l'épreuve.

On obtient ainsi la valeur de la glycémie à jeun et la valeur de la glycémie 2 heures après l'ingestion du glucose.

³⁵ HAS. Prévention et dépistage du diabète de type 2 et des maladies liées au diabète. Référentiel de pratiques de l'examen périodique de santé [en ligne]. Paris : HAS ; 2014 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [7v referentiel_2clics_diabete_060215.pdf](#)

³⁶ Hôpitaux Universitaires Genève. Technique clinique : hyperglycémie provoquée par voie orale [en ligne]. Genève : HUG ; 2022 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [HUG_000000815.pdf](#)

1.7.2.2 L'hémoglobine glyquée

Il s'agit de la forme glyquée de la molécule d'hémoglobine. Sa valeur biologique permet de refléter la glycémie au cours des trois derniers mois (qui représentent la durée de vie d'une molécule d'hémoglobine), à la différence de la glycémie à jeun ou capillaire qui représentent la glycémie à un moment donné. Plus la glycémie sera élevée, plus la quantité de glucose fixée sur l'hémoglobine sera importante. Les valeurs normales de l'HbA1c se situent entre 4% et 6% de l'hémoglobine totale.

Ce dosage à plusieurs intérêts au cours de la prise en charge du DT2 : elle permet de poser le diagnostic et de suivre l'évolution de la pathologie. D'après la Haute Autorité de Santé (HAS), l'objectif chez la majorité des patients Diabétiques de Type 2 est d'atteindre un taux d'HbA1c inférieur ou égal à 7%, mais ce chiffre peut varier en fonction de l'état physiopathologique du patient (comorbidités, âge...) ³⁷. (Tableau I).

³⁷ HAS. Prévention et dépistage du diabète de type 2 et des maladies liées au diabète. Référentiel de pratiques de l'examen périodique de santé [en ligne]. Paris : HAS ; 2014 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [7v referentiel_2clics_diabete_060215.pdf](#)

Tableau I : Taux d'hémoglobine glyquée (HbA1c) à atteindre en fonction de la situation clinique.³⁸

Profil du patient diabétique	HbA1C cible
Diabète nouvellement diagnostiqué chez un sujet dont l'espérance de vie est > 15 ans et sans antécédent cardiovasculaire	≤ 6,5 %
Sujet diabétique : - avec comorbidité grave avérée et/ou une espérance de vie limitée (< 5 ans) ; - ou avec des complications macrovasculaires évoluées ; - ou ayant une durée d'évolution > 10 ans et pour lequel la cible de 7 % s'avère difficile à atteindre car l'intensification médicamenteuse provoque des hypoglycémies sévères.	≤ 8 %
Sujet avec complication macrovasculaire considérée comme non évoluée	≤ 7 %
Sujet avec complication macrovasculaire considérée comme évoluée : - infarctus du myocarde (IDM) avec insuffisance cardiaque ; - atteinte coronarienne sévère (tronc commun ou atteinte tritonculaire ou atteinte de l'interventriculaire antérieure [IVA] proximale) ; - atteinte polyartérielle (au moins deux territoires artériels symptomatiques) ; - artériopathie oblitérante des membres inférieurs (AOMI) symptomatique ; - accident vasculaire cérébral récent (< 6 mois).	≤ 8 %
Insuffisance rénale chronique modérée (stades 3A [†] et 3B [‡])	≤ 7 %
Insuffisance rénale chronique sévère ou terminale (stades 4 [¥] et 5 [§])	≤ 8 %
Femme ayant le projet de débuter une grossesse	< 6,5 %
Femme enceinte (glycémie à jeun < 0,95 g/l, postprandiale < 1,20 g/l 2 heures après le repas)	< 6,5 %
Personne âgée de plus de 75 ans en bon état de santé, indépendante et bien intégrée socialement (c'est-à-dire autonome d'un point de vue décisionnel et fonctionnel)	≤ 7 %
Personne âgée dite fragile, à l'état de santé intermédiaire avec limitations fonctionnelles motrices et cognitives et une baisse des capacités d'adaptation	≤ 8 %
Personne âgée dépendante, en mauvais état de santé en raison d'une polypathologie chronique évoluée génératrice de handicap et d'un isolement social	< 9 %

† = stades 3A = débit de filtration glomérulaire compris entre 45 et 59 ml/min/1,73 m².

‡ = stade 3B = débit de filtration glomérulaire compris entre 30 et 44 ml/min/1,73 m².

¥ = stade 4 = débit de filtration glomérulaire compris entre 15 et 29 ml/min/1,73 m².

§ = stade 5 = débit de filtration glomérulaire < 15 ml/min/1,73 m².

³⁸ HAS. Prévention et dépistage du diabète de type 2 et des maladies liées au diabète. Référentiel de pratiques de l'examen périodique de santé [en ligne]. Paris : HAS ; 2014 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [7v_referentiel_2clics_diabete_060215.pdf](#)

1.8 Complications

Les personnes atteintes d'un DT2 sont exposées à un risque élevé de diverses complications principalement causées par des mécanismes complexes et interconnectés (Tableau II), tels que l'hyperglycémie, l'inflammation chronique de faible intensité et l'accélération de l'athérogenèse. Il existe des complications locales ou générales et souvent grave car la durée de vie d'une personne diabétique est réduite de 5 à 10 ans.

Tableau II : Principales complications du DT2 et mécanismes³⁹

Complications	Microangiopathie	Macroangiopathie	Mixte
Rétinopathie	+++		
Néphropathie	++	++	+++
Neuropathie	++		
Coronaropathie	(+)	+++	
Insuffisance cardiaque	+	+++	+
AVC		++	
AOMI	++	++	+
Troubles trophiques Mal perforant, pied de Charcot	++	++	+++
Infections			

AOMI : artériopathie oblitérante des membres inférieurs.

1.8.1 La néphropathie diabétique et Insuffisance Rénale Chronique

La néphropathie diabétique représente la cause la plus élevée d'insuffisance rénale terminale. 31% des patients dialysés en France sont atteint d'un DT2 et 4% sont atteint d'un diabète de type 1. Aujourd'hui, le DT2 représente la première cause d'entrée en dialyse et multiplie d'un facteur 3 l'incidence de l'insuffisance rénale terminale⁴⁰. Jusqu'à 40% des personnes vivant avec un diabète développent une Insuffisance Rénale Chronique (IRC). De plus, le nombre de nouveaux cas d'IRC chez les personnes atteintes d'un DT2 a augmenté de 74% entre 1990 et 2017⁴¹.

³⁹ Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 23 octobre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)

⁴⁰ Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 10 novembre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)

⁴¹ International Diabetes Federation. Diabetes and kidney disease. IDF Atlas reports. 2023 [consulté le 10 novembre 2024]. Disponible : [Diabète et maladies rénales | Atlas du diabète de la FID](#)

Cette néphropathie est avant tout la conséquence de la microangiopathie principalement liée à l'effet de l'hyperglycémie sur la morphologie et la fonction glomérulaire. A cela s'ajoutent plusieurs facteurs prédisposants tels que l'âge, l'HTA, l'athérosclérose, l'obésité et la consommation de tabac. Une aggravation de la fonction rénale chez un sujet diabétique de type 2 marque également une progression du risque cardiovasculaire. La néphropathie diabétique débute par une microalbuminurie (correspond à l'augmentation de l'excrétion urinaire d'albumine) qui est le témoin initial de l'atteinte glomérulaire. Enfin, on retrouve également des lésions histologiques qui restent silencieuses pendant longtemps, progressant de l'hypertrophie glomérulaire à l'épaississement de la membrane basale glomérulaire, puis à l'expansion mésangiale et à l'accumulation de matrice extracellulaire dans le glomérule.

Il est nécessaire de doser annuellement la créatininémie avec une estimation du Débit de Filtration Glomérulaire (DFG) selon la formule CKD-EPI et la microalbuminurie sur échantillon urinaire exprimé en Ratio Albuminurie/Créatininurie (RAC)⁴² afin d'identifier précocement l'altération de la fonction rénale et de proposer une prise en charge appropriée. On cherchera avant tout à contrôler la glycémie, le bilan lipidique, la pression artérielle et la microalbuminurie (qui représente la cible la plus importante car sa normalisation permet un déclin de la fonction rénale trois fois moindre que si elle progressait).

1.8.2 La Rétinopathie Diabétique

La Rétinopathie Diabétique (RD) est la conséquence d'une microangiopathie qui se caractérise par une lésion des vaisseaux sanguins de l'œil et le dysfonctionnement des cellules endothéliales capillaires rétinienne. Il s'agit d'une grave complication qui touche 50% des patients atteints d'un DT2⁴³. La microangiopathie cause une diminution de l'oxygénation de la rétine, qui entraîne une production de nouveaux vaisseaux sanguins fragiles. En absence de prise en charge, ce phénomène peut s'étendre jusqu'à la *macula*, qui va s'épaissir et former un œdème maculaire à l'origine d'une baisse de l'acuité visuelle voire d'une cécité que partiellement réversible. De plus, les vaisseaux néoformés sont fragiles et peuvent se rompre facilement, ce qui provoque une nappe sanguine dans le vitré, en avant de la rétine. Ce phénomène peut également entraîner une perte de vision jusqu'à la résorption de l'hémorragie, ce qui n'est pas toujours le cas et peut nécessiter une ablation chirurgicale du corps vitré (vitrectomie).

⁴² Haute autorité de santé. Maladie rénale chronique de l'adulte (MRC). Guide du parcours de soins [en ligne]. 2023 Septembre [consulté le 10 novembre 2024]. Page 13-16. Disponible : [Guide du parcours de soins – Maladie rénale chronique de l'adulte \(MRC\)](#)

⁴³ Fédération Française des Diabétiques. La rétinopathie diabétique et les maladies des yeux [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 11 novembre 2024]. Disponible : [Rétinopathie Diabétique | Diabète symptômes dans les yeux](#)

Ces affections peuvent conduire à une fibrose causant une traction de la rétine et un risque de déchirure voire de décollement de la rétine, responsable d'une cécité définitive.

Afin de prévenir les rétinopathies chez les patients diabétiques, il est nécessaire de consulter un ophtalmologue tous les ans ou en cas de modification de la vue. Celui-ci effectuera un examen du fond de l'œil (Figure 9), la mesure de l'acuité visuelle et de la tension oculaire. Le rétinographe non mydriatique est une technique plus récente et moins contraignante qui permet de photographier le fond de l'œil sans dilatation de la pupille. Un contrôle ophtalmique est également nécessaire dès le diagnostic de Diabète de Type 2 posé.

Il existe plusieurs moyens disponibles afin de prendre en charge la Rétinopathie Diabétique comme la photocoagulation au laser qui permet de réduire le risque de perte de vision ou la chirurgie intraoculaire qui permet de prendre en charge les patients atteints d'une hémorragie vitréenne ou d'un décollement de la rétine.

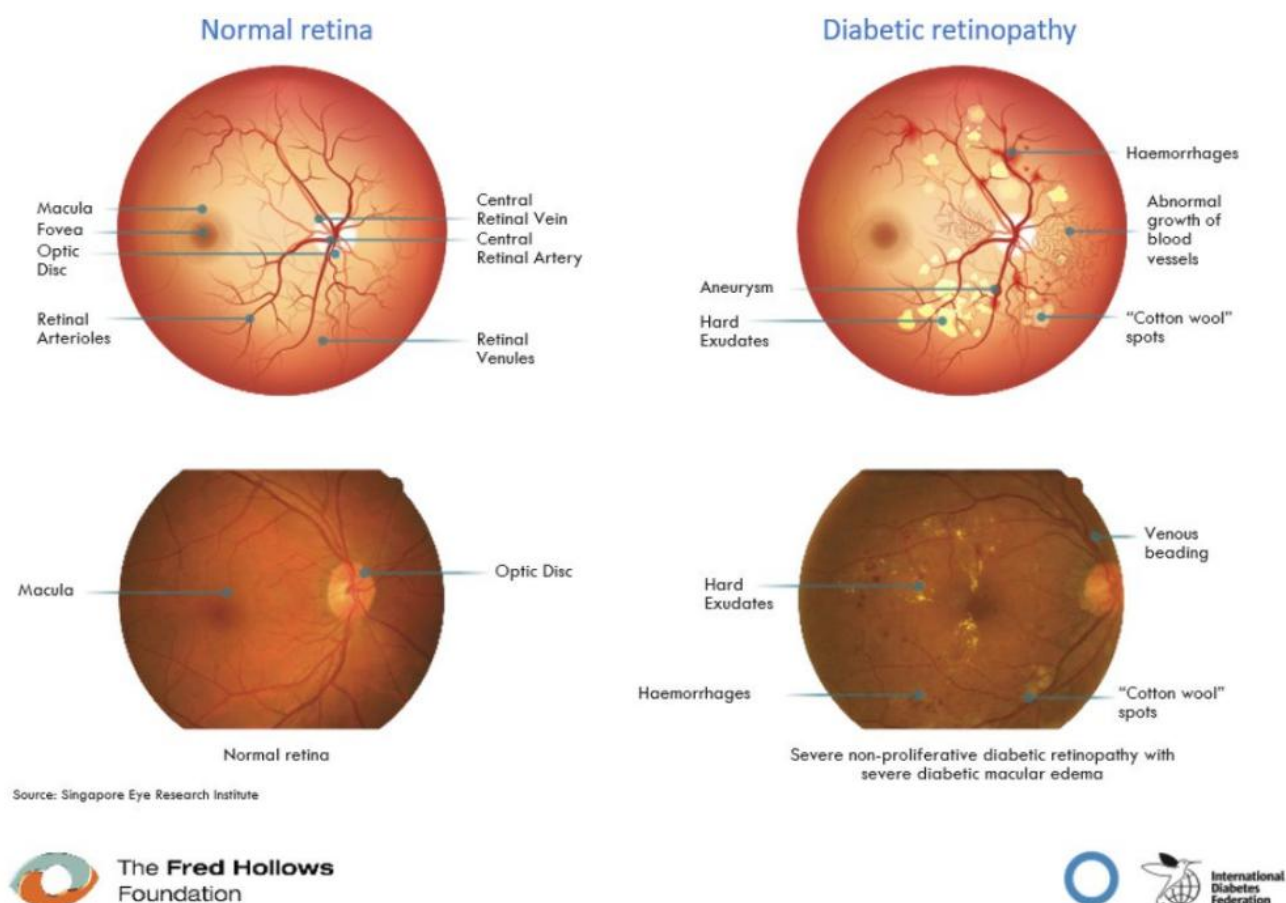


Figure 9 : Fond d'œil d'un patient sain en comparaison au fond d'œil d'un patient atteint de Rétinopathie Diabétique⁴⁴

⁴⁴ Bosquet E. La rétinopathie diabétique. Pour la Vision, centre de recherches d'ophtalmologie [en ligne]. 2024 [consulté le 11 novembre 2024]. Disponible : [La rétinopathie diabétique - Pour la vision | Association CRO](#)

1.8.3 Le pied diabétique

Le pied diabétique est le résultat de trois complications chez le diabétique : l'artériopathie, la neuropathie et l'infection. La neuropathie entraîne une perte de sensibilité des extrémités à l'origine d'une perte d'alerte douloureuse lors d'une lésion du pied. L'artériopathie, causant des troubles de la circulation capillaire, est un facteur d'aggravation très important responsable du retard de cicatrisation et d'une gangrène aboutissant fréquemment à une amputation. L'infection représente également un facteur d'aggravation majeur, car il y a un risque d'extension profonde en particulier vers l'os, ce qui peut également conduire à l'amputation et à un risque vital de manière plus général⁴⁵.

15% des personnes atteintes d'un DT2 présenteront des ulcérations du pied dans leur vie et 85% des amputations chez le patient Diabétique de Type 2 sont précédées d'une ulcération du pied⁴⁶. Chaque année en France, on observe près de 10 000 amputations dues aux complications du diabète⁴⁷.

Un dépistage annuel des lésions chez un pédicure-podologue est recommandé, ainsi qu'une autosurveillance journalière.

1.8.4 Neuropathies diabétiques

Le mécanisme sous-jacent entraînant ces neuropathies implique des dommages directs aux nerfs et aux vaisseaux sanguins causés par l'hyperglycémie chronique⁴⁸.

Il existe plusieurs types de lésions nerveuses chez le diabétique :

- **La neuropathie périphérique** (touchant les nerfs périphériques, principalement ceux des jambes et des pieds) : on retrouve des picotements, une faiblesse des membres, un engourdissement,
- **La neuropathie autonome** (affecte les fibres du système nerveux autonome) : entraîne une rétention urinaire, une gastroparésie, des fluctuations tensionnelles, une tachycardie permanente...

⁴⁵ Malgrange D. Physiopathology of the diabetic foot. Elsevier [en ligne]. 2008 Septembre [consulté le 12 novembre 2024] ; 29(2) : 231-237. Disponible : [Physiopathologie du pied diabétique - ScienceDirect](#)

⁴⁶ Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 12 novembre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)

⁴⁷ Fédération Française des Diabétiques. Le pied diabétique et ses infections [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 12 novembre 2024]. Disponible : [Pied Diabétique | Diabète & Pieds | Conséquences du Diabète sur les Pieds](#)

⁴⁸ Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 12 novembre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)

1.8.5 Autres complications

D'autres complications pourraient être rapportées au DT2 comme certains cancers, un déclin cognitif, un syndrome d'apnée du sommeil, des troubles de l'humeur voire un syndrome dépressif, des troubles du métabolisme osseux, une augmentation du risque infectieux, une augmentation du risque cardio-vasculaire avec une athérosclérose accélérée, une cardiopathie ischémique, une insuffisance cardiaque, une artériopathie périphérique, une atteinte cérébrovasculaire.

1.9 Prise en charge

La prise en charge⁴⁹ du DT2 est une prise en charge graduée, c'est-à-dire que la stratégie débute par une prise en charge non médicamenteuse, et si cela ne suffit pas, une monothérapie antidiabétique est ajoutée puis une bithérapie voire une trithérapie si le diabète n'est toujours pas équilibré (Figure 10).



Figure 10 : Les piliers de la prise en charge du DT2 selon la HAS⁵⁰

⁴⁹ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 12 novembre 2024]. Disponible : [strategie_therapeutique_du_patient_vivant_avec_un_diabete_de_type_2_-_recommandations.pdf](#)

⁵⁰ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 19 novembre 2024]. Disponible : [Strategie_therapeutique_du_patient_vivant_avec_un_diabete_de_type_2](#)

1.9.1 Stratégie de prise en charge non médicamenteuse

Les règles hygiéno-diététiques représentent la base de la prise en charge d'un patient atteint de DT2, il s'agit du traitement de première intention (Figure 11).

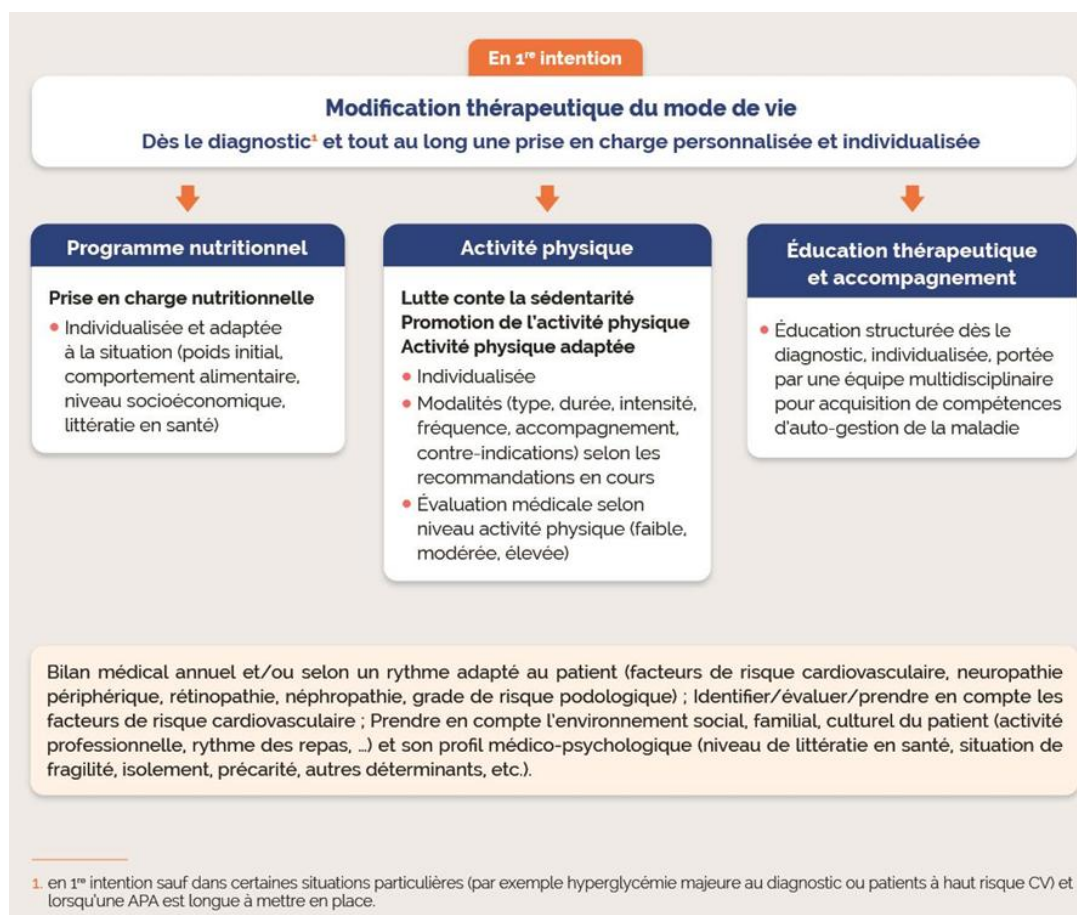


Figure 11 : Prise en charge non médicamenteuse du DT2 selon la HAS⁵¹

1.9.1.1 Lutte contre la sédentarité, promotion de l'activité physique adaptée

Il est recommandé de pratiquer une activité physique régulière adaptée au patient, de diminuer le temps total de sédentarité et de rompre la position assise ou allongée en bougeant au moins une minute toutes les heures.

Cela permet d'améliorer la sensibilité à l'insuline, de diminuer les facteurs de risque de progression du diabète ainsi que les risques de complications cardiovasculaire, d'améliorer la qualité de vie et l'équilibre glycémique.

Un arrêt de la consommation de tabac est également recommandé.

⁵¹ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 19 novembre 2024]. Disponible : [Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2](#)

1.9.1.2 Prise en charge nutritionnelle

Adopter une alimentation saine et équilibrée est l'un des piliers de la prise en charge du DT2. Il est important de mettre en place un programme complet de modification du mode de vie, comprenant une alimentation équilibrée adaptée au patient et à sa situation (âge, poids, niveau socio-économique, comorbidités...).

Une surveillance du poids est recommandée chez les patients atteints de Diabète de Type 2 et chez les patients en situation d'obésité, une perte de poids est conseillée avec un objectif de normalisation de l'IMC. Une perte minimale de 5% du poids au moment du diagnostic permet une amélioration métabolique significative.

L'IMC est calculé selon la formule : $IMC = \text{poids (kg)} / \text{taille}^2 \text{ (m)}$ et les normes selon la HAS sont les suivantes⁵² (Figure 12) :

- Dénutrition : $IMC < 16,5$
- Maigreur : $IMC : 16,5-18,4$
- Poids normal : $IMC : 18,5-24,9$
- Surpoids : $IMC = 25-29,9$
- Obésité modérée : $IMC = 30-34,9$
- Obésité sévère : $IMC = 35-39,9$
- Obésité morbide : $IMC \geq 40$

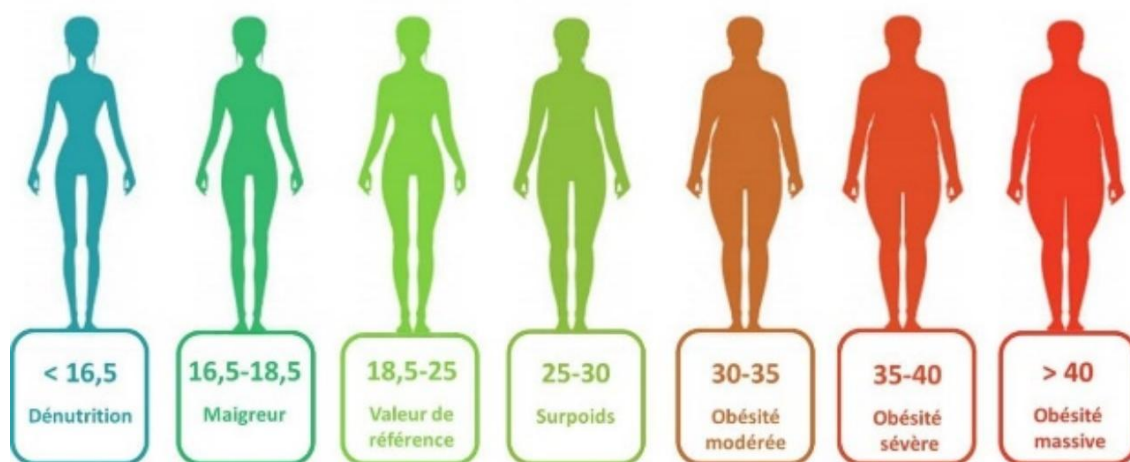


Figure 12 : Les normes de l'IMC selon l'OMS⁵³

⁵² Haute Autorité de Santé [en ligne]. Surpoids et obésité de l'adulte : prise en charge médicale de premier recours. Paris : HAS ; 2012 Décembre 26 [consulté le 1 janvier 2025]. Disponible : [Haute Autorité de Santé - Surpoids et obésité de l'adulte : prise en charge médicale de premier recours](#)

⁵³ Département Prévention Cancer Environnement : Centre Léon Bérard. Surpoids, obésité et cancer [en ligne]. Lyon : Centre Léon Bérard ; 2023 [consulté le 1 janvier 2025]. Disponible : [Surpoids, obésité et cancer • Cancer Environnement](#)

1.9.1.3 Education Thérapeutique du Patient

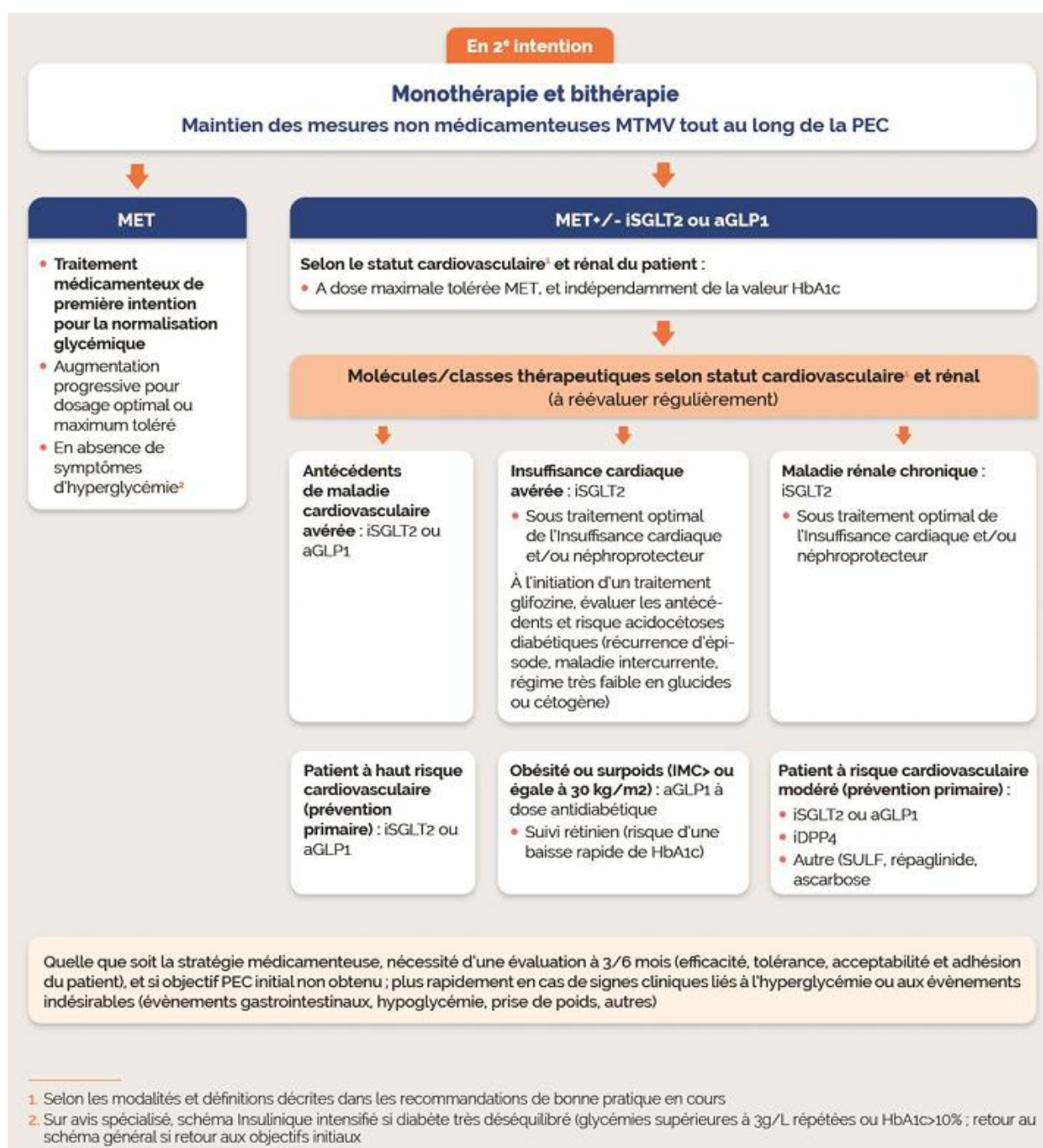
Le DT2 étant une maladie chronique, il nécessite une surveillance quotidienne de l'état de santé par le patient, une gestion des crises et des prises d'initiatives, une observance régulière des traitements ainsi qu'une adaptation permanente à la situation et à l'évolution de la maladie. L'Education Thérapeutique du Patient (ETP) est une démarche pédagogique mise en œuvre par des professionnels de santé formés au moyen de séances d'éducation thérapeutique personnalisée. L'objectif est d'améliorer les habitudes de vie, d'acquérir des compétences d'adaptation, d'autosoins et des compétences psychosociales afin de gagner progressivement en autonomie. L'atteinte, le renforcement et le maintien de ces objectifs dans le temps nécessite un accompagnement par une équipe pluridisciplinaire.

1.9.2 Stratégie de prise en charge médicamenteuse

Une stratégie de prise en charge médicamenteuse est proposée en deuxième intention, lorsque la mise en place des modifications des habitudes du mode de vie n'a pas permis d'atteindre les objectifs définis initialement avec le patient. Il est essentiel de tenir compte de l'état physio-pathologique du patient, en prenant particulièrement en compte le statut cardiovasculaire et rénal. Une réévaluation du traitement est nécessaire après trois à six mois, ou plus rapidement en cas d'effets indésirables ou de signes cliniques liés à l'hyperglycémie.

La prise en charge médicamenteuse du DT2 est la suivante (Figure 13 et Figure 14) :

- **Metformine** en monothérapie en première intention,
- **Inhibiteur du cotransporteur Sodium-Glucose de type 2** (*inhibitor of Sodium-GLucose coTransporter-2 : iSGLT2*) ou **analogue du Glucagon-Like Peptide-1** (*aGLP1*) en monothérapie si contre-indication à la Metformine,
- Metformine en bithérapie associée à un *iSGLT2* ou à un *aGLP1* ou à un **inhibiteur de la Dipeptidyl Peptidase-4** (*iDPP4*) en seconde intention,
- Metformine en trithérapie avec un *iSGLT2* ou un *aGLP1* + un *iDPP4* ou un **sulfamide hypoglycémiant** ou du **Répaglinide** ou un **inhibiteur des alphaglucosidases intestinales** en troisième intention,
- Trithérapie avec de l'**insuline** en dernière intention.



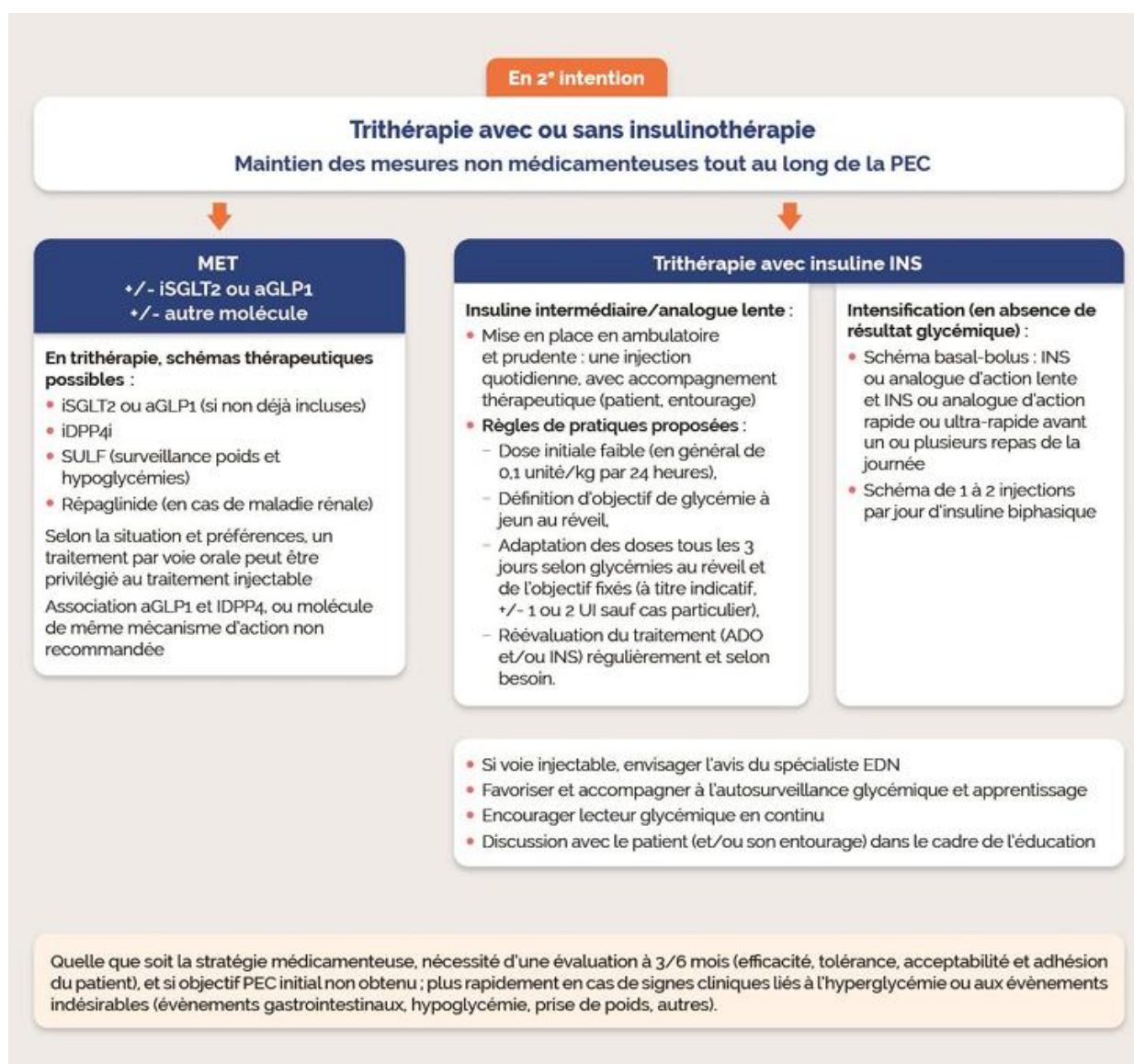


Figure 14 : Prise en charge du DT2 par trithérapie et insuline selon la HAS⁵⁵

⁵⁵ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 23 novembre 2024]. Disponible : [Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2](#)

1.9.2.1 Molécules utilisées la prise en charge du DT2 : monothérapie et bithérapie

1.9.2.1.1 Metformine

La Metformine est un antidiabétique oral appartenant à la famille des biguanides normoglycémiants⁵⁶. Elle agit en augmentant la sensibilité à l'insuline des muscles et du tissu adipeux, c'est-à-dire des tissus utilisateurs de glucose. Elle augmente le transport et l'utilisation du glucose par les entérocytes, ce qui permet une diminution de sa résorption intestinale. La Metformine joue également un rôle dans l'inhibition de la néoglucogénèse par le foie ainsi que dans l'inhibition de la glycérophosphate déshydrogénase mitochondriale. De plus, on observe une inhibition de la voie de production du glucagon, un relargage du *Glucagon-Like Peptide-1 (GLP1)* sécrété par les cellules entéro-endocrines et une augmentation de la production de lactates par les entérocytes.

Cette augmentation de lactates dans le sang est à l'origine de l'acidose lactique, un effet indésirable grave et connu lié à la prise de Metformine. Ce risque est majoré entre autres en cas de fonction rénale dégradée, de sepsis ou de maladie cardio-respiratoire.

La Metformine possède des propriétés cardioprotectrices et une capacité à induire une perte de poids chez les patients obèses.

Les doses varient de 500 milligrammes à 1000 milligrammes avec une posologie variant d'un à trois comprimés par jour en trois prises.

Il s'agit du traitement recommandé en première intention chez un patient nouvellement diagnostiqué d'un DT2 et chez qui les modifications du mode de vie n'ont pas suffi à équilibrer le diabète. Il est prescrit en monothérapie en absence de signes cliniques, d'hyperglycémie sévère ou autre situations particulières.

En cas de Contre-Indication (CI) ou d'intolérance à la Metformine chez les sujets présentant une néphropathie diabétique, une insuffisance cardiaque chronique, une maladie cardiovasculaire artérioscléreuse établie ou les sujets à haut risque cardio-vasculaire, il est recommandé de prescrire un inhibiteur du cotransporteur Sodium-Glucose de type 2.

Les médicaments disposants d'une Autorisation de Mise sur le Marché (AMM) en monothérapie en cas de CI à la Metformine sont les iSGLT2, les analogues du *Glucagon-Like Peptide-1* et les inhibiteurs de la *Dipeptidyl Peptidase-4*.

⁵⁶ Foretz M, Guigas B, Viollet B. Recent advances on elucidating the mechanism of metformin action in type 2 diabetes. Elsevier [en ligne]. 2021 Novembre 25 [consulté le 19 novembre 2024] ; 15 (7) : page 648-660. Disponible : [Données récentes sur le mécanisme d'action de la metformine dans le diabète de type 2 - ScienceDirect](#)

1.9.2.1.2 Inhibiteur du cotransporteur Sodium-Glucose de type 2

Les molécules actuellement présentes sur le marché international sont la **Dapagliflozine**, l'**Empagliflozine** et la **Canagliflozine**. Elles sont administrées par voie orale à raison d'une prise journalière.

Les iSGLT2 ou gliflozines sont des inhibiteurs très puissants, sélectifs et réversibles du transporteur sodium/glucose de type 2, exprimé exclusivement dans le rein. Ce transporteur est chargé de réabsorber le glucose du filtrat glomérulaire vers la circulation sanguine. Son inhibition permet de réduire la réabsorption rénale du glucose et de favoriser son excrétion urinaire, ce qui *in fine* améliore la glycémie à jeun et postprandiale⁵⁷.

Les iSGLT2 possèdent un effet cardioprotecteur et néphroprotecteur, ainsi, ils ont apporté un bénéfice dans la prévention d'évènements cardiovasculaires, la prévention d'hospitalisation pour insuffisance cardiaque et la prévention de l'Insuffisance Rénale Terminale (IRT) chez les sujets concernés. Il est recommandé de proposer un traitement par iSGLT2 en monothérapie ou en association à la Metformine en cas d'antécédent de maladie cardiovasculaire ou d'insuffisance rénale chronique. La Dapagliflozine et l'Empagliflozine sont également indiqués dans l'insuffisance cardiaque⁵⁸.

Parmi les effets indésirables, on retrouve les infections urinaires et des infections génitales en raison de la présence augmentée de glucose dans les urines.

1.9.2.1.3 Analogue du Glucagon-Like Peptide-1

Les molécules actuellement présentes sur le marché international sont le **Sémaglutide**, le **Dulaglutide**, l'**Exénatide** et le **Liraglutide**. Elles sont administrées par voie sous-cutanée dans la cuisse, l'abdomen ou le haut du bras.

Le *Glucagon-Like Peptide-1* est une hormone physiologique qui augmente la sécrétion glucose-dépendante de l'insuline, inhibe la sécrétion de glucagon et réduit l'appétit et la prise alimentaire. Les analogues du GLP1 agissent comme agonistes des récepteurs du GLP1 et ont les mêmes propriétés que le GLP1 physiologique⁵⁹. Les aGLP1 ont également des propriétés cardioprotectrices et néphroprotectrices. Ils sont indiqués en monothérapie ou en association à la Metformine en cas d'antécédent de maladie cardiovasculaire⁶⁰.

⁵⁷ VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Dapagliflozine : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)

⁵⁸ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [strategie_therapeutique_du_patient_vivant_avec_un_diabete_de_type_2_-_recommandations.pdf](#)

⁵⁹ VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2019 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Sémaglutide : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)

⁶⁰ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [strategie_therapeutique_du_patient_vivant_avec_un_diabete_de_type_2_-_recommandations.pdf](#)

1.9.2.1.4 Inhibiteurs DPP4

Les molécules présentes sur le marché international sont la **Sitagliptine**, la **Vidagliptine** et la **Saxagliptine**. Elles s'administrent par voie orale à raison d'une à deux prises par jour.

La *Dipeptidyl Peptidase-4* est une enzyme responsable de la dégradation des incrétines : le GLP1 et le *Glucose-dependent Insulinotropic Polypeptide (GIP)*. Physiologiquement, ces enzymes augmentent l'insulinosécrétion glucose-dépendante, réduisent la sécrétion de glucagon, sont satiétogènes et elles sont métabolisées par la *Dipeptidyl Peptidase-4*. Les iDPP4 ou gliptines, empêchent la dégradation des incrétines et augmentent leur demi-vie ainsi que leur durée d'action⁶¹.

Les iDPP4 sont indiqués en monothérapie ou en association à la Metformine dans la prise en charge du Diabète de Type 2.

1.9.2.1.5 Sulfonylurées

Les molécules présentes sur le marché international sont le **Glipizide**, le **Gliclazide**, le **Glibenclamide**, le **Glimépiride** ou le **Gliquidone**. Elles sont administrées par voie orale à raison d'une à trois prises par jour en fonction des molécules.

Les sulfonylurées ou sulfamides hypoglycémiants, diminuent la glycémie de façon aiguë en stimulant la sécrétion d'insuline par les cellules bêta des îlots de Langerhans. La libération d'insuline n'étant pas glucose-dépendante, les sulfonylurées augmentent la sécrétion d'insuline même lorsque la glycémie est basse. Ce phénomène est à l'origine d'un risque d'hypoglycémie sévère⁶².

Il n'est pas recommandé de prescrire des sulfamides hypoglycémiants en monothérapie en raison des risques d'hypoglycémies sévères et de l'existence de molécules ayant démontré des effets bénéfiques sur les complications cardiovasculaires et rénales. Ils peuvent être prescrits en bithérapie en association à la Metformine⁶³.

⁶¹ VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Sitagliptine : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)

⁶² VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Glipizide : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)

⁶³ Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [strategie therapeutique du patient vivant avec un diabete de type 2 - recommandations.pdf](#)

1.9.2.1.6 Répaglinide

Le **Répaglinide** est le seul représentant de la famille des glinides. Il agit de façon semblable aux sulfonylurées, c'est-à-dire en abaissant fortement la glycémie via la stimulation de la sécrétion d'insuline par le pancréas. Il s'administre par voie orale en deux à quatre prises quotidiennes. Il est également responsable d'hypoglycémies sévères car la sécrétion d'insuline n'est pas glucose-dépendante⁶⁴.

1.9.2.1.7 Inhibiteurs des alpha-glucosidases

Parmi les inhibiteurs des alpha-glucosidases intestinales, on retrouve l'**Acarbose**, le **Miglitol** et le **Voglibose**. Ils sont administrés par voie orale, en trois prises par jour.

Ils agissent par inhibition compétitive des alpha-glucosidases intestinales et diminuent ainsi la dégradation des carbohydrates en monosaccharides absorbables, ce qui permet une diminution de l'hyperglycémie postprandiale sans stimulation de l'insulinosécrétion pancréatique⁶⁵.

1.9.2.1.8 Insulines

Dans la prise en charge du DT2, l'insuline est prescrite en dernière intention et en trithérapie avec d'autres antidiabétiques. L'insuline à usage thérapeutique est injectée par voie sous-cutané dans la cuisse, l'abdomen, le bras ou le haut de la fesse. Il est important de varier les sites d'injection afin d'éviter les phénomènes de lipodystrophie. L'insuline peut également être administrée en continu par perfusion intraveineuse. Différents types de conditionnements existent comme les stylos préremplis jetables, les stylos rechargeables et les fioles pour injections par seringues.

Il existe quatre types d'insulines différents⁶⁶ :

- **Analogues de l'insuline d'action lente** (insuline Glargine, insuline Degludec ou insuline Détémir) : elles agissent deux heures après l'injection et possèdent une durée d'action jusqu'à 30 heures. Elles sont administrées une à deux fois par jour. Elles permettent de reproduire la sécrétion basale d'insuline et ont une action constante tout au long de la journée.

⁶⁴ VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Répaglinide : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)

⁶⁵ VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 23 novembre 2024]. Disponible : [Acarbose : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)

⁶⁶ Hôpitaux Universitaires de Genève. Les insulines [en ligne]. Genève : HUG ; 2016 [consulté le 23 novembre 2024]. Disponible : [insulines](#)

- **Insuline d'action intermédiaire** (ou Isophane ou *NPH* pour *Neutral Protamine Hagedorn*) : elles agissent en une à deux heures et possèdent un pic d'action 4 à 8 heures après l'injection. Leur durée d'action est comprise entre 14 et 24 heures. Elles sont administrées une à deux fois par jour, fournissent une couverture basale partielle et sont souvent combinées avec des insulines rapides ou ultrarapides.
- **Insuline d'action rapide** : elles agissent en 30 à 45 minutes et leur pic d'action est situé dans les 2 à 3 heures après l'injection. Leur durée d'action est de 7 à 9 heures et elles s'administrent environ 20 minutes avant chaque repas. Elles servent à contrôler la glycémie postprandiale.
- **Analogues de l'insuline d'action ultrarapide** (insuline Lispro, insuline Asparte ou insuline Glulisine) : elles agissent en 10 à 20 minutes et leur pic d'action est 1 à 2 heures après l'injection. Leur durée d'action est de 3 à 5 heures et elles s'administrent juste avant chaque repas. Elles agissent rapidement et permettent de couvrir les pics de glycémie postprandiale.

L'insulinothérapie est débutée avec une insuline d'action lente afin de couvrir les besoins journaliers. Si cela ne suffit pas à stabiliser la glycémie chez le patient atteint d'un DT2, une intensification de l'insulinothérapie pourra être envisagée avec des insulines d'actions rapides afin de contrôler les pics glycémiques postprandiaux.

La posologie d'insuline dépend de chaque individu et est déterminée en fonction des besoins du patient. Le schéma est personnalisé pour chaque patient, en fonction de son profil glycémique, de son mode de vie et de ses préférences.

2 Intelligence artificielle

2.1 Généralités

2.1.1 Définitions

L'Intelligence Artificielle (IA) regroupe un ensemble de théories et de techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine⁶⁷. Ce concept de « machines à penser » voit le jour dans les années 1950, le but étant de reproduire au mieux, à l'aide de machines, des activités mentales, qu'elles soient de l'ordre de la perception, de la compréhension ou de la décision. On distingue l'informatique, qui traite, trie et stocke des données et leurs algorithmes, de l'IA, qui fait appel à des disciplines telles que les statistiques, la neurobiologie computationnelle ou l'algèbre linéaire. Un des principaux objectifs de l'IA est de résoudre des problèmes à complexité logique ou algorithmique importante.

Les domaines d'applications de l'IA sont très nombreux et comprennent les moteurs de recherche, l'aide au diagnostic médical, les systèmes de recommandation, les voitures autonomes, la compréhension du langage naturel, les outils de génération d'images...

L'IA englobe l'apprentissage automatique (ou *Machine Learning*), qui lui-même englobe l'apprentissage profond (ou *Deep Learning*) (Figure 15).

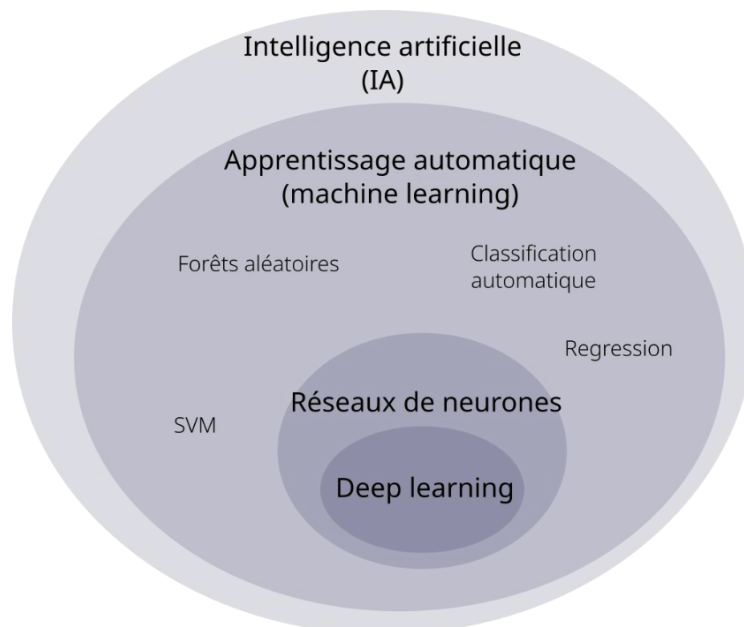


Figure 15 : Diagramme de Venn montrant comment s'imbriquent les notions d'IA, d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond

⁶⁷ Dictionnaire Larousse. Encyclopédie : intelligence artificielle [en ligne]. Paris : Larousse ; 2024 [consulté le 29 novembre 2024]. Disponible : [intelligence artificielle - LAROUSSE](https://www.larousse.fr/dictionnaires/fr/fran/intelligence-artificielle)

2.1.1.1 Machine Learning

L'apprentissage automatique ou *Machine Learning (ML)* est un champ d'étude de l'IA qui vise à donner aux machines la capacité d'apprendre à partir de données, via des modèles mathématiques. Cela permet une amélioration des performances à résoudre des tâches sans être explicitement programmé pour chacune.

Le *ML* comporte une phase d'apprentissage suivie d'une phase de mise en production. Durant la phase d'apprentissage, l'algorithme va estimer un modèle à partir de données appelées observations, disponibles en nombre fini, afin d'obtenir la conception du système. L'objectif de l'estimation du modèle est de résoudre une tâche pratique, comme la traduction d'un discours ou la reconnaissance d'un objet particulier dans une photographie. On passe ensuite à la phase de mise en production qui consiste à soumettre de nouvelles données afin d'obtenir le résultat correspondant à la tâche souhaitée. Certains systèmes disposant d'un retour sur la qualité des résultats produits peuvent continuer d'apprendre pendant la phase de production : il s'agit de l'apprentissage en continu (ou apprentissage en ligne).

2.1.1.2 Deep Learning

L'apprentissage profond ou *Deep Learning (DL)* est un domaine de l'IA, plus précisément un type particulier d'algorithme de *Machine Learning*, qui utilise un réseau neuronal artificiel. Ce Réseau de Neurones Artificiels (RNA) correspond à une structure organisée composée de neurones interconnectés organisés en couches, conçue pour résoudre des problèmes complexes⁶⁸.

Un RNA se compose généralement d'une série de couches successives, où chaque couche reçoit en entrée, les sorties de la couche précédente. Une couche est constituée de neurones qui tirent leurs entrées des neurones de la couche précédente. Il s'agit d'un système non linéaire interconnecté qui reçoit des signaux de l'extérieur par l'intermédiaire de ses entrées, et qui transmet les signaux à la sortie.

La Figure 16 représente un RNA, composé d'une couche d'entrée qui est responsable de la consommation d'informations du monde extérieur, de deux couches cachées qui traitent ces informations et d'une couche de sortie qui renverra le résultat traité au monde extérieur.

⁶⁸ Commission nationale de l'informatique et des libertés. *Artificial neural network* [en ligne]. Paris : CNIL ; 2024 [consulté le 30 novembre 2024]. Disponible : [Réseau de neurones artificiels \(artificial neural network\) | CNIL](#)

L'information est traitée par des neurones et les signaux transportant l'information circulent d'un neurone à un autre à travers des liens de communication. Chaque lien est associé à un poids W qui module l'intensité du signal (correspondant aux coefficients synaptiques).

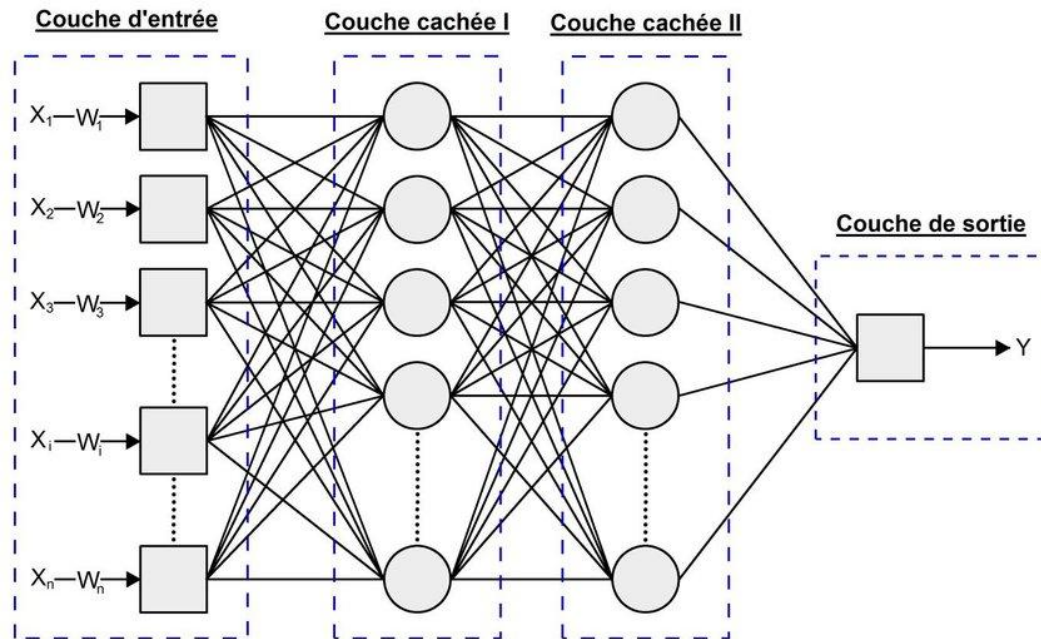


Figure 16 : Structure d'un Réseau de Neurones Artificiels multicouches⁶⁹

Le RNA est inspiré des réseaux de neurones biologiques, c'est-à-dire qu'un neurone biologique somme ses entrées, compare la somme résultante à une valeur seuil. Si cette valeur seuil est atteinte, le neurone répond en émettant un signal. A l'image d'un réseau de neurones biologiques, l'évolution du réseau en fonction de ses informations d'entrée est définie par les coefficients synaptiques, le seuil de chaque neurone et la façon de les ajuster. Il est important d'obtenir un mécanisme capable de calculer les informations et de les faire converger, lorsque c'est possible, vers une valeur assurant une classification aussi proche que possible de l'optimal. Cette étape consiste à identifier les coefficients synaptiques optimaux pour classer efficacement les exemples fournis et correspond à la phase d'apprentissage du réseau.

Les champs d'application du *Deep Learning* sont principalement la vision par ordinateur (reconnaissance de formes), le traitement automatique du langage naturel, la bio-informatique, la reconnaissance automatique de la parole et la reconnaissance audio.

⁶⁹ Bouguerra H. Quantification et modélisation des transports solides [en ligne]. 96 f. Thèse de doctorat : Technologie : Tlemcen : 2018 [consulté le 30 novembre 2024]. Disponible : [Doc.Hyd.BOUGUERRA-Hamza.pdf](https://doc.hyd.bouguerra-hamza.pdf)

Par exemple, un RNA est capable de reconnaître un animal à partir d'une image : les couches initiales du réseau détectent des motifs simples tels que des contours, tandis que les couches suivantes reconnaissent des motifs de complexité croissante (Figure 17).

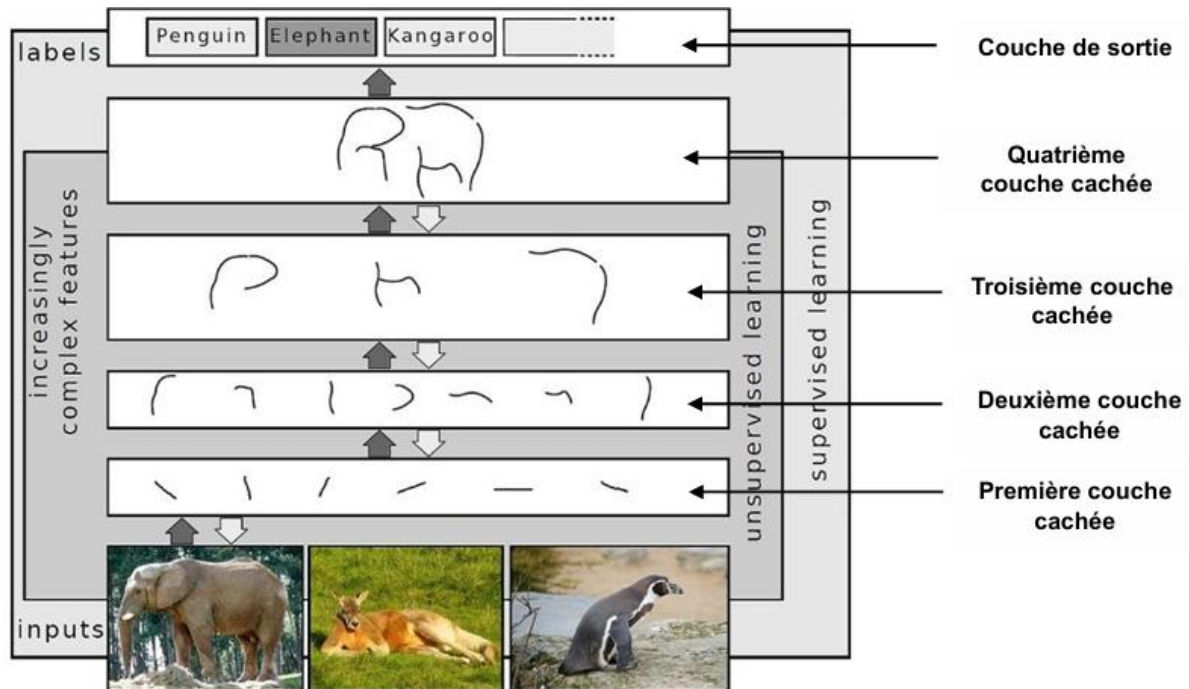


Figure 17 : Réseau de neurones artificiels identifiant un animal à partir d'une image⁷⁰

La couche d'entrée prendra des petits segments de la photo de l'animal et passera à la première couche cachée qui essaiera de trouver des formes de bases dans chaque segment. Les informations obtenues seront ensuite transmises à la deuxième couche cachée qui combinera certaines de ces lignes en forme géométrique de bases. La troisième couche cachée créera des formes plus complexes et la quatrième couche cachée combinera toutes ces formes créées en amont et obtiendra le contour d'un animal. Enfin, la couche de sortie donnera le type d'animal qu'elle a reconnu à partir de la forme.

⁷⁰ Karapetyan S. L'apprentissage automatique pour les chefs de produit [en ligne]. Neuilly-sur-Marne : The Product Manager ; 2024 [consulté le 1 décembre 2024]. Disponible : [L'apprentissage automatique pour les chefs de produit : un cours intensif sur les robots pour les humains - The Product Manager](#)

2.1.2 Coûts et dépenses mondiales de l'IA

En 2023, le marché de l'IA représentait 241 milliards de dollars et pourrait atteindre 511 milliards de dollars d'ici 2027⁷¹. Les Etats-Unis ont investi près de 336 milliards de dollars dans l'IA entre 2013 et 2023, ce qui en fait le premier investisseur mondial sur le sujet. Sur cette même période, la France a investi 8,31 milliards de dollars et jusqu'à 40% des entreprises françaises créent ou utilisent l'IA (contre 59% des entreprises en Amérique du Nord) (Figure 18).

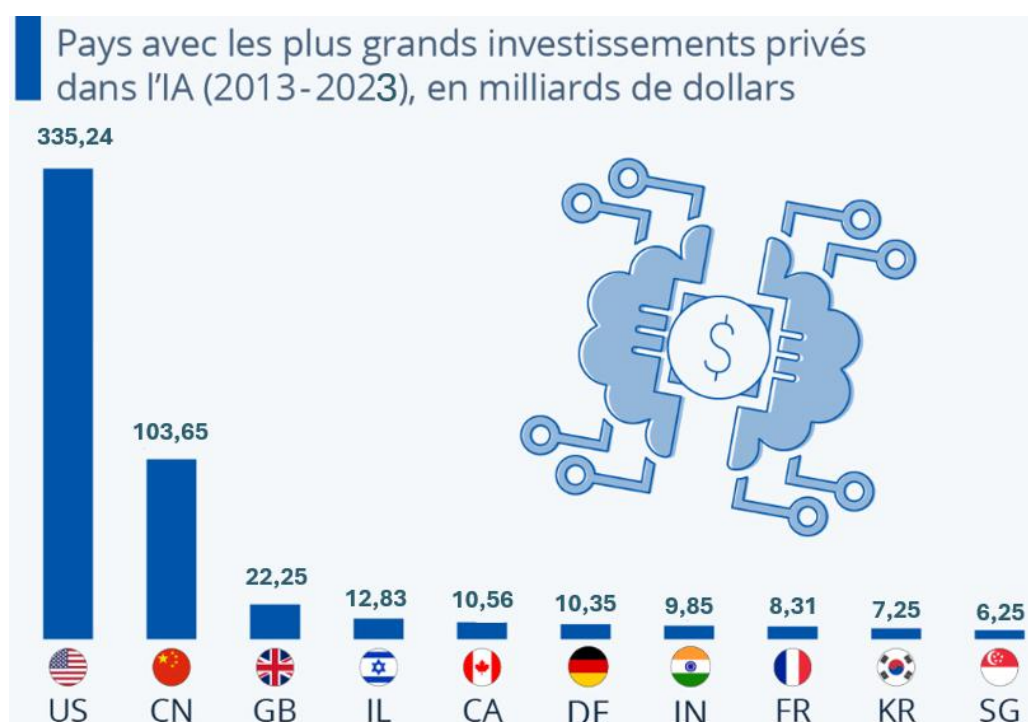


Figure 18 : Investissements dans l'IA en fonction des pays⁷²

L'utilisation de l'IA dans les entreprises permet de réduire les coûts de production et d'exploitation et d'optimiser le retour sur investissement, ce qui permet de rediriger les forces vives au bon endroit.

Les usages de l'IA en entreprise par secteur sont :

- Le service client (60,7%) afin d'accélérer le traitement des requêtes et de proposer une expérience personnalisée pour les clients,
- L'automatisation des ventes (12,2%),
- L'optimisation des systèmes informatiques (8,4%).

⁷¹ Sternchuss A. Les chiffres 2023-2024 du marché de l'IA dans le monde [en ligne]. Paris : Le Hub ; 2024 [consulté le 01 décembre 2024]. Disponible : [Les chiffres 2023-2024 du marché de l'IA dans le monde - Bpifrance Le Hub](#)

⁷² Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Index Report 2024 [en ligne]. Avril 2024 [consulté le 16 janvier 2025]. Disponible : [HAI AI-Index-Report-2024.pdf](#)

2.2 Histoire de l'Intelligence Artificielle

Alan Turing, mathématicien et cryptologue britannique, est considéré comme le pionnier de l'IA. En 1950, il publie l'article « *Computing Machinery and Intelligence* » dans lequel il propose une expérience visant à établir un critère permettant de déterminer si une machine peut être considérée comme « consciente ». Cette expérience aussi appelée « **Test de Turing** » consiste à placer un humain dans une interaction verbale à l'aveugle avec un ordinateur et un autre humain. Si l'interlocuteur ne parvient pas à distinguer lequel des deux est la machine, on considère que le programme informatique a réussi le test⁷³.

En 1956, John McCarthy et Marvin Minsky organisent le *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*⁷⁴. Il s'agit d'un atelier scientifique réunissant une vingtaine de chercheurs durant lequel le terme « Intelligence Artificielle » est retenu comme intitulé du domaine. Lors de cette conférence, Allen Newell et Herbert Simon présentent le programme « **Logic Theorist** » capable de démontrer des théorèmes mathématiques et John McCarthy présente le principe d'**élagage alpha-bêta**, un algorithme d'évaluation jouant un rôle majeur dans la programmation en IA et plus précisément utilisé dans des programmes d'échecs. Frank Rosenblatt, psychologue américain, invente en 1957 le **perceptron**⁷⁵, considéré comme le premier Réseau de Neurones Artificiels évolutifs, c'est-à-dire capable d'apprentissage. Perceptron est un algorithme d'apprentissage supervisé qui avait pour but de reconnaître des lettres de l'alphabet avec des cellules photo-électriques comme capteur, il s'agit du précurseur du *Machine Learning*.

ELIZA est un agent conversationnel (programme informatique d'IA conçu pour discuter avec l'utilisateur) qui voit le jour en 1966 grâce à Joseph Weizenbaum, informaticien germano-américain⁷⁶. ELIZA a été conçu pour remplacer un psychothérapeute pendant des entretiens thérapeutiques. Il réussit le test de Turing durant quelques minutes, c'est-à-dire qu'il parvient à tromper certains humains avec des schémas logiques extrêmement simples.

⁷³ Wikipédia. Test de Turing [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 07 janvier 2025]. Disponible : [Test de Turing — Wikipédia](#)

⁷⁴ Wikipédia. Conférence de Dartmouth [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 07 janvier 2025]. Disponible : [Conférence de Dartmouth — Wikipédia](#)

⁷⁵ Wikipédia. Perceptron [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [Perceptron — Wikipédia](#)

⁷⁶ Wikipédia. ELIZA [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [ELIZA — Wikipédia](#)

L'Intelligence Artificielle rencontre une crise à la fin des années 1960, communément appelée « hiver de l'IA », au cours de laquelle les financements et l'intérêt pour l'IA diminuent⁷⁷. La recherche dans le domaine s'effondre à la suite d'une désillusion scientifique et des questions éthiques préoccupantes.

A partir des années 1980, les recherches et investissements sur l'IA reprennent et les systèmes experts émergent. Un **système expert** est un outil conçu pour imiter les processus de réflexion et de prise de décision d'un spécialiste dans un domaine spécifique⁷⁸. Afin de résoudre un problème, il s'appuie sur une base de connaissance comprenant la **base de règles** (description des règles à suivre pour résoudre le problème) et la **base de faits** (identifications des connaissances relatives à la résolution du problème) ainsi qu'un **moteur d'inférence** (algorithme de simulation des raisonnements déductifs). Après un enchaînement de déductions et de conclusions, le système parvient à solutionner le problème (Figure 19).

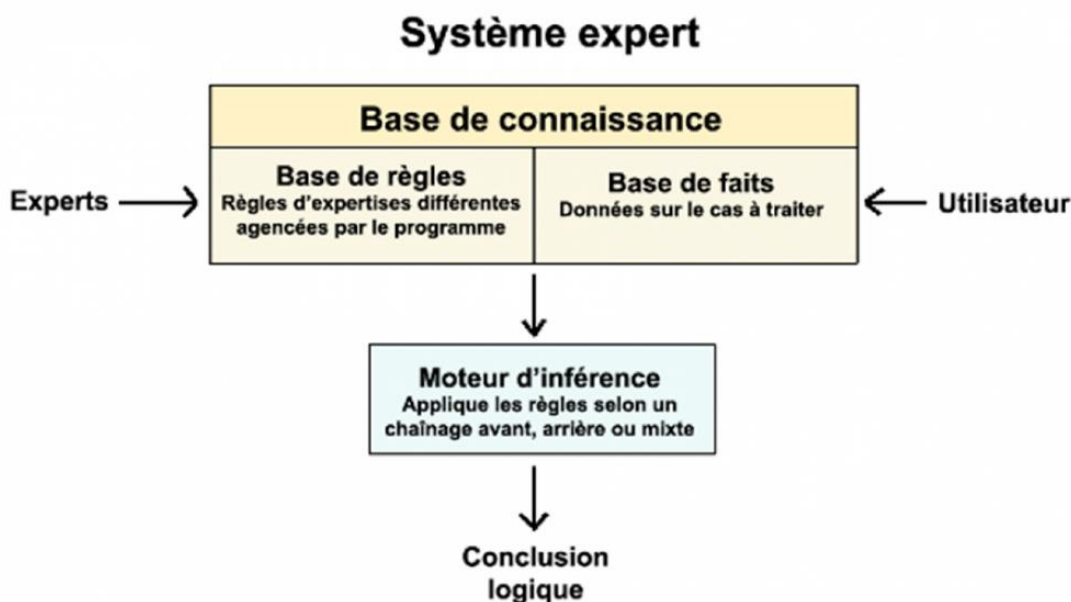


Figure 19 : Fonctionnement d'un système expert⁷⁹

L'efficacité démontrée des systèmes experts stimule la croissance des ventes de produits qui en sont équipés. Parallèlement, l'IA se démocratise et fait son entrée dans de grandes entreprises telles que *General Motors* et *Boeing*.

⁷⁷ Crochet-Damais A. AI winter : qu'est-ce que l'hiver de l'IA ? [en ligne]. Paris : Journal du net ; 2022 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [AI winter : qu'est-ce que l'hiver de l'IA ?](#)

⁷⁸ L'intelligence artificielle. Progression fulgurante de l'IA (1980 à aujourd'hui) [en ligne]. France : L'intelligence artificielle ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [Progression fulgurante de l'IA \(1980 à aujourd'hui\) - Intelligence artificielle](#)

⁷⁹ L'intelligence artificielle. Progression fulgurante de l'IA (1980 à aujourd'hui) [en ligne]. France : L'intelligence artificielle ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [Progression fulgurante de l'IA \(1980 à aujourd'hui\) - Intelligence artificielle](#)

Au début des années 1990, l'entreprise *International Business Machines corporation (IBM)* développe **Deep Blue**, un superordinateur spécialisé dans le jeu d'échecs⁸⁰. Il est capable d'évaluer 200 millions de positions par seconde grâce à un grand nombre de processeurs aptes à effectuer un ensemble de calculs coordonnés simultanément. Ces processeurs utilisent l'algorithme d'élagage alpha-bêta. En mai 1997, Deep Blue remporte un match d'échecs face à Garry Kasparov (champion du monde d'échecs entre 1985 et 2000).

La fin des années 1990 marque l'essor du *Deep Learning*, notamment grâce aux travaux du chercheur franco-américain Yann Le Cun⁸¹. Il conçoit la technique des **réseaux convolutifs** : il s'agit de réseaux de neurones artificiels acycliques dont les connexions entre les neurones s'inspirent de la structure du cortex visuel des animaux. Cette technique est utilisée dans la reconnaissance d'images et rapidement mise en application par les banques pour la lecture optique de chèques afin de détecter les fraudes.

En 2011, **Watson**, un programme informatique d'IA développé par *IBM* ayant pour objectif de répondre à des questions formulées en langage naturel (c'est-à-dire une langue parlée par l'être humain, en opposition au langage formel comme le langage informatique) remporte le jeu télévisé américain *Jeopardy!*. *Watson* pouvait atteindre une puissance de calcul de 80 000 milliards d'opérations par seconde.

L'entreprise *DeepMind Technologies*, appartenant à Google, développe à partir des années 2010 le programme informatique **AlphaGo**⁸² capable de jouer au jeu de go. Il est bien plus difficile de programmer un joueur de go qu'un joueur d'échecs en raison d'un bien plus grand nombre de combinaisons possibles, de condition de victoire et d'objectifs intermédiaires beaucoup moins clairs. AlphaGo a d'abord été formé en imitant les joueurs humains, en analysant les coups enregistrés dans des dizaines de milliers de parties jouées par des experts. Une fois ce niveau initial atteint, il s'est perfectionné en disputant des millions de parties contre d'autres versions de lui-même, en utilisant l'apprentissage par renforcement pour progresser. Les premières versions d'AlphaGo s'appuient sur la méthode « Monte-Carlo » (méthode algorithmique visant à calculer une valeur numérique approchée en utilisant des techniques probabilistes), combiné à un « value network » (réseau de valeur) et un « policy network » (réseau de stratégies), tous deux basés sur des **réseaux de neurones profonds**.

⁸⁰ Wikipédia. Deep Blue [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 10 janvier 2025]. Disponible : [Deep Blue — Wikipédia](#)

⁸¹ Wikipédia. Yann Le Cun [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 10 janvier 2025]. Disponible : [Yann Le Cun — Wikipédia](#)

⁸² Wikipédia. AlphaGo [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [AlphaGo — Wikipédia](#)

En 2015, le champion européen de go, Fan Hui, perd un match face à AlphaGo et en 2016, Lee Sedol, considéré comme le meilleur joueur mondial entre 2000 et 2010, est également battu. Après avoir vaincu les meilleurs joueurs du monde, Google annonce en 2017 qu'AlphaGo ne jouera plus en compétition. D'autres versions plus performantes d'AlphaGo verront le jour en 2017 comme **AlphaGo Zero** et **AlphaZero**.

En 2017, 80% des plus grosses entreprises du monde avaient déjà investi dans l'IA : Google, Apple, Facebook, Amazon...

OpenAI est une entreprise américaine spécialisée en IA et fondée en 2015 à San Francisco. Sa mission est de concevoir et de promouvoir une IA générale qui soit « sûre et bénéfique pour l'ensemble de l'humanité ». En 2022, *OpenAI* développe la première version de **Chat GPT**⁸³, un agent conversationnel utilisant des grands modèles de langages appelés **transformeurs génératifs pré-entraînés** (*GPT : Generative Pre-trained Transformer*) pour générer du texte.

Un *GPT*⁸⁴ est un modèle d'IA conçu pour comprendre et générer du texte. Il est d'abord entraîné sur une grande quantité de textes provenant de diverses sources (livres, articles, sites web...) et apprend les structures du langage afin de prédire le mot suivant dans une phrase donnée : c'est la **phase de pré-entraînement**. Ensuite, si cela est nécessaire, le modèle est affiné sur des tâches spécifiques comme répondre à des questions ou traduire du texte : il s'agit de la **phase d'ajustement** ou *fine-tuning*. Après avoir été formé, le *GPT* analyse les mots et leur contexte lorsqu'on lui donne une phrase ou une question, c'est l'**analyse contextuelle**. Une fois le contexte compris, il va prédire le mot suivant en se basant sur ce qu'il a appris. Les mots les plus probables sont choisis afin de former une réponse logique ou cohérente (Figure 20).

Concrètement, un *GPT* prend en entrée une partie de phrase ou de texte appelé **prompt** et va essayer de produire en sortie un **mot** qui puisse être une suite possible en fonction de ce qu'il a appris lors de la phase d'entraînement. Le modèle ne cherche pas à prédire quelque chose de vrai car il n'a pas de notion de « vérité » et ne cherche pas forcément à reproduire un texte existant mais il cherche à produire une phrase plausible qui ne dépareille pas de ce qu'il a appris lors de son entraînement.

⁸³ Wikipédia. ChatGPT [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [ChatGPT — Wikipédia](#)

⁸⁴ Wikipédia. Transformeur génératif préentraîné [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [Transformeur génératif préentraîné — Wikipédia](#)

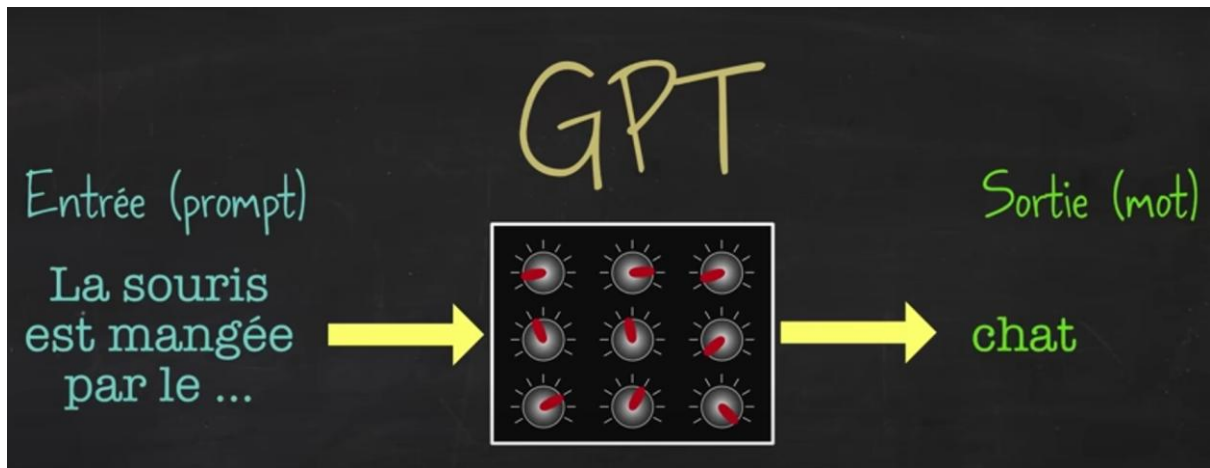


Figure 20 : Fonctionnement d'un *GPT*⁸⁵

Voici un exemple de fonctionnement d'un *GPT* :

Lors de la phase d'entraînement, une phrase est tirée d'un livre, d'un film ou d'un site internet et est coupée à n'importe quel endroit, puis est fournie au modèle afin qu'il s'entraîne à deviner le prochain mot. Ici, le *prompt* est le début de phrase suivant : « Vous savez, je ne crois pas qu'il y ait de » et *GPT* est censé trouver en sortie le mot « bonne » car c'est le mot le plus probable à la suite de ce *prompt* (Figure 21).

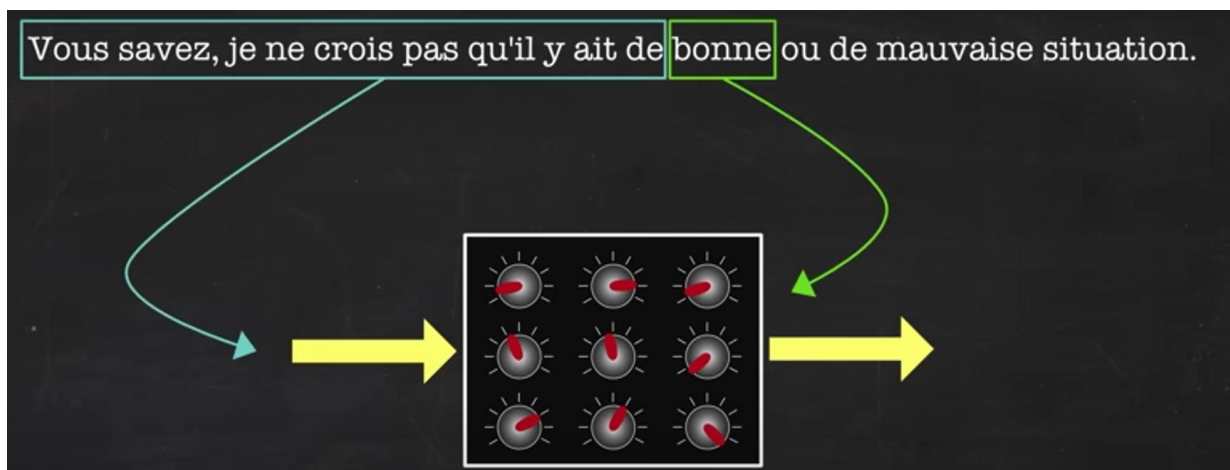


Figure 21 : Exemple de la phase d'entraînement d'un *GPT*

⁸⁵ Louapre D. Ce qui se cache derrière le fonctionnement de ChatGPT [en ligne]. Youtube : ScienceEtonnante ; 2023 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [Ce qui se cache derrière le fonctionnement de ChatGPT](#)

Lors de la phase d'utilisation, le modèle ne fournit pas un seul mot car il n'y a pas de « bonne réponse », seulement des réponses plus probables que d'autres. Il fournira une liste de mots envisageable avec des probabilités associées. Ici le *prompt* est le début de phrase suivant : « La souris est mangée par le » et le *GPT* donne une liste de mots envisageable avec des probabilités associées, « chat » étant le mot le plus probable (Figure 22).

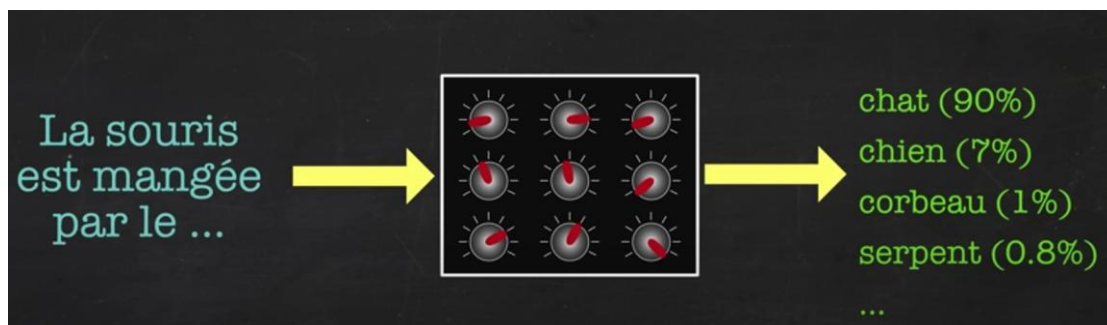


Figure 22 : Exemple de la phase d'utilisation d'un *GPT*

Afin d'entraîner ses grands modèles de langage, *OpenAI* utilise l'**apprentissage auto supervisé** qui commence par une étape de préapprentissage où le modèle est entraîné à prédire le *token* suivant. Un *token* est une séquence de caractères, comme un mot, une portion de mot ou de la ponctuation. En entraînant l'algorithme à prédire ce qui va suivre, il accumule des connaissances sur le monde. Le modèle peut ensuite être ajusté pour une tâche donnée, il s'agit de la phase d'**apprentissage supervisé**. On peut retrouver une étape d'**apprentissage par renforcement** qui permet de rendre le modèle plus véridique, utile et inoffensif. Ainsi, *ChatGPT* est entraîné en continu à partir de la façon dont les utilisateurs jugent les réponses.

En résumé, pour transformer un *GPT* en agent conversationnel comme *ChatGPT*, il faut une phase d'ajustement, une phase d'apprentissage par renforcement et un pré-prompt (qui permet de définir le contexte, les règles ou le comportement attendu du modèle afin de guider ses réponses).

En mars 2023, une lettre ouverte a été publiée par *Future of Life Institute (FLI)*, appelant à suspendre pour six mois le développement des systèmes d'IA plus puissant que *GPT-4*⁸⁶. Dans cette lettre, *FLI* met en avant les menaces pour la société et l'humanité que pourraient causer l'IA. Elle dénonce le manque de précautions et de certitude concernant l'impact de l'IA sur la civilisation. Le *FLI* souhaite que durant cette pause de 6 mois, les laboratoires codéveloppent et élaborent un ensemble de protocoles de sécurité pour la conception et le développement d'IA avancées.

⁸⁶ Future of Life institute. Pause Giant AI Experiments : An Open Letter [en ligne]. Belgique : FLI ; 2023 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [Pause Giant AI Experiments: An Open Letter - Future of Life Institute](#)

2.3 Intelligence Artificielle en santé

2.3.1 Débuts de l'IA en santé

En 1973, des chercheurs de l'université de Stanford créent un laboratoire dédié à l'IA en médecine et en 1975, le premier institut dédié à l'IA médicale voit le jour⁸⁷. En 1976, le projet « *Casnet model* » se développe. Il permet d'aider à détecter le glaucome grâce à un algorithme informatique. A la fin des années 1970, le système *Mycin* est développé et permet de choisir, en fonction du poids du patient, l'antibiotique adapté en fonction de la bactérie en cause dans la pathologie. Un autre algorithme développé en 1986, appelé *DXplain*, est capable de déterminer les différents diagnostics probables en utilisant une liste de symptômes imputés.

En 1990, la première revue spécialisée en Intelligence Artificielle dans le domaine de la santé : *Artificial Intelligence in Medicine* est lancée.

L'IA fait un bond énorme à partir des années 2000. En 2007, *International Business Machines corporation* met au moins le programme *Watson* capable d'utiliser le langage humain. Un centre de recherche de la faculté de médecine de l'université de Tokyo a utilisé *Watson* en 2016 afin de trouver la véritable cause d'un cas rare de leucémie : en **dix minutes**, *Watson* a trouvé la cause tandis que les médecins ont estimés qu'il leur aurait fallu **deux semaines** pour réaliser la même tâche, et que de ce fait, *Watson* a permis une prise en charge plus précoce du patient. Ce même programme a réussi, en 2017, à identifier cinq protéines de liaison à l'Acide RiboNucléique (ARN) qui sont altérées chez les patients atteints de sclérose latérale amyotrophique⁸⁸. *Watson Health* est vendu en 2022 à un fonds d'investissement à cause de difficultés commerciales et financières, un manque de rentabilité et des problèmes de précision et d'adoption du système dans les domaines de santé ciblés comme l'oncologie.

⁸⁷ Callier P, Sandel O. De l'intelligence artificielle à son application en médecine. Science direct [en ligne]. 2021 Décembre 4 [consulté le 2 décembre 2024] ; 60(611) :18-20. Disponible : [De l'intelligence artificielle à son application en médecine - ScienceDirect](#)

⁸⁸ Bakkar N. L'intelligence artificielle dans la recherche sur les maladies neurodégénératives : utilisation d'IBM Watson pour identifier d'autres protéines de liaison à l'ARN modifiées dans la sclérose latérale amyotrophique. Acta Neuropathologica [en ligne]. 2017 Novembre 13 [consulté le 16 janvier 2025] ; 135 : page 227-247. Disponible : [L'intelligence artificielle dans la recherche sur les maladies neurodégénératives : utilisation d'IBM Watson pour identifier d'autres protéines de liaison à l'ARN altérées dans la sclérose latérale amyotrophique | Acta Neuropathologica](#)

2.3.2 Coûts et investissements de l'IA en santé

En 2022, le domaine d'intérêt de l'IA ayant fait l'objet du plus grand investissement était le secteur médical et les soins de santé (Figure 23).

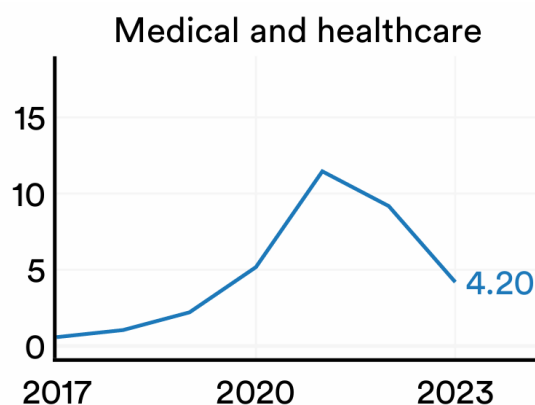


Figure 23 : Evolution de l'investissement mondial dans le domaine médical et de soins de santé (en milliards de dollars)⁸⁹

Les investissements mondiaux dans les domaines médicaux et de soins de santé ont augmentés progressivement à partir de 2017 jusqu'en 2022 puis ont fortement diminués entre 2022 et 2023, où 4,2 milliards de dollars ont été investis.

Selon un rapport publié en 2020 par *MedTech Europe*⁹⁰, relatant l'impact socio-économique de l'IA en santé, 400 000 vies pourraient être sauvées chaque année en Europe grâce à l'Intelligence Artificielle, 1,8 milliards d'heures de travail pourraient être libérées, ce qui équivaldrait à **500 000 professionnels de santé supplémentaire chaque jour de l'année**. De plus, 200 milliards d'euros pourraient être économisés chaque année, ce qui représente 12% des dépenses totales de santé en Europe en 2018.

En ce qui concerne la France, le plan d'investissement France 2030 piloté par le gouvernement français prévoit de mettre l'IA générative au service des professionnels de santé dans le but de leur faire gagner un temps médical précieux. Il s'agit du projet « PARTAGES », porté par une trentaine de partenaires incluant les laboratoires de recherches du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), de l'Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) ou de diverses universités, des établissements de santé et des entreprises *deep tech*. Ce projet est coordonné par le *Health Data Hub*.

⁸⁹ Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Index Report 2024 [en ligne]. Avril 2024 [consulté le 16 janvier 2025]. Disponible : [HAI AI-Index-Report-2024.pdf](https://hai.stanford.edu/reports/ai-index-report-2024)

⁹⁰ MedTech Europe, from diagnosis to cure. The socio-economic impact of AI in healthcare [en ligne]. 2020 Octobre [consulté le 16 janvier 2025]. Disponible : [mte-ai_impact-in-healthcare_oct2020_report.pdf](https://www.medtech-europe.eu/wp-content/uploads/2020/10/mte-ai_impact-in-healthcare_oct2020_report.pdf)

2.3.3 Ethique et protection des données

L'éthique est au cœur de la conception de l'Intelligence Artificielle et soulève des enjeux majeurs, allant de la protection des données personnelles à la responsabilité des décisions automatisées et rendant indispensable une réflexion approfondie sur l'équilibre entre innovation technologique et respect des valeurs humaines.

La HAS se base sur quatre principes identifiés par Childress et Beauchamp dans leur ouvrage publié en 1979, Les principes de l'éthique biomédicale. Ces principes sont utilisés en tant que référence permettant de classer les arguments qui organisent les débats éthiques⁹¹ :

- **La bienfaisance** : désigne la capacité d'une intervention en santé à améliorer le bien-être de la personne concernée. Ce principe s'applique non seulement à la personne directement visée par l'intervention, mais également à tous les autres acteurs susceptibles d'en être affectés, tels que les aidants familiaux.
- **La non-malfaisance** : obligation morale de ne pas causer de préjudice intentionnellement aux patients. Tout acte ou omission susceptible de causer un préjudice physique, psychologique ou social à une personne doit être évité.
- **Le respect de l'autonomie** : l'autonomie d'une personne désigne la capacité des individus à effectuer des choix sans être soumis à la volonté d'autrui. Le respect de l'autonomie d'un patient comprend le respect de la liberté de ses choix, de son consentement et de ses préférences.
- **La justice** : en santé, elle repose sur l'équité dans la répartition des ressources et des soins et vise à assurer à chacun un accès égalitaire aux services de prévention et de prise en charge, sans aucune forme de discrimination. Cela inclut également la lutte contre la fracture numérique, afin de ne pas accroître la vulnérabilité des personnes déjà fragilisées.

Ces principes, initialement décrits afin de garantir une éthique dans le domaine de santé, s'appliquent également à l'utilisation de l'Intelligence Artificielle en santé, celle-ci ne devant pas porter atteintes à ces principes.

⁹¹ Haute Autorité de Santé. Guide méthodologique : L'évaluation des aspects éthiques à la HAS [en ligne]. Paris : HAS ; 2013 [consulté le 2 décembre 2024]. Disponible : [Microsoft Word - Guide aspects éthiques apres relecture_12062013](#)

D'autres principes éthiques portent sur la crédibilité de l'IA en santé⁹² :

- **Transparence, explicabilité et intelligibilité** : afin de garantir la transparence de ces technologies, suffisamment d'informations doivent être publiées ou rassemblées de manière compréhensible, avant qu'une technologie de l'IA ne soit conçue ou mise en place. Les établissements de soins de santé et les organismes de santé publique doivent communiquer régulièrement des informations sur le processus de décision ayant conduit à l'adoption d'une technologie d'IA, ainsi que sur les évaluations périodiques de son utilisation, ses limites connues et son rôle dans la prise de décision.
- **Promouvoir une IA réactive et durable** : la réactivité implique que les concepteurs, développeurs et utilisateurs évaluent en continu, de façon rigoureuse et transparente une technologie d'IA, afin de s'assurer qu'elle répond de manière appropriée aux attentes définies dans son contexte d'utilisation. Lorsque la technologie d'IA se révèle inefficace ou source d'insatisfaction, la réactivité impose la mise en place d'un processus institutionnel pour y remédier, pouvant aller jusqu'à l'arrêt de son utilisation. Les technologies d'IA ne devraient être déployées que si leur intégration et leur maintenance dans le système de soins de santé sont entièrement garanties, afin de ne pas gaspiller des ressources maigres qui auraient pu être investies autrement. De plus, les systèmes d'IA devraient être conçus pour réduire leur empreinte écologique et améliorer leur efficacité énergétique, afin de s'aligner sur les efforts sociétaux visant à limiter l'impact humain sur l'environnement, les écosystèmes et le climat terrestre.
- **Favoriser la responsabilité et la responsabilisation** : il est nécessaire de définir de manière claire et transparente les tâches que les systèmes sont en mesure d'accomplir, ainsi que les conditions requises pour atteindre le niveau de performance attendu. De plus, des points de supervision humaine doivent être établis par des discussions entre les patients, les professionnels de santé et les concepteurs. Enfin, en cas de problème dans l'application d'une technologie d'Intelligence Artificielle, une attribution de la responsabilité est nécessaire afin d'identifier les rôles relatifs des utilisateurs cliniques et des fabricants dans le préjudice.

⁹² WHO. Résumé analytique : Éthique et gouvernance de l'intelligence artificielle pour la santé [en ligne]. Orientation de l'OMS. Genève : World Health Organisation ; 2021 [consulté le 2 décembre 2024]. Disponible : [9789240029200-eng.pdf](https://www.who.int/publications-detail/analytical-summary-ethics-and-governance-of-artificial-intelligence-for-health-orientation-of-the-who)

- **Collecte et utilisation des données** : les principales préoccupations concernant les données de santé sont la qualité de ces données et la protection de la vie privée des individus. Des données de haute qualité sont nécessaires afin d'améliorer la rapidité et la précision du diagnostic ainsi que la qualité des soins et la réduction de prise de décision subjective. L'utilisation des données de santé peut nuire à la vie privée des individus car il existe plusieurs risques : violation de la confidentialité en cas de faille de sécurité, utilisation abusive ou détournée des données, fuites et cyberattaques des bases de données médicales.

En définitive, dans le respect des lois et obligations en vigueur en matière de droits humains, ainsi que des nouvelles législations et politiques garantissant des principes éthiques, les gouvernements, les prestataires et les concepteurs doivent travailler ensemble pour intégrer les considérations éthiques et les droits humains à chaque étape de la conception, du développement et du déploiement des technologies basées sur l'Intelligence Artificielle.

2.4 Les applications de l'Intelligence Artificielle en médecine

L'IA révolutionne le domaine de la médecine en offrant des applications novatrices et diversifiées tout au long du parcours de soin. Que ce soit dans la prévention, le diagnostic, la prise en charge ou le suivi des patients, l'IA apporte des solutions adaptées et performantes. Ci-dessous, je présente certaines de ces solutions qui me semblent marquantes, sans être exhaustive.

2.4.1 Le dépistage

*Colive Voice*⁹³ est une étude internationale de santé numérique menée par le *Luxembourg Institute of Health*. Cette étude novatrice a pour objectif d'améliorer le diagnostic et le suivi des maladies chroniques, comme le diabète, le cancer et le COVID-19, en analysant les particularités de la voix. Les données vocales sont récoltées via une enquête sur l'application *Colive Voice*, ouverte aux personnes âgées de plus de 15 ans, quelle que soit leur condition physique (Figure 24).

⁹³ Luxembourg Institute of Health. Colive Voice [en ligne]. Luxembourg : LIH ; 2022 [consulté le 19 janvier 2025]. Disponible : [Accueil - Colive Voice](#)



Figure 24 : Fonctionnement de l'étude *Colive Voice*

En effet, certaines pathologies affectent la voix car les organes touchés sont impliqués dans la production du son. Un biomarqueur vocal désigne une caractéristique ou un ensemble de caractéristiques de la voix liées à une maladie ou à un symptôme.

L'objectif de l'étude *Colive Voice* est de créer une base de données vocales multilingue, afin d'identifier les biomarqueurs vocaux dans le but d'identifier et de traiter certaines maladies plus efficacement.

La première étape consiste à réaliser un enregistrement vocal pour traiter et analyser la voix et récolter des données. L'individu doit répondre à un questionnaire de santé et faire 5 enregistrements vocaux :

- Lire un texte,
- Inspirer et expirer 3 fois,
- Tousser 3 fois,
- Compter de 1 à 20,
- Dire « aaaaaa » aussi longtemps que possible en une seule respiration.

Lors de la deuxième étape, une extraction de milliers de caractéristiques audio à partir de l'enregistrement est réalisée ainsi qu'une conversion en spectrogramme.

Enfin, la troisième étape se résume à introduire des données dans des modèles d'IA afin de prédire si la personne présente un certain symptôme ou une pathologie.

Dans un article publié en août 2024⁹⁴ concernant un biomarqueur vocal numérique de l'état tabagique, des chercheurs se sont appuyés sur les données de l'étude *Colive Voice* et ont montré des différences dans la distribution des caractéristiques de la voix. Il a été observé que les caractéristiques vocales sont affectées par le tabagisme et les chercheurs ont mis au point un biomarqueur vocal numérique pouvant être utilisé dans la recherche clinique et épidémiologique afin d'évaluer le statut tabagique de manière rapide, évolutive et précise à

⁹⁴ Ayadi H, Elbéji A. Digital vocal biomarker of smoking status using ecological audio recordings : results from de Colive Voice study.. Karger [en ligne]. 2024 août 28 [consulté le 19 janvier 2025]; 8(1) : 159-170. Disponible : [Digital Vocal Biomarker of Smoking Status Using Ecological Audio Recordings: Results from the Colive Voice Study | Digital Biomarkers | Karger Publishers](#)

l'aide d'enregistrements audio. Il est vrai que l'information à propos de l'usage du tabac peut être communiquée par le patient via des formulaires utilisés par les médecins, mais les incohérences, les informations obsolètes et les données manquantes sont des problèmes qui doivent être surmontés, et qui peuvent l'être à l'aide de l'IA.

Dans un autre article publié en octobre 2024⁹⁵, toujours en s'appuyant sur les données de l'étude *Colive Voice*, un biomarqueur vocal numérique a été identifié afin de surveiller la qualité de vie respiratoire dans la population générale. Ce biomarqueur peut être utilisé comme outil pronostique pour les affections respiratoires chroniques telles que l'asthme ou la BronchoPneumopathie Chronique Obstructive (BPCO). Cette découverte permet de faciliter le dépistage rapide et représente une avancée vers le développement de solutions évolutives, faciliter à utiliser, non invasives et peu coûteuses pour la surveillance à distance de l'état de santé respiratoire.

2.4.2 Diagnostic médical

2.4.2.1 Radiologie

Environ 65 millions d'actes d'imagerie médicale (IRM, scanner, radiographie...) sont réalisés chaque année en France selon la Direction de la Recherche, des Etudes, de l'Evaluation et des Statistiques (DREES)⁹⁶. Ce volume colossal d'examen à analyser par les radiologues entraîne une surcharge de travail menant certains professionnels au *burn-out* et une augmentation inévitable des risques d'erreurs.

2.4.2.1.1 Cancer du sein

Le cancer du sein est le cancer le plus fréquent chez la femme et touche 1,8 millions de femmes par an, dans le monde. La mammographie est une technique d'imagerie médicale utilisant la radiographie et permettant de dépister des anomalies, en particulier un cancer.

Le dépistage du cancer du sein permet une prise en charge précoce, un gain de chance pour les patients et une réduction de la mortalité due au cancer. La combinaison d'une lecture assistée par l'IA et d'une lecture humaine par un radiologue améliore significativement la qualité du dépistage. Il a été montré que l'IA peut trier jusqu'à 63%⁹⁷ des examens et ainsi libérer du temps pour les radiologues afin de se concentrer sur des cas plus complexes.

⁹⁵ Despotovic V. Digital voice-based biomarker for monitoring respiratory quality of life : findings from the Colive Voice study. Elsevier [en ligne]. 2024 Octobre [consulté le 19 janvier 2025]; 96. Disponible : [Biomarqueur numérique basé sur la voix pour le suivi de la qualité de vie respiratoire : résultats de l'étude sur la voix de colive - ScienceDirect](#)

⁹⁶ BioSked. Analyse du paysage de la radiologie en France [en ligne]. Chavannes6de-Bogis : BioSked ; 2025 [consulté le 20 janvier 2025]. Disponible : [Analyse du paysage de la radiologie en France | Biosked](#)

⁹⁷ Groupement d'Achats en Imagerie Médicale. IA et dépistage du cancer du sein : un allié prometteur pour les radiologues [en ligne]. Paris : GAIM ; 2024 [consulté le 20 janvier 2025]. Disponible : [IA et le dépistage du cancer du sein: un allié prometteur - Le GAIM](#)

Ci-dessous (Figure 25 et Figure 26), deux exemples concrets de logiciels permettant d'analyser les imageries médicales afin d'orienter les radiologues.

- **Breast-Slim View (Hera-MI)** : *Breast-Slim View* est un logiciel d'aide à la décision utilisant des techniques de *Machine Learning*. Il crée des images supplémentaires en masquant les zones physiologiquement normales et en mettant en évidence les structures suspectes. Grâce à la création d'une image plus facilement lisible, le radiologue a la possibilité de se concentrer seulement sur les parties potentiellement cancéreuses (Figure 25).

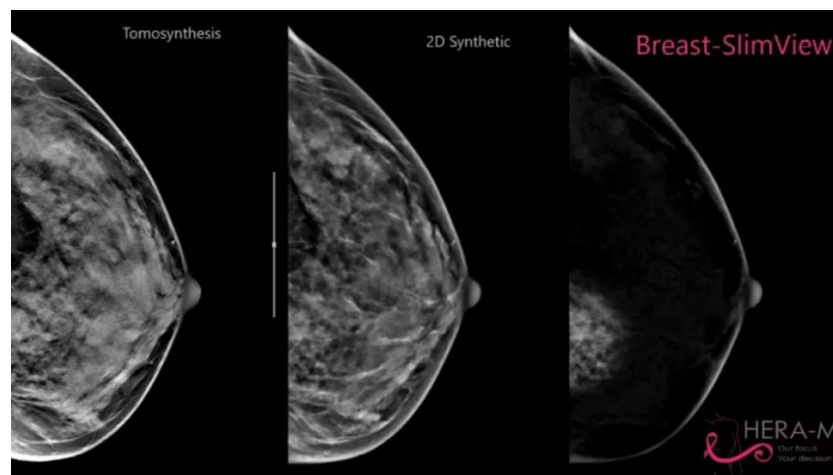


Figure 25 : Analyse d'une imagerie médicale de sein par *Breast-SlimView*

- **ProFoundAI (iCAD)** : *ProFoundAI* est un algorithme capable de détecter des lésions suspectes sur des imageries médicales. Il s'appuie sur une des plus grandes bases de données existantes, garantissant ainsi une haute précision. Un score de suspicion est attribué aux lésions, permettant aux radiologues de prioriser les cas et d'effectuer des examens complémentaires si nécessaire. Ce logiciel a permis, selon une étude clinique, d'augmenter le nombre de cancers détectés de 5,7%, de réduire les faux positifs de 6,9% et de réduire de 52,7% le temps de lecture (Figure 26).

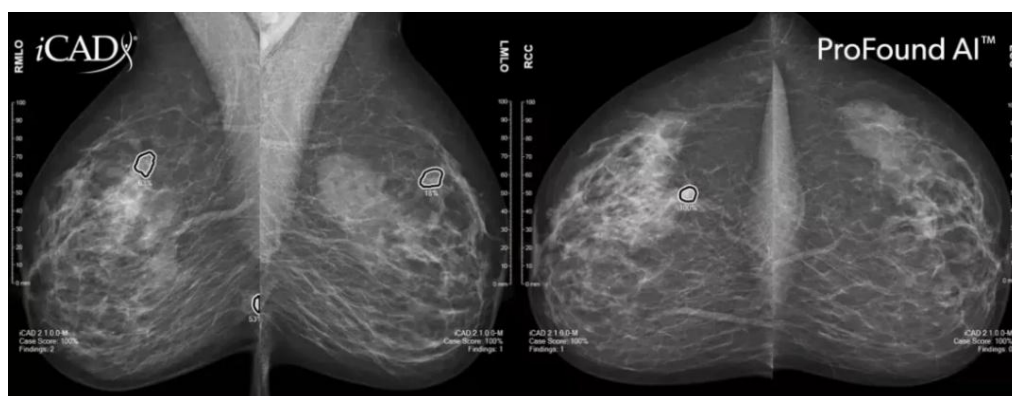


Figure 26 : Mise en évidence d'une lésion suspecte par *ProFoundAI*

D'autres outils d'assistance à la décision concernant la lecture d'imagerie dans le cadre du dépistage du cancer du sein existent, comme **Transpara** (*Incepto Medical*) qui détecte automatiquement les microcalcifications et les masses suspectes en attribuant un score de risque, ou **AsymMirai** qui prédit le risque de cancer du sein sur une période allant de 1 à 5 ans.

Il est important de rappeler que ces avancées assistent le radiologue et ne visent pas à remplacer l'humain.

2.4.2.1.2 Milvue

Milvue⁹⁸ est une start-up française utilisant l'IA afin de soulager la charge de travail des radiologues. Elle est à l'origine de la création du système **Milvue Suite**, contenant plusieurs modules d'analyse en fonction du domaine recherché : traumatologie et urgence (fractures osseuses, pneumothorax...), orthopédie, mammographie, pneumologie (dépistage BPCO, nodule pulmonaire, épanchement pleural...) et pédiatrie (anomalies osseuses et thoraciques chez les enfants). Concrètement, le logiciel annote des carrés sur les images, permettant de localiser précisément les anomalies détectées, puis produit automatiquement un pré-rapport d'analyse radiologique (Figure 27).

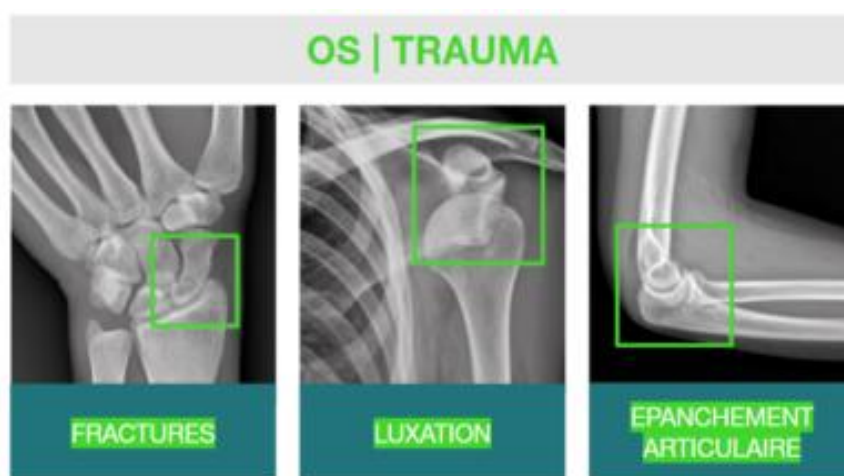


Figure 27 : Analyse d'images orthopédiques par Milvue Suite

Ce dispositif médical permet de diminuer le temps d'attente aux urgences, d'éviter les erreurs et d'améliorer la sensibilité de la lecture d'images radiologiques.

Il existe également une fonction permettant de rédiger des comptes rendus pathologiques : insertion automatique des résultats, édition du compte rendu et alerte en cas d'incohérence dans le compte rendu en suggérant de potentielles erreurs.

⁹⁸ Milvue. Nos solutions [en ligne]. Paris : Milvue ; 2025 [consulté le 20 janvier 2025]. Disponible : [Nos solutions d'imagerie médicale : TechCare | Milvue](#) ❤️

2.4.2.1.3 Cardiologie

CorEx⁹⁹ est une application d'Intelligence Artificielle développée par *Spimed-AI*, permettant de détecter et de classer automatiquement les lésions coronariennes en se basant sur le scanner coronaire. Il s'agit d'un système de *Deep Learning* entraîné à l'aide d'une base de données annotées de plus de 30 000 images de scanner coronaire.

Il permet de classer les sténoses selon la classification internationale CAD-RADS, score prenant en compte la présence, l'étendue, la gravité de la maladie coronarienne ainsi que les caractéristiques de la plaque et la fonction ventriculaire gauche, et ainsi estimer le risque de maladie coronarienne. Ce score permet notamment de faciliter la communication des résultats de coroscanner, de fournir des informations détaillées et significatives, et d'aider à guider le traitement clinique. *CorEx* est également capable de prédire à partir d'un scanner, une mesure de la réserve coronaire, généralement mesurée par un examen invasif impliquant l'insertion d'une sonde dans les artères coronaires (Figure 28).

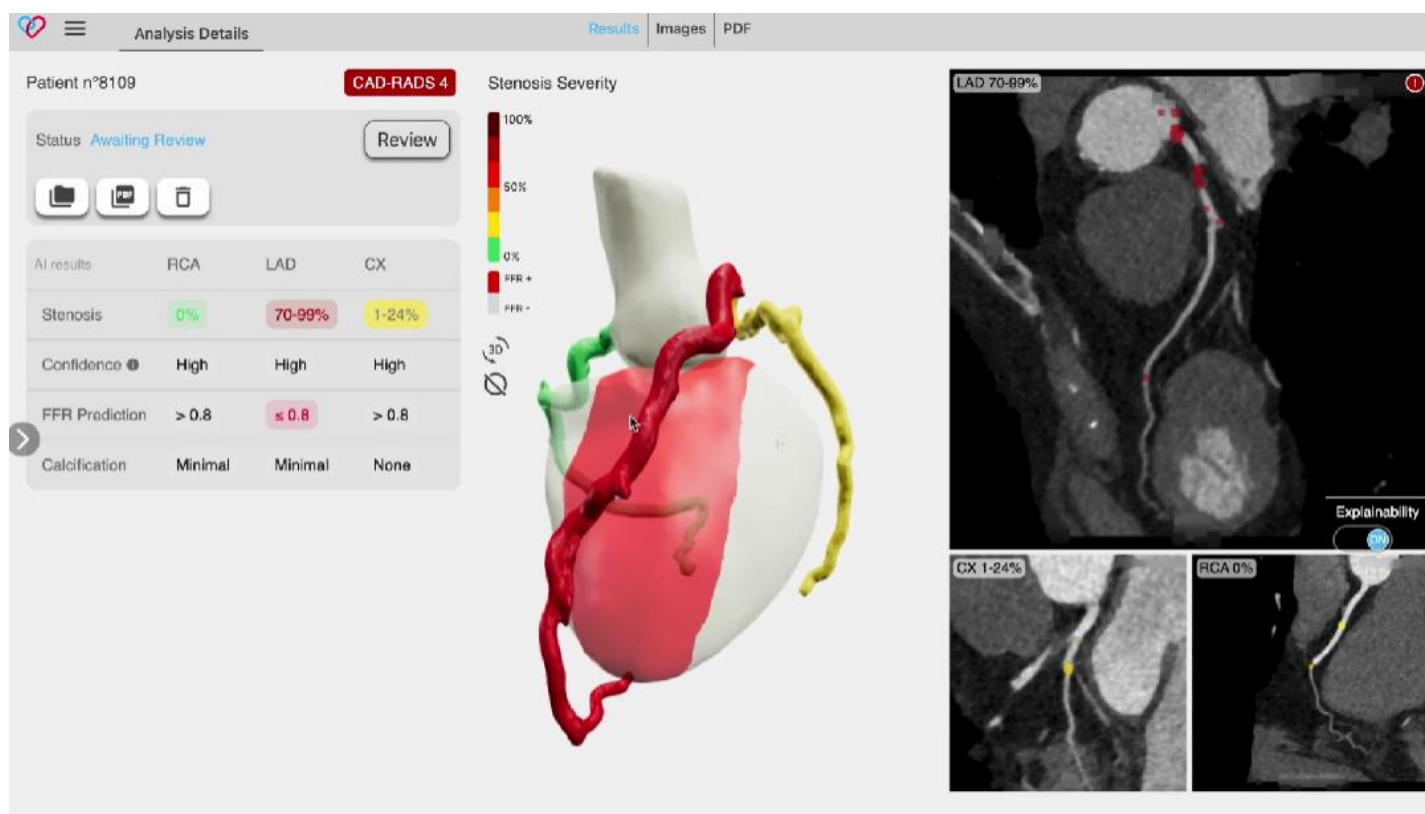


Figure 28 : Interface du logiciel *CorEx*

⁹⁹ Spimed-AI. CorEx : Analyse anatomique et fonctionnelle du Scanner Coronaire [en ligne]. Paris : Spimed-AI ; 2025 [consulté le 21 janvier 2025]. Disponible : [Spimed-AI | Radiology software](https://www.spimed-ai.com/radiology-software)

Un scanner couplé à l'IA permet d'éviter les gestes invasifs inutiles, de gagner du temps car *CorEx* réalise une analyse de scanner en moins d'une minute, de prioriser les cas les plus sévères et d'améliorer le flux de travail. Ce système est actuellement utilisé dans plus de 50 centres dans le monde¹⁰⁰.

2.4.2.1.4 Neurologie

L'entreprise Qynapse est un fournisseur de technologies médicales qui utilise le potentiel de l'imagerie quantitative et de l'Intelligence Artificielle afin d'optimiser le diagnostic, le pronostic ainsi que le suivi des patients atteints de maladies neurologiques. Leur objectif est d'améliorer la précision et la fiabilité du dépistage mais également la surveillance des maladies neurologiques. Qynapse a développé la plateforme logicielle de neuroimagerie **QyScore**¹⁰¹, permettant de produire une large gamme de mesures automatisées de la neuroinflammation et de la neurodégénérescence pour étayer un diagnostic plus précis dans le cadre d'un essai clinique. Il peut également être utilisé en routine clinique, en soutenant un diagnostic rapide, un suivi de la pathologie et du traitement. Cet outil d'analyse est certifié en Europe par un marquage CE (norme indiquant que le dispositif est conforme à l'ensemble des exigences fixées par la législation de l'Union Européenne) et aux Etats-Unis via l'approbation de la *Food and Drug Administration (FDA)*.

QyScore peut proposer des plans de traitements personnalisés et faciliter un changement de traitement. L'objectif de QyScore est de réduire le temps de lecture des images, d'automatiser le prétraitement des images, de contrôler la qualité ainsi que l'analyse des images, de mesurer l'efficacité et l'innocuité des médicaments et de pré-identifier des patients éligibles aux essais cliniques (Figure 29).

D'après une étude¹⁰² publiée en 2022 dans la revue *European Radiology*, QyScore est un dispositif médical de confiance, aligné sur l'évaluation des neuroradiologues experts. Il peut donc être utilisé dans les essais cliniques et la pratique courante pour aider au diagnostic et au suivi des maladies neurologiques sur le long terme.

¹⁰⁰ Agence Nationale de la Performance Sanitaire et Médico-sociale. Classification automatique des lésions coronaires à partir des images de tomodensitométrie avec Spimed-IA [en ligne]. Paris : ANAP ; 2022 [consulté le 21 janvier 2025]. Disponible : [Classification automatique des lésions coronaires à partir des images de tomodensitométrie avec Spimed IA – IA en Santé](#)

¹⁰¹ Qynapse. QyScore [en ligne]. Paris : Qynapse ; 2025 [consulté le 29 janvier 2025]. Disponible : [QyScore® - Qynapse - L'avenir de la neuroimagerie est là](#)

¹⁰² Cavado E, Tran P, Dormont D. Validation d'un outil automatique de mesure rapide de l'atrophie cérébrale et de l'hyperintensité de la substance blanche : QyScore. Springer [en ligne]. 2022 Janvier 01 [consulté le 29 janvier 2025]; 32(5) : 2949-2961. Disponible : [Validation of an automatic tool for the rapid measurement of brain atrophy and white matter hyperintensity: QyScore®](#)

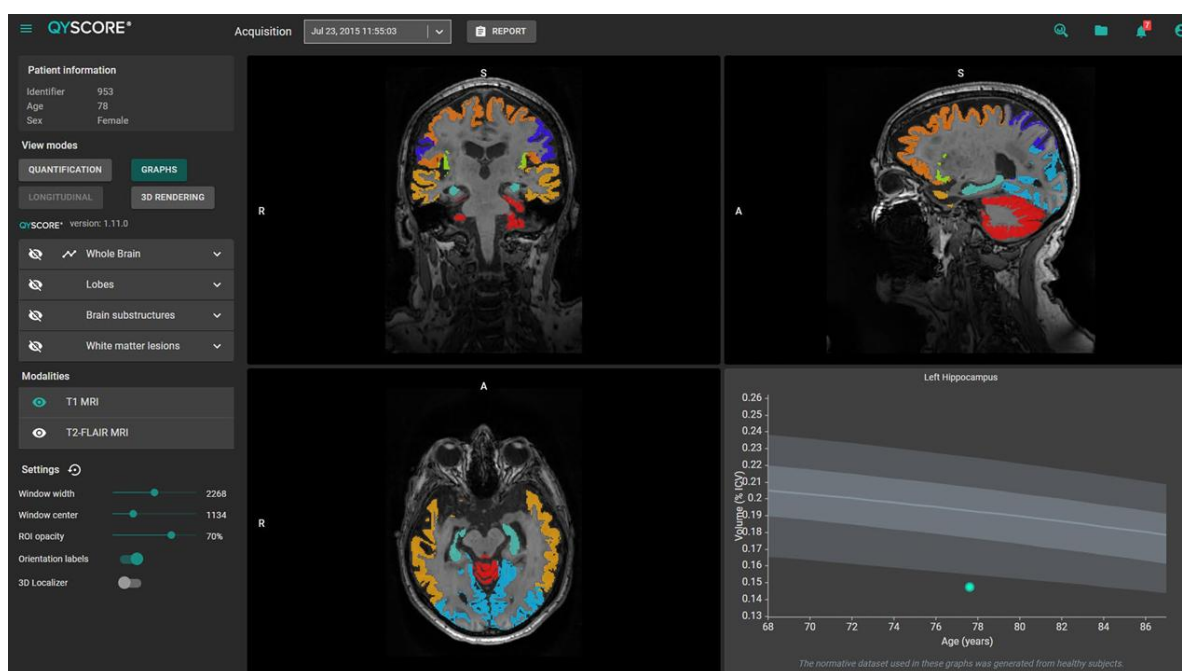


Figure 29 : Interface de la plateforme QyScore

2.4.2.2 Psychologie

KUMO¹⁰³ est une plateforme d'apprentissage automatique sécurisée, de collecte et de consultation de données comportementales, développée par *HajimeAI*. Elle permet de lancer une enquête comportementale et/ou psychosociale en créant un questionnaire de collecte de données ainsi qu'un plan d'action et en interprétant les résultats de l'enquête. Une enquête réalisée par KUMO permet d'identifier les problématiques communes aux individus en identifiant des barrières quotidiennes, en faisant des prédictions de comportements liés à la santé et en quantifiant les traitements et les relations patients-soignants.

La plateforme se base sur la Théorie du Comportement Planifié (TCP)¹⁰⁴. Cette théorie vise à expliquer ou à influencer les comportements en explorant leur relation avec les attitudes, le sentiment d'auto-efficacité et les normes sociales. Selon la TCP, le comportement humain doit être planifié pour être effectif et trois types de facteurs sont nécessaires à la décision :

- L'évaluation de la désirabilité du comportement et de ses effets (attitudes envers le comportement ; exemple avec le tabac : attitude vis-à-vis du tabac comme les dents jaunes, l'impuissance, le cancer...),
- La prise en compte de l'influence et l'opinion des proches sur le comportement (normes sociales ; exemple avec le tabac : avis et comportements de la famille et des enfants sur la cigarette),

¹⁰³ HajimeAI. Home KUMO [en ligne]. France : HajimeAI ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [KUMO by Hajime AI](#)

¹⁰⁴ Wikipédia. Théorie du comportement planifié [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [Théorie du comportement planifié — Wikipédia](#)

- La conviction de la capacité à accomplir le comportement avec succès (auto-efficacité ; exemple avec le tabac : « si je veux, je suis capable d'arrêter »).

Voici plusieurs enquêtes menées à l'aide de KUMO¹⁰⁵ :

- **Intention d'observance aux Inhibiteurs de la Pompe à Protons (IPP) chez les patients atteints de Sclérodermie** (France, 2021),
- **Intention d'observance aux biothérapies chez les patients atteints de Spondylarthrite Ankylosante** (France, 2022),
- **Intention de vaccination au COVID-19 chez les patients porteurs du Virus de l'Immunodéficience Humaine (VIH)** (France, 2022),
- **Intention d'observance aux inhibiteurs de Poly(Adp-Ribose) Polymérase (PARP) chez les patientes atteintes d'un cancer de l'ovaire** (France, 2022),
- **Intention de vaccination contre le Papillomavirus Humain (*Human PapillomaVirus : HPV*) chez les patients porteurs du VIH** (France, 2022),
- **Sevrage tabagique et intention d'arrêt du tabac** (France, 2022),
- **Intention de vaccination contre la grippe chez les patients porteurs du VIH** (France, 2022),
- **Qualité de vie et difficultés rencontrées par les aidants** (France, 2022),
- **Intention de changement de contraceptif chez les femmes dans la population générale** (France, 2023),
- **Troubles du sommeil dans la population générale** (France, 2023),
- **Intention de vaccination contre le Pneumocoque chez les patients porteurs du VIH** (France, 2023),
- **Relation perçue par les patients avec leurs médecins** (France, 2023),
- **Comparaison des intentions vaccinales chez les patients vivants avec le VIH** (France, 2023).

Ces enquêtes ont été menées avec des associations comme l'Association des Sclérodermiques de France, l'Association France Spondyloarthrites, Imagyn (cancer gynécologiques), Action Traitements (VIH), Alliance du cœur (pathologies cardiaques), ANDAR (polyarthrite rhumatoïde), Etincelles (oncologie), Europa Donna (cancer du sein), ANHET (hypercholestérolémie familiale) et Transhépate (transplantation hépatique).

¹⁰⁵ HajimeAI. Marketplace KUMO [en ligne]. France : HajimeAI ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [KUMO by Hajime AI](#)

2.4.2.3 Addictologie

Quitoxil¹⁰⁶ est une plateforme de thérapie digitale, créée par KLAVA Innovation, pour lutter contre la dépendance au tabac. La thérapie digitale propose des interventions thérapeutiques fondées sur des preuves scientifiques, qui sont conduites par des logiciels, dans l'objectif de prévenir, gérer ou traiter un trouble médical ou une maladie. Le but est d'optimiser les soins aux patients et les résultats de santé, en complément des médicaments conventionnels.

Quitoxil collecte les données renseignées par les patients sur des questionnaires d'auto-évaluation et des tests actifs et permet de suivre en temps réel l'évolution de la maladie. Il propose des thérapies ciblées et personnalisées afin d'accompagner le sevrage tabagique. Des exercices permettant d'aider à modifier le comportement face à l'envie de fumer sont suggérés, on y trouve également un suivi de l'état de santé et la possibilité de suivre ses progrès graphiquement. Sur l'application, il est possible de communiquer avec d'anciens fumeurs patients experts (Figure 30).

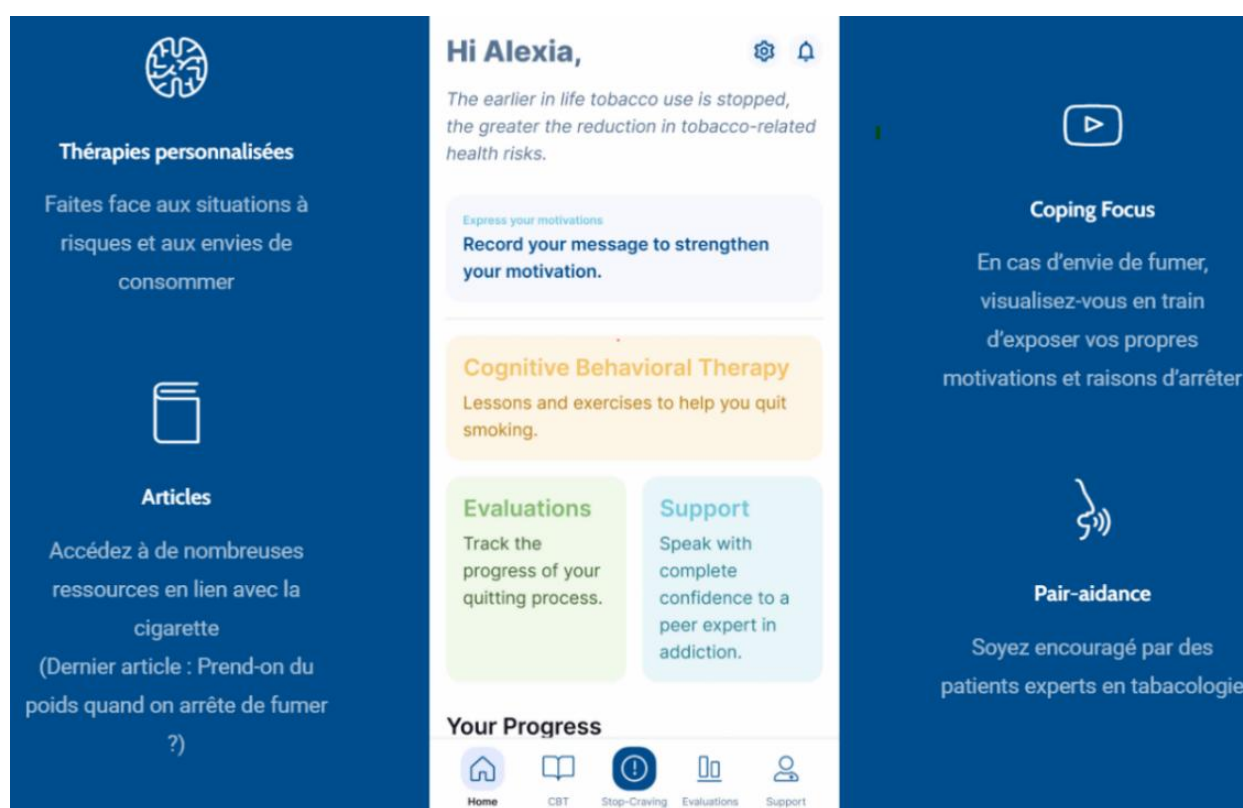


Figure 30 : Interface de l'application mobile Quitoxil

¹⁰⁶ KLAVA Innovation. Quitoxil [en ligne]. Boulogne-Billancourt : KLAVA Innovation ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [QUITOXIL – KLAVA INNOVATION](#)

2.4.2.4 Psychiatrie

2.4.2.4.1 MyndBlue

Le Trouble de Stress Post-Traumatique (TSPT)¹⁰⁷ est un trouble anxieux sévère qui survient après un traumatisme psychique. Il se manifeste chez une personne ayant été directement exposée à une situation mettant en jeu sa propre vie ou celle d'autrui. La prévalence des TSPT dans la population générale serait de 5% à 12%¹⁰⁸ (études principalement menées aux Etats Unis).

Le Trouble Dépressif Majeur (TDM)¹⁰⁹ correspond à la survenue d'un ou plusieurs épisodes dépressifs majeurs. La dépression est un trouble psychique se manifestant par des épisodes de diminution de l'humeur, accompagnés de divers symptômes tels qu'une faible estime de soi, des troubles de la concentration et de la mémoire, des variations significatives de poids, des perturbations du sommeil, ainsi qu'une perte de plaisir ou d'intérêt pour des activités habituellement appréciées. La dépression augmente le risque de suicide et entraîne une diminution de l'espérance de vie. L'OMS estime que 3,8% de la population souffre de dépression et que plus de 700 000 personnes décèdent par suicide chaque année, en faisant la quatrième cause de décès chez les 15-29 ans¹¹⁰.

MyndBlue¹¹¹ est une société MedTech, fondée en 2016, spécialisée dans le Trouble Dépressif Majeur et le Trouble de Stress Post-Traumatique. Elle est constituée de psychiatres, de psychologues cliniciens, de pharmaciens, de mathématiciens et d'ingénieurs. *MyndBlue* utilise le *Machine Learning* afin de développer un score clinique prédictif et personnalisé en combinant mesures physiologiques issues de patients et Intelligence Artificielle.

L'objectif est de détecter les troubles en temps réel dans le but d'intervenir plus précocement et d'être plus efficace dans le traitement du TDM et du TSPT. Les patients souffrants de TDM et de TSPT sont plus susceptibles de faire des rechutes dépressives et des transitions vers un TSPT chronique. *MyndBlue* permet de prédire une rechute dépressive imminente et une prédiction plus précoce des risques liés à l'état pathologique d'un patient. Un signal est instantanément envoyé au médecin et lui permet de réaliser un suivi clinique de leurs patients pendant et à distance des consultations et d'intervenir plus tôt afin d'anticiper les rechutes.

¹⁰⁷ Wikipédia. Trouble de stress post-traumatique [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Trouble de stress post-traumatique — Wikipédia](#)

¹⁰⁸ INSERM. Troubles du stress post traumatique [en ligne]. Paris : INSERM ; 2020 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Troubles du stress post-traumatique : Inserm, La science pour la santé](#)

¹⁰⁹ Wikipédia. Dépression (psychiatrie) [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Dépression \(psychiatrie\) — Wikipédia](#)

¹¹⁰ World Health Organization. Trouble dépressif [en ligne]. Genève : WHO ; 2023 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Trouble dépressif \(dépression\)](#)

¹¹¹ MyndBlue. Science and Technology [en ligne]. Paris : MyndBlue ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [MYNDBLUE : Reversing MDDMajor Depression Disorder & PTSDPost Traumatic Stress Disorder, rediscovering the joy of life](#)

D'après une étude publiée en 2023 dans Nature¹¹², l'algorithme de *MyndBlue* peut prédire l'état d'humeur du patient au cours des 3 prochains mois avec une bonne précision et permet au clinicien de détecter une rechute le jour même de celle-ci, au lieu d'un retard de 15 jours en moyenne pour les visites mensuelles.

2.4.2.4.2 Emobot

Emobot¹¹³ est une startup MedTech spécialisée dans le développement d'un dispositif médical innovant permettant la détection et le suivi en continu des troubles de l'humeur, comme la dépression et l'anxiété, grâce à l'Intelligence Artificielle et l'analyse des émotions en temps réel. Emobot développe des biomarqueurs digitaux et des algorithmes permettant d'estimer de façon spontanée la sévérité des troubles et leurs évolutions chez les patients (Figure 31).

EmoCare est un outil de diagnostic apportant une aide au traitement tandis qu'**EmoDTx** est une thérapie digitale utilisant les thérapies cognitivo-comportementales. Le comportement émotionnel des patients est analysé via les expressions faciales ainsi que la voix et permettent de déterminer l'évolution des troubles de l'humeur au cours du temps. Les algorithmes génèrent une carte de chaleur émotionnelle qui reflète le « tonus émotionnel » d'une personne tout au long de la journée en agrégeant les émotions détectées. Par exemple, une carte présentant une large gamme d'émotions traduit un tonus émotionnel élevé, tandis qu'une autre, marquée par une faible intensité émotionnelle et des émotions majoritairement neutres, peut indiquer un tonus émotionnel réduit. *EmoDTx* permet au patient d'objectiver son état et de se suivre grâce à une psychothérapie digitale adaptée à ses émotions.

Ces dispositifs permettent aux médecins de prendre en charge les patients de manière plus efficace et en plus grand nombre et ainsi améliorer l'ensemble des soins prodigués aux patients. Ils permettent également d'améliorer le développement de nouvelles thérapies, de prouver l'efficacité et la sécurité des médicaments et d'améliorer l'expérience des patients ainsi que leur observance.

¹¹² Ricka N, Pellegrin G. Biosignature prédictive du trouble dépressif majeur dérivée de mesures physiologiques de patients externes à l'aide de l'apprentissage automatique. Nature Scientific Reports [en ligne]. 2023 Avril 25 [consulté le 31 janvier 2025] ; 13(6332). Disponible : [Biosignature prédictive du trouble dépressif majeur dérivée de mesures physiologiques de patients externes à l'aide de l'apprentissage automatique | Rapports scientifiques](#)

¹¹³ Emobot. Le suivi en continu des troubles de l'humeur par l'Intelligence Artificielle [en ligne]. Emobot : Paris ; 2025 [consulté le 04 février 2025]. Disponible : [Emobot : le suivi en continu des troubles de l'humeur](#)

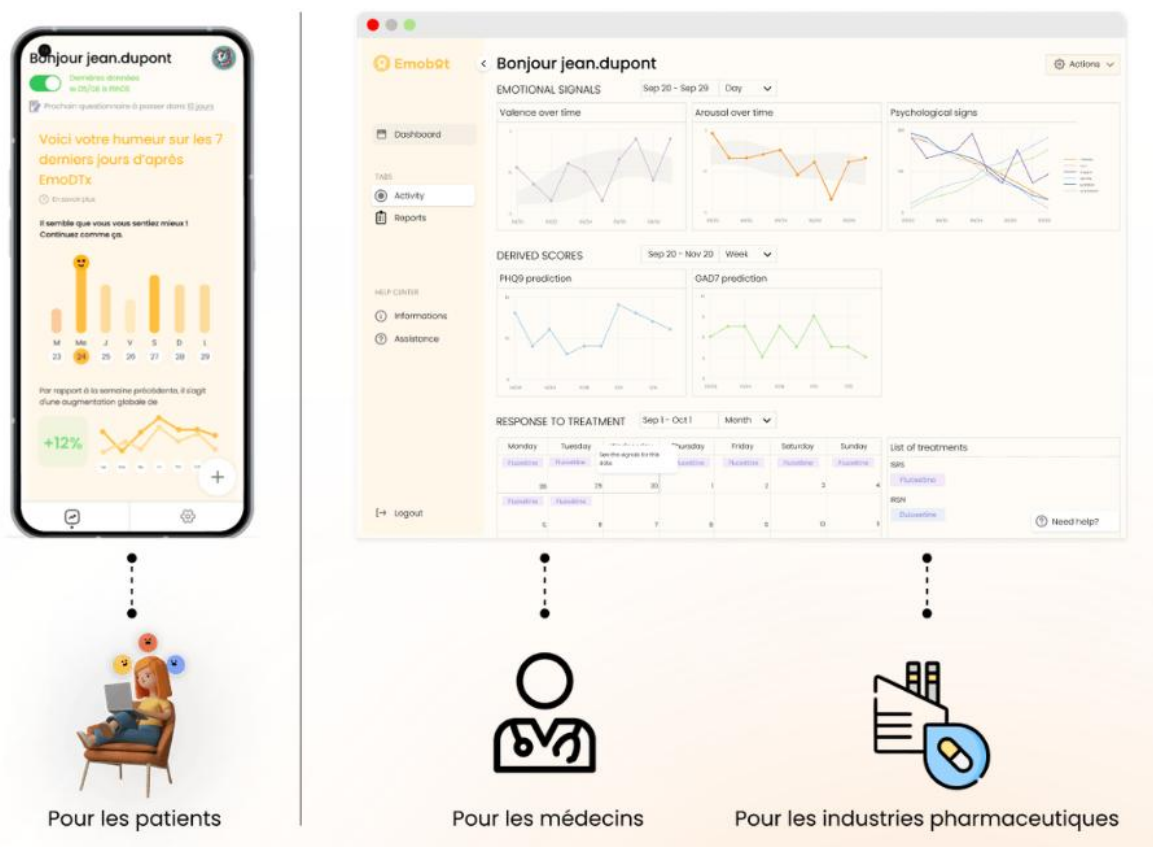


Figure 31 : Interface du dispositif médical développé par Emobot

2.4.2.5 Dermatologie

Les cancers de la peau regroupent différentes tumeurs malignes, issues de divers types de cellules cutanées. On distingue principalement les épithéliomes qui sont dérivés du tissu épithélial (carcinome basocellulaire et carcinome épidermoïde), les mélanomes issus des cellules nœviques et les sarcomes qui se développent à partir du tissu conjonctif. Les mélanomes cutanés représentent 10% des cancers de la peau, 4% de l'ensemble des cancers incidents et 1,2% des décès par cancer¹¹⁴. Une détection précoce des cancers cutanés permet une prise en charge rapide et un bon pronostic pour le patient, car le mélanome est un cancer à fort potentiel métastatique.

Obtenir un rendez-vous chez un dermatologue est long et compliqué en France, à cause du faible nombre de dermatologues (5,9 dermatologues pour 100 000 habitants en France en 2018) et de la non prise en charge des nouveaux patients.

Plusieurs entreprises ont utilisé l'Intelligence Artificielle afin d'obtenir un diagnostic précoce de cancer cutané et de venir en aide aux dermatologues :

¹¹⁴ Cancer.fr. Épidémiologie des cancers cutanés [en ligne]. Paris : Institut National du Cancer ; 2024 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Epidémiologie des cancers cutanés](#)

- L'entreprise H4D¹¹⁵ commercialise des cabines de téléconsultations équipées d'instruments connectés comme un dermatoscope qui utilise l'IA. Cet outil baptisé l'**IA Mélanome**, permet de pré-diagnostiquer le mélanome cutané en traitant des images de la zone étudiée. Il confirme ou non la suspicion de la lésion via une comparaison d'images. Concrètement, le patient prend une photo de la zone suspectée par le médecin, à l'aide d'un dermatoscope. Le médecin va ensuite analyser la photo et l'envoyer au logiciel d'IA. En cas de lésion suspecte, le patient est orienté vers un dermatologue.
- *SkinMed*¹¹⁶ propose un dispositif de détection rapide et efficace des cancers de la peau, accessible dans toute pharmacie de proximité. Le pack Dermo + est constitué d'un dermatoscope accompagné de l'application **SkinApp** qui utilise le l'algorithme d'IA **Skinan**. Le logiciel analyse en temps réel les photographies transmises par le dermatoscope et indique si la lésion est suspecte ou non. Ce système permet aux professionnels de santé de première ligne, notamment dans les déserts médicaux, d'identifier rapidement les cas nécessitant une consultation spécialisée.
- **DeepLive**¹¹⁷ est un dispositif médical développé par *Damae Medical*, installé dans plus de 10 pays en Europe, au Japon, en Australie et aux Etats-Unis. Ce dispositif permet une imagerie cellulaire en direct jusqu'aux couches profondes de la peau et donne accès à des biopsies optiques numériques. Ce dispositif est couplé à une IA qui analyse les images et met en avant les anomalies détectées (Figure 32).

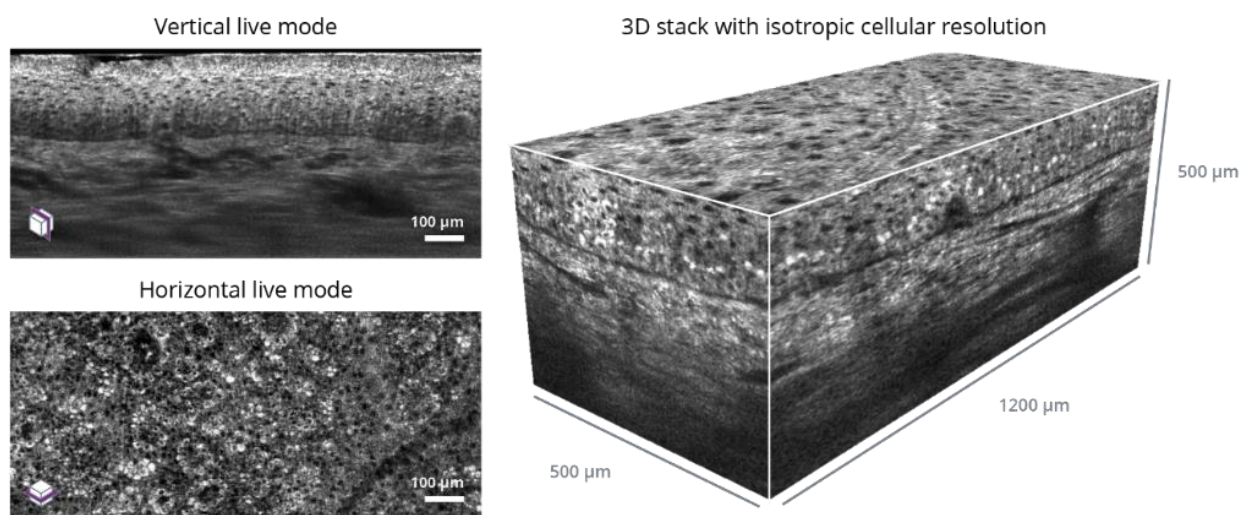


Figure 32 : Images des couches de la peau par DeepLive

¹¹⁵ Health For Development. Des solutions innovantes Plug and Play qui répondent aux besoins des patients [en ligne]. H4D : Aix en Provence ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [H4D - La téléconsultation la plus fidèle à un cabinet médical](#)

¹¹⁶ SkinMed. La technologie de pointe au service de la santé : le pack dermo + [en ligne]. SkinMed : Ribérac ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Skinmed - l'IA au service de la Santé](#)

¹¹⁷ Damae Medical. Découvrir DeepLive [en ligne]. Damae Medical : Paris ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [DAMAE MÉDICAL](#)

2.4.3 Médecine prédictive et aide à la décision

2.4.3.1 Arrêt cardiaque

En France, 50 000 personnes sont victimes d'arrêt cardiaque chaque année, et chaque minute qui passe sans intervention adéquate diminue la probabilité de survie à long terme de 10%¹¹⁸. Il est donc important de diagnostiquer le plus tôt possible et de réagir rapidement en cas d'arrêt cardiaque.

Corti¹¹⁹ est une entreprise de sécurité, recherche et développement en IA qui propose une solution d'Intelligence Artificielle dédiée à l'aide à la décision dans le domaine de la santé et des services d'urgence. Sa plateforme analyse en temps réel les interactions avec les patients grâce à la reconnaissance vocale et au traitement du langage naturel. Elle aide les professionnels de santé à prendre des décisions plus rapides et précises en fournissant des recommandations pertinentes et en automatisant des tâches comme la documentation et le codage.

Corti a notamment développé une IA qui vient en aide aux opérateurs des centres d'appels d'urgence en détectant plus rapidement les signes d'un arrêt cardiaque. En réalisant une analyse vocale prédictive en temps réel, l'algorithme détecte des signaux verbaux et non verbaux tels que l'intonation de la voix, les bruits de fond, le rythme de la respiration et les mots-clés prononcés par la personne. Ensuite, il suggère à l'opérateur les questions les plus pertinentes à poser pour mieux comprendre la situation. De plus, Corti détermine l'état du patient et lance une alerte en cas de suspicion d'arrêt cardiaque.

Corti a été formé à partir d'une vaste base de données comprenant des millions d'enregistrements d'appels d'urgence impliquant des cas avérés d'accidents cardiaques. Il est testé avec le service d'appels d'urgence de la ville de Copenhague depuis 2016 et afficherait une précision de 95%. Cet outil permet aux professionnels de la santé de diagnostiquer plus rapidement les conditions critiques, favorisant ainsi des interventions plus rapides et une prise en charge améliorée des patients.

¹¹⁸ National Institute for Health and Care Research. Utilisation de défibrillateurs publics liée à la survie à un arrêt cardiaque extrahospitalier [en ligne]. Londres : NIHR ; 2017 [consulté le 04 février 2025]. Disponible : [Utilisation de défibrillateurs publics liée à la survie à un arrêt cardiaque extrahospitalier](#)

¹¹⁹ Futura. Corti, l'IA qui détecte un arrêt cardiaque au téléphone [en ligne]. Paris : Futura ; 2018 [consulté le 04 février 2025]. Disponible : [Corti, l'IA qui détecte un arrêt cardiaque au téléphone](#)

2.4.3.2 Traumatismes

Les traumatismes représentent plus d'un tiers des passages annuels aux urgences et sont responsables de 7% des décès en France, touchant principalement des populations jeunes.

Le projet s'intitule TARPON pour Traitement Automatique des Résumés de Passages aux urgences pour un Observatoire National, et est mené par les chercheurs de l'université de Bordeaux et de l'INSERM. Il s'agit d'un algorithme entraîné avec une base de données de plus de 500 000 comptes rendus provenant des urgences adultes du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Bordeaux. L'objectif est d'utiliser l'IA pour extraire les informations intéressantes des comptes rendus non structurés des urgences et de classer automatiquement les traumatismes selon leurs types. Par exemple, les traumatismes classés par l'algorithme sont : accident d'exposition à des fluides corporels, assaut, accident de véhicule à moteur, corps étranger dans l'œil, chute, accident de sport, blessures intentionnelles et autres traumatismes.

Selon une étude publiée dans la revue *Journal of Medical Internet Research Artificial Intelligence*¹²⁰, TARPON parvient à classer avec précision 97% des comptes rendus. Cette étude ouvre la voie à la création d'un système national de surveillance des traumatismes et à des analyses épidémiologiques, notamment sur l'influence de la consommation de médicaments sur le risque d'accident.

2.4.4 Chirurgie robotisée

2.4.4.1 Opération chirurgicale

Ces dernières années, le marché mondial de la robotique chirurgicale a connu une expansion spectaculaire. Les avancées en imagerie médicale et en IA ont largement contribué à cette évolution. Désormais, les robots chirurgicaux sont couramment utilisés en médecine et deviennent essentiels pour les interventions complexes sur le corps humain. Face à la pénurie croissante de professionnels de santé et aux défis logistiques liés aux interventions urgentes, la robotique de pointe apparaît comme une solution évidente pour la chirurgie de demain.

¹²⁰ Chenais G. Modèles de transformateurs d'apprentissage profond pour la construction d'un observatoire complet et en temps réel des traumatismes : étude de développement et de validation. JMIR AI [en ligne]. 2023 Janvier 12 [consulté le 05 février 2025] ; 2. Disponible : [JMIR AI - Deep Learning Transformer Models for Building a Comprehensive and Real-time Trauma Observatory: Development and Validation Study](#)

Plusieurs robots basés sur l'Intelligence Artificielle ont été développés ces dernières années en chirurgie¹²¹ :

- Le **Smart Tissue Autonomous Robot (STAR)** a réalisé une chirurgie laparoscopique sur les tissus d'un cochon, sans assistance humaine¹²². L'objectif de la chirurgie était de reconnecter deux portions d'intestin, chirurgie connue pour être l'une des plus compliquées de la chirurgie gastro-intestinale. *STAR* utilise un endoscope tridimensionnel et un algorithme de suivi basé sur l'apprentissage automatique (Figure 33). Les résultats obtenus seraient meilleurs que ceux obtenus par l'Homme. *STAR* est le premier robot capable de planifier, d'adapter et d'exécuter une chirurgie des tissus mous sans intervention humaine. L'algorithme de *STAR* est basé sur l'apprentissage automatique.

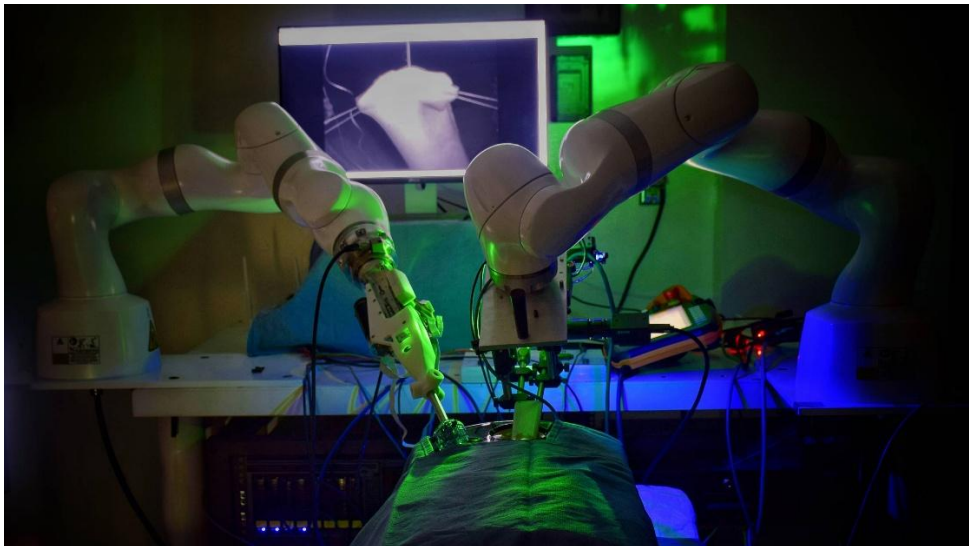


Figure 33 : Photographie de STAR réalisant une chirurgie

- **COBI**¹²³ est un robot développé par Cobionix, une start-up canadienne. Il est capable de vacciner avec des mini jets de fluide d'environ 3,5 micromètres sous haute pression. Le système est autonome, rapide et indolore et détermine la meilleure zone où vacciner le patient grâce à un capteur couplé à un logiciel d'IA. Le capteur crée une carte numérique du corps du patient qui est ensuite analysée par l'IA afin d'optimiser l'injection (Figure 34).

¹²¹ Silkhom. Les avancées de la robotique dans la chirurgie et le médical [en ligne]. Silkhom : Villeurbanne ; 2022. Disponible : [Les avancées de la robotique dans la chirurgie et le médical - Cabinet de recrutement Informatique / Digital / Electronique](#)

¹²² Université Johns Hopkins. Un robot effectue la première chirurgie laparoscopique sans aide humaine [en ligne]. Hub : Baltimore ; 2022 [consulté le 07 février 2025]. Disponible : [Un robot effectue la première chirurgie laparoscopique sans aide humaine | Centre](#)

¹²³ Le Blog Domotique. Le robot Cobi réalise de manière autonome des vaccinations sans aiguille [en ligne]. Le Blog Domotique : Lyon ; 2021 [consulté le 07 février 2025]. Disponible : [Le robot Cobi réalise de manière autonome des vaccinations](#)



Figure 34 : COBI réalisant une injection de vaccin sans aiguille¹²⁴

- La société américaine *Intuitive Surgical* commercialise depuis 2014 un robot chirurgical nommé **Da Vinci Xi**. Il est équipé d'une caméra 3D et de quatre bras auxquels sont fixés des pinces articulées miniaturisées, ce qui lui permet de réaliser des interventions ciblées (Figure 35). Da Vinci Xi a été initialement créé pour permettre aux chirurgiens une précision optimale et est totalement sous le contrôle du chirurgien, celui-ci se plaçant derrière une console de contrôle équipée d'un *joystick* et de pédales afin de contrôler les mouvements du robot. Cependant, en 2024, des chercheurs ont intégré un modèle d'IA basé sur le *Machine Learning* dans un robot Da Vinci et l'ont entraîné avec un grand nombre de vidéos d'interventions chirurgicales¹²⁵. Da Vinci a été capable de réaliser l'opération avec une dextérité remarquable et a réussi à développer des compétences qui ne lui avaient pas été inculquées, comme ramasser une aiguille qu'il aurait lâchée.

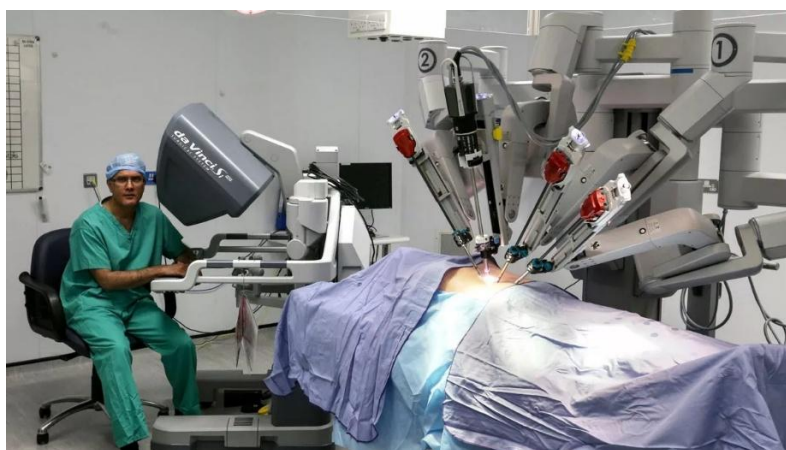


Figure 35 : Photographie d'un chirurgien utilisant le robot Da Vinci Xi¹²⁶

¹²⁴ Cobionix. World's First Autonomous Robotic Injection [en ligne]. Boston : Youtube ; 2021 [consulté le 4 mars 2025]. Disponible : [World's First Autonomous Robotic Injection](#)

¹²⁵ Université Johns Hopkins. Robot that watched surgery videos performs with skill of human doctor [en ligne]. Hub : Baltomire ; 2024 [consulté le 07 février 2025]. Disponible : [Robot that watched surgery videos performs with skill of human doctor | Hub](#)

¹²⁶ The Daily Mirror. See futuristic surgery that helped young woman become first to have lung cancer removed by ROBOT [en ligne]. Londres : The Daily Mirror ; 2016 [consulté le 4 mars 2025]. Disponible : [See futuristic surgery that helped young woman become first to have lung cancer removed by ROBOT - Mirror Online](#)

Visible Patient¹²⁷ est un logiciel permettant de fournir une image tridimensionnelle d'un organe et des structures anatomiques d'un patient. Ce « double numérique » est transmis au médecin, ce qui lui permet de comprendre l'anatomie de son patient ainsi que ses variations. *Visible Patient* permet de modéliser les organes suivant chez l'adulte et l'enfant : les poumons, le foie, le pancréas, les glandes surrénales, les reins, les glandes parathyroïdes, le côlon ainsi que les anomalies vasculaires. Cette modélisation est réalisée à partir d'imageries médicales comme les scanners ou les Imageries par Résonance Magnétique (IRM). Le logiciel utilise l'IA afin de réaliser une segmentation automatique des organes et des tissus, d'analyser et d'aider les chirurgiens dans leur prise de décision en leur fournissant des modèles interactifs et ainsi planifier l'opération et d'optimiser des processus en affinant les modèles en fonctions des besoins cliniques (Figure 36 et Figure 37).

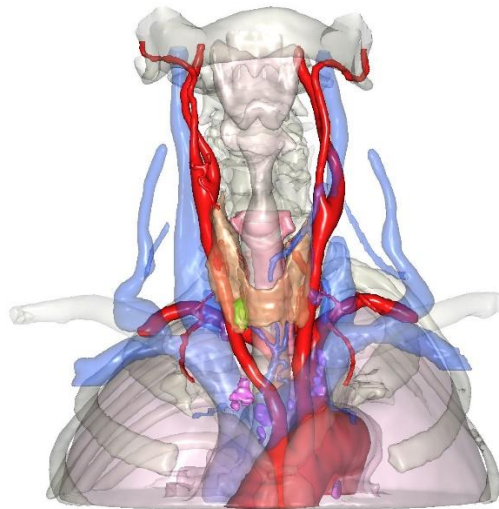


Figure 36 : Reconstitution de la région thyroïdienne d'un patient par *Visible Patient* à partir d'un scanner ou d'une IRM

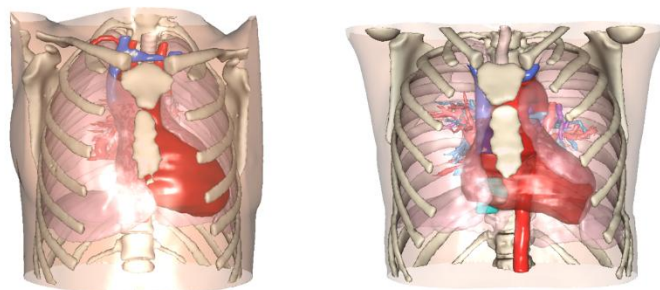


Figure 37 : Reconstitution de la région cardiaque d'un patient par *Visible Patient* à partir d'un scanner ou d'une IRM

¹²⁷ Visible Patient. L'innovation [en ligne]. Visible Patient : Strasbourg ; 2025 [consulté le 10 février 2025]. Disponible : [L'innovation - Visible Patient](#)

2.4.5 Médecine personnalisée

2.4.5.1 Obstétrique

Chez l'être humain, la stérilité désigne l'incapacité biologique à concevoir naturellement, à mener une grossesse à terme ou à donner naissance à un enfant en bonne santé. Elle peut avoir de multiples causes et touche un couple sur sept dans le monde. Des techniques de Procréation Médicalement Assistée (PMA) existent, comme l'insémination artificielle ou la Fécondation *In Vitro* (FIV). La FIV¹²⁸ est réalisée en plusieurs étapes : une stimulation des ovaires à l'aide d'injections régulières d'hormones est nécessaire afin d'obtenir plusieurs ovocytes simultanément et une ponction ovocytaire est ensuite effectuée. En parallèle, le sperme du donneur est recueilli et les spermatozoïdes les plus sains et mobiles sont récupérés. Le laboratoire met en contact les spermatozoïdes et les ovules dans le but d'obtenir une fécondation. Environ 5 ou 6 embryons sont obtenus puis mis en culture et enfin transférés dans l'utérus de la femme : il s'agit du transfert embryonnaire.

Embryoly est une plateforme utilisant un algorithme de *Deep Learning*, développée par ImVitro dans le but d'évaluer le développement embryonnaire de manière personnalisée et en fonction des caractéristiques cliniques uniques de chaque patient. L'évaluation de l'embryologie consiste à classer les embryons en fonction de leur morphologie et de leur morphocinétique. L'objectif est de transférer en priorité les embryons ayant les meilleures chances de grossesse, de minimiser le nombre d'échecs de transfert et de diminuer le délai de grossesse pour les patientes. Le logiciel est entraîné à l'aide d'une base de données contenant de nombreuses vidéos filmant le développement embryonnaire au sein des incubateurs. L'IA est renseignée sur quels embryons observés sur les vidéos ont menés à des grossesses et des naissances viables.

D'après une étude publiée dans le journal *Reproductive Biomedicine Online (RBMO)*¹²⁹, il a été démontré qu'Embryoly accélère le temps d'évaluation de l'embryon, anticipe mieux l'issue de la grossesse et réduit la variabilité du classement des blastocystes. De plus, une seconde étude¹³⁰ publiée dans le même journal a permis de montrer qu'Embryoly distingue les embryons compétents pour une grossesse précoce de ceux ayant le plus de chance d'entraîner une grossesse clinique pouvant être menée à terme. Le fait de différencier ces embryons permet d'identifier les phases de développement de celui-ci et de prédire ceux pouvant entraîner une fausse couche précoce.

¹²⁸ Wikipédia. Fécondation in vitro [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 11 février 2025]. Disponible : [Fécondation in vitro — Wikipédia](#)

¹²⁹ Dissler N, Nogueira D. Artificial intelligence-powered assisted ranking of sibling embryos to increase first cycle pregnancy rate. *RBMO* [en ligne]. 2024 [consulté le 11 février 2025]; 49(1) : 1-9. Disponible : [Artificial intelligence-powered assisted ranking of sibling embryos to increase first cycle pregnancy rate](#)

¹³⁰ Gidel-Dissler N, Roque T. Uncovering the association between embryo development and early pregnancy loss using artificial intelligence annotated kinetic events. *RBMO* [en ligne]. 2024 Octobre 19 [consulté le 11 février 2025]; 1-30. Disponible : [Découvrir l'association entre le développement de l'embryon et la perte de grossesse précoce à l'aide d'événements cinétiques annotés par l'intelligence artificielle - Reproductive BioMedicine Online](#)

L'échographie¹³¹ est une technique d'imagerie utilisant des ultrasons, couramment utilisée dans le suivi médical de la grossesse. Elle permet d'obtenir des images du fœtus à l'intérieur de l'utérus maternel et de contrôler le bien-être et la croissance du fœtus afin de dépister certaines anomalies ou malformations.

*Smart Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (SUOG)*¹³² est un assistant basé sur l'IA permettant de détecter précocement les anomalies fœtales lors de l'échographie. Il suggère des images essentielles en temps réel afin d'orienter le diagnostic médical et ainsi améliorer la qualité des soins prénatals. Il est nécessaire de détecter le plus tôt possible la présence d'anomalies fœtales et de troubles placentaires pour permettre une prise en charge adaptée et rapide. SUOG est entraîné à l'aide d'images échographiques validées par des gynécologues ou des radiologues.

2.4.5.2 Oncologie

Desiree¹³³ est une plateforme logicielle conçue pour assurer une prise en charge personnalisée collaborative et multidisciplinaire du cancer du sein primitif. *Desiree* est un outil d'aide à la décision créé pour évaluer les options thérapeutiques disponibles, en s'appuyant sur l'expérience des cas précédents et leurs résultats. Elle est destinée à être utilisée dans les unités de mammologie. La plateforme propose également des outils interactifs dédiés à l'analyse quantitative des images médicales et à la fusion de différentes modalités d'imagerie avec des informations complémentaires. On y retrouve également une solution de chirurgie virtuelle permettant de prédire l'issue d'un traitement conservateur du sein (Figure 38).

¹³¹ Wikipédia. Echographie [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [Échographie — Wikipédia](#)

¹³² Imagerie Grand Paris. Focus sur le projet SUOG [en ligne]. IGP : Paris ; 2024 [consulté le 11 février 2025]. Disponible : [Cap Horn Santé : une clinique pluridisciplinaire de confiance - Imagerie du Grand Paris - IGP](#)

¹³³ Desiree. Résultats et publications [en ligne]. Paris : Desiree ; 2025 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [Livrables | desiree-project.eu](#)

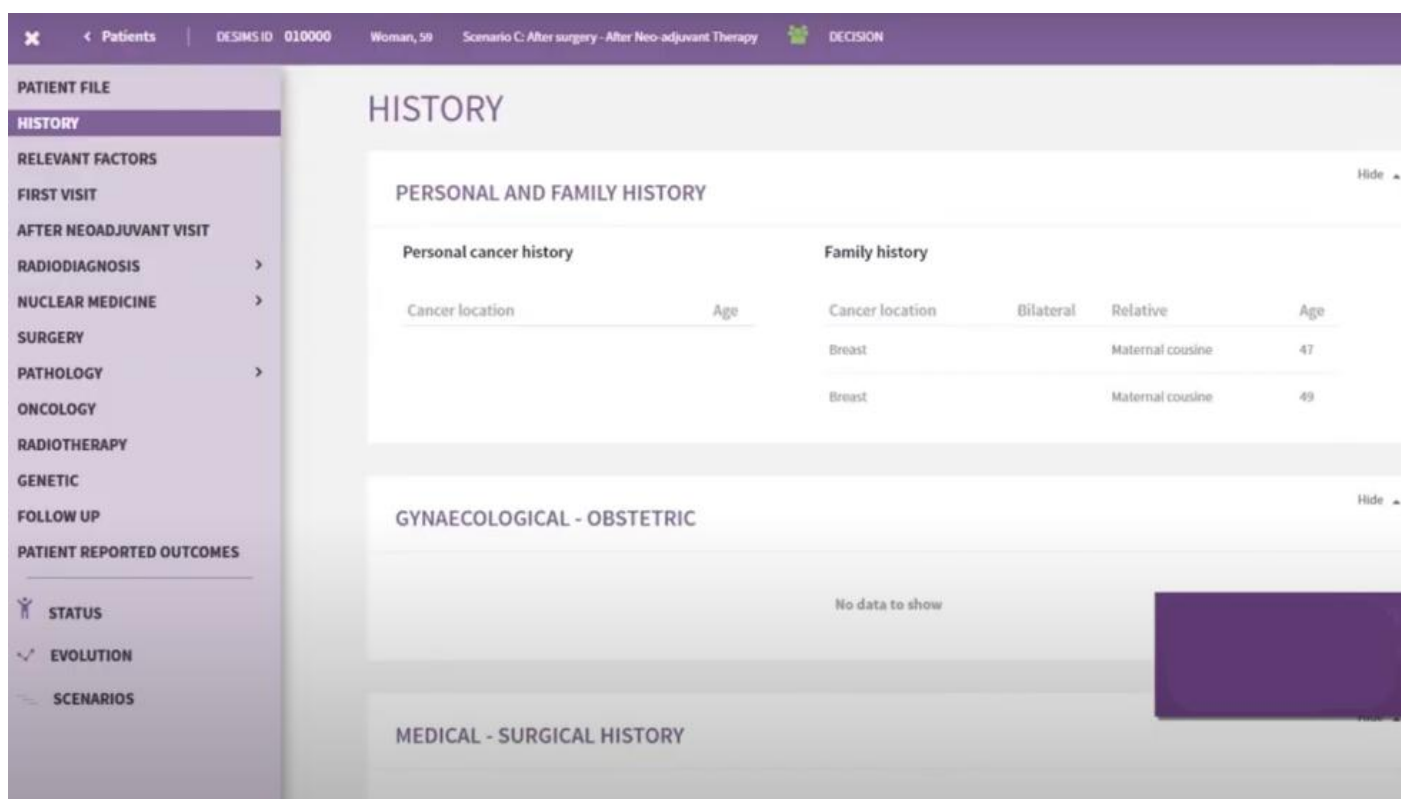


Figure 38 : Interface de la plateforme *Desiree*

2.4.6 Gestion et télémédecine

2.4.6.1 Travail administratif

Dans un contexte où les professionnels de santé sont déjà confrontés à une forte pression, la multiplication des tâches administratives représente une perte de temps considérable pour les médecins, empiétant sur leur cœur de métier et réduisant le temps consacré aux patients. Une étude¹³⁴ concernant l'impact du travail administratif pendant les consultations de médecine générale, révèle que près d'un tiers du temps de l'activité des médecins est consacré aux tâches administratives. Environ 10 heures par semaine sont consacrées aux tâches administratives, ce qui représente en moyenne 7 minutes par rendez-vous. Il est nécessaire de réduire ce temps administratif afin d'être plus disponible pour les patients. L'IA est une révolution en matière de rédaction et d'organisation de documents médicaux. Voici quelques exemples d'IA utilisés par les médecins aujourd'hui :

- *Nabla Copilot*¹³⁵ est un assistant médical utilisant le *Machine Learning*, capable de rédiger des comptes rendus médicaux, de préparer des consultations, de générer des notes structurées et d'extraire des données normalisées. En une minute, *Nabla* rédige

¹³⁴ Mouronval Romain. Impact du travail administratif pendant les consultations de médecine générale : confrontation entre ressenti et réalité [en ligne]. 40 f. Thèse d'exercice : Médecine : Nice : 2021 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [2021NICEM017.pdf](#)

¹³⁵ Nabla. Accueil [en ligne]. Paris : Nabla Technologies ; 2025 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [Nabla · Enjoy care again](#)

un compte rendu structuré qui interprète et reformule la consultation de manière logique. Concrètement, l'IA retranscrit la consultation, structure et reformule les éléments dans un compte rendu à partir de la reconnaissance vocale du microphone de l'ordinateur, allumé pendant le rendez-vous (Figure 39).

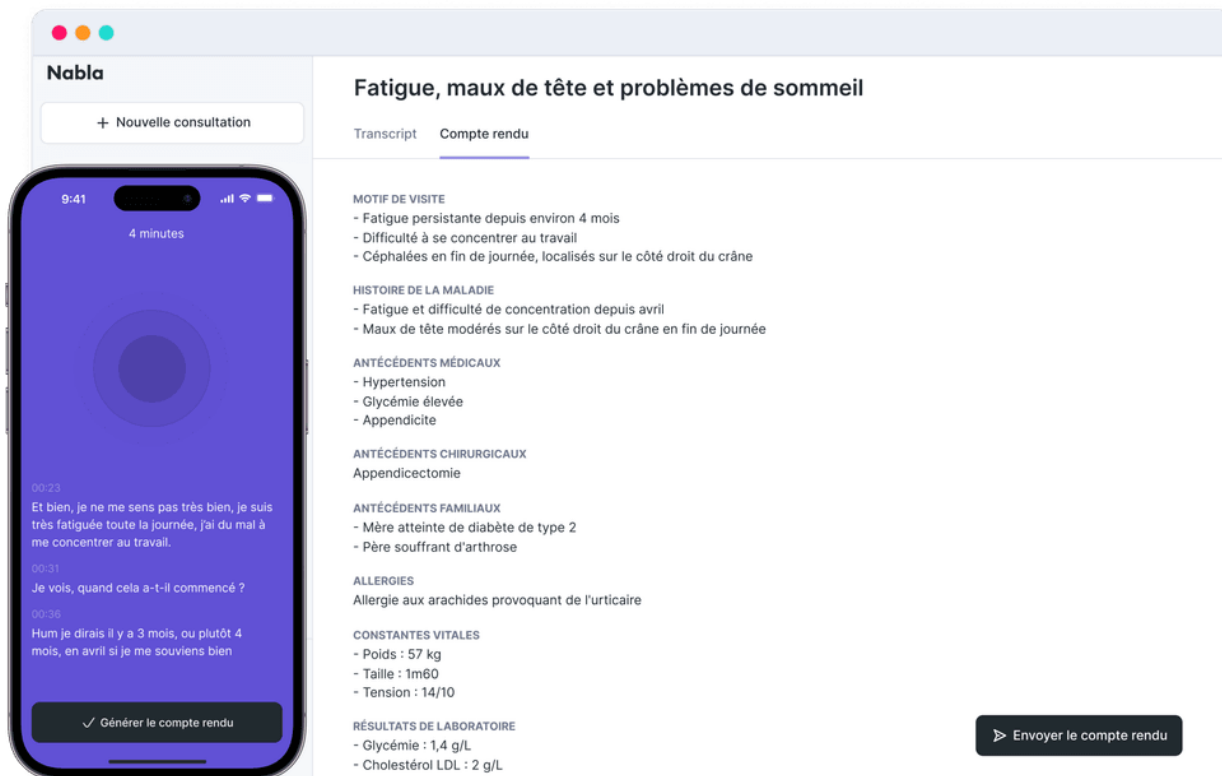


Figure 39 : Exemple de compte rendu rédigé par *Nabla Copilot* à partir de l'enregistrement audio de la consultation

- *DAX Copilot*¹³⁶ est une IA générative développée par Microsoft. Elle permet un enregistrement des conversations entre le patient et le clinicien lors de la consultation et de réaliser une ébauche de compte rendu pour le médecin. Ce système permet également de s'assurer que toutes les informations de santé sont notées et permet d'éviter les oublis lors de la rédaction du compte rendu par le médecin. D'après une enquête menée par Microsoft en 2024, *DAX Copilot* permet de gagner en moyenne 5 minutes de temps par consultation, améliorer la qualité des comptes rendus, réduit les sentiments d'épuisement professionnel et de fatigue et permet au clinicien d'être plus concentré, aimable et conversationnel tout en passant moins de temps devant l'ordinateur. *DAX Copilot* est également capable de rédiger des lettres de recommandation et des résumés faciles à comprendre destinés aux patients afin de mettre en évidence les détails clés et les instructions importantes.

¹³⁶ Microsoft. DAX Copilot : nouvelles options de personnalisation et capacités d'IA pour une productivité encore plus grande [en ligne]. Redmond : Microsoft ; 2024 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [DAX Copilot : nouvelles options de personnalisation et capacités d'IA pour une productivité encore plus grande - Blogs de l'industrie Microsoft](#)

2.4.6.2 Prédiction des épidémies

Les infections virales résultent d'une interaction complexe entre la détection immunitaire de l'hôte et la capacité du virus à y échapper, ce qui favorise l'évolution des protéines antigéniques virales. Ces mutations influencent les taux de réinfection et la durée d'efficacité des vaccins. Il est donc crucial de prédire suffisamment à l'avance l'émergence de variants capables d'échapper à l'immunité afin de développer des vaccins et des traitements optimaux.

EVEscape est un logiciel basé sur le *Deep Learning*, permettant d'anticiper les mutations virales en capacité d'échapper au système immunitaire de l'hôte. Le but est de faciliter l'élaboration d'un vaccin et d'un traitement. EVEscape évalue à grande échelle le potentiel d'échappement viral des mutations et présente l'avantage d'être utilisable avant la disponibilité du séquençage de surveillance, des analyses expérimentales ou des structures tridimensionnelles des complexes d'anticorps. Une étude publiée dans *Nature*¹³⁷ a montré que lorsque EVEscape a été entraînée sur des séquences antérieures à 2020, elle a été aussi précise que les analyses expérimentales à haut débit pour anticiper l'évolution pandémique du SARS-CoV-2. Ce système est également applicable à d'autres virus, tels que la grippe, le VIH et des virus émergents à potentiel pandémique.

Un système d'alerte précoce de ce type pourrait orienter les décisions et les stratégies de préparation en santé publique, réduisant ainsi les conséquences humaines et économiques d'une pandémie.

2.4.7 Conclusion

L'IA se développe dans tous les domaines de la médecine dans l'objectif d'accélérer les diagnostics, de détecter des anomalies précocement, d'améliorer la précision lors de chirurgies... De nombreuses autres applications sont en développement et verrons le jour dans les prochaines années, ainsi, la liste des applications en médecine que je viens de présenter est loin d'être exhaustive.

¹³⁷ Thadani N, Marks D. Learning from prepandemic data to forecast viral escape. *Nature* [en ligne]. 2023 Octobre 11 [consulté le 13 février 2025]; 622 : 818-825. Disponible : [Learning from prepandemic data to forecast viral escape | Nature](#)

2.5 Les applications de l'Intelligence Artificielle en pharmacie

2.5.1 Nouveaux traitements et nouvelles indications

2.5.1.1 Criblage de médicaments

Le criblage de molécules est une étape clé en pharmacologie pour identifier de nouveaux candidats médicaments, mais il reste un processus long et coûteux. L'IA révolutionne ce domaine en accélérant l'analyse et la prédiction des interactions moléculaires, ouvrant la voie à une découverte plus rapide et efficace de nouvelles thérapies.

*AtomNet*¹³⁸ est un système reposant sur le *Deep Learning*, développé par la startup *Atomwise*. **AtomNet** est capable de générer des médicaments potentiels ayant la plus haute probabilité d'interagir avec les pathologies, en se basant sur les données moléculaires pour prédire la bioactivité de petites molécules. AtomNet associe les informations du ligand à celles de la structure de la cible, en tenant compte de la position de chaque atome dans le site de liaison. Ces données permettent d'identifier les interactions favorables ou défavorables entre les ligands et les cibles, et peuvent être utilisées pour prédire des interactions, même pour des cibles sans ligand connu. Cela permet de générer plus rapidement les médicaments à tester en criblant plus d'un milliard de composés.

*Benevolent AI*¹³⁹ est également une plateforme permettant d'identifier de nouvelles cibles potentielles pour un futur médicament mais également pour étendre l'indication de traitements déjà existant. Cette plateforme a notamment permis d'identifier de nouvelles cibles pour traiter la colite ulcéreuse, les Maladies Inflammatoires Chroniques de l'Intestin (MICI), la Sclérose Latérale Amyotrophique (SLA), le glioblastome multiforme et les tumeurs cérébrales métastatiques. Certaines de ces molécules identifiées sont au stade d'étude clinique de phase I sur des volontaires sains, afin de tester l'innocuité et la pharmacocinétique du médicament. L'objectif est d'aider les scientifiques à découvrir de nouvelles cibles tout en gagnant du temps grâce aux capacités combinées de la plateforme et de l'expertise scientifique des chercheurs.

2.5.1.2 Prédiction d'antibiotiques

L'antibiorésistance désigne la capacité d'une bactérie à devenir insensible aux antibiotiques. Lorsqu'elles sont exposées aux antibiotiques, les bactéries évoluent et développent des mécanismes de défense leur permettant de contrer leur effet. L'antibiorésistance est responsable du décès de plus d'un million de personnes par an dans le monde depuis 1990 et pourrait causer de manière directe la mort de 39 millions de personnes et être associée à 169

¹³⁸ Wallach I, Dzamba M, Heifets A. AtomNet : A Deep Convolutional Neural Network for Bioactivity Prediction in Structure-based Drug Discovery. Cornell University [en ligne]. 2015 Octobre 10 [consulté le 14 février 2025]. Disponible : [1510.02855](#)

¹³⁹ Benevolent AI. Résultats semestriels pour le semestre clos le 30 juin 2024 [en ligne]. Luxembourg : Benevolent AI ; 2024 [consulté le 14 février 2025]. Disponible : [Résultats semestriels pour le semestre clos le 30 juin 2024 | BenevolentAI \(AMS : BAI\)](#)

millions de décès dans le monde d'ici 2050¹⁴⁰.

Des chercheurs ont déterminé que les sous-structures chimiques liées à l'activité antibiotique, identifiées par des modèles de réseaux neuronaux, peuvent être exploitées pour prédire les classes structurelles des antibiotiques¹⁴¹. Ces chercheurs ont testé plus de 12 millions de composés à l'aide d'ensembles de réseaux neuronaux afin de prédire les activités antibiotiques et la cytotoxicité de ces composés. Une classe structurelle d'antibiotique a montré une sélectivité contre *Staphylococcus Aureus* Résistant à la Méricilline (SARM) ainsi qu'envers les entérocoques résistants à la Vancomycine. Cette classe contourne une résistance significative et diminue la charge bactérienne dans les modèles murins d'infection cutanée à SARM et d'infection systémique de la cuisse. Cette approche, basée sur le *Deep Learning*, facilite la découverte guidée de nouvelles classes structurelles d'antibiotiques. Elle démontre également que les modèles d'apprentissage automatique en découverte de médicaments peuvent être explicables, en mettant en évidence les sous-structures chimiques responsables de l'activité antibiotique sélective.

2.5.1.3 Stratégie thérapeutique en oncologie

Owkin¹⁴² est une *start-up* française experte en informatique, biotechnologie et dans l'IA au service de la médecine, avec pour objectif de découvrir de nouveaux ou de meilleurs traitements en oncologie, immunologie et cardiologie. En 2022, Owkin obtient la certification *CE marking for In Vitro Diagnostic (CE-IVD)* pour son outil de pronostic **Dx RlapsRisk BC**. Ce dispositif permet de prédire le risque de rechute chez les patientes traitées pour un cancer du sein précoce et éclaire ainsi les oncologues dans le choix de thérapies adaptées pour ces patientes.

Owkin a également développé un outil s'appuyant sur le *Deep Learning* appelé **PACpAInt**. Il permet de prévoir les sous-types génomiques de l'adénocarcinome du pancréas.

De plus, cette *start-up* se concentre sur la recherche de nouveaux traitements en développant des logiciels d'IA capables de découvrir des biomarqueurs (*BiomarkersPLUS*), des cibles (*TargetMATCH*), ainsi que des extensions d'indications pour des traitements déjà existants (*DrugMATCH*).

¹⁴⁰ Naghavi M, Vollset S, Murray C. Charge mondiale de la résistance bactérienne aux antimicrobiens 1990-2021 : une analyse systématique avec prévisions à l'horizon 2050. *The Lancet* [en ligne]. 2024 Septembre 28 [consulté le 17 février 2025] ; 404(10459) : 1199-1226. Disponible : [Fardeau mondial de la résistance bactérienne aux antimicrobiens 1990-2021 : une analyse systématique avec des prévisions à l'horizon 2050 - The Lancet](#)

¹⁴¹ Wong F, Collins J, Zheng E. Découverte d'une classe structurelle d'antibiotiques grâce à l'apprentissage profond explicable. *Nature* [en ligne]. 2023 Décembre 20 [consulté le 17 février 2025] ; 626 : 177-185. Disponible : [Découverte d'une classe structurelle d'antibiotiques grâce à l'apprentissage profond explicable | Nature](#)

¹⁴² Owkin. Understanding complex biology through AI [en ligne]. Paris : Owkin ; 2025 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [Understanding complex biology through AI | Owkin](#)

La radiothérapie¹⁴³ est une technique de traitement locorégionale du cancer qui repose sur l'utilisation de radiations pour éliminer les cellules cancéreuses en empêchant leur multiplication. Le but est d'éradiquer les cellules tumorales tout en préservant au maximum les tissus sains environnants. Il est laborieux mais nécessaire de calculer la dose de radiation à délivrer, ainsi que le fractionnement par séance et le nombre de séances de radiothérapie. La planification de la radiothérapie est un processus long, répétitif et nécessitant beaucoup de compétences.

Plan ART est un logiciel d'Intelligence Artificielle développé par Therapanacea. Il permet d'annoter de manière précise la tumeur sur l'IRM, de calculer la densité électronique tissulaire nécessaire au calcul de la dose de radiothérapie et d'améliorer la planification de la radiothérapie. L'objectif est d'irradier uniquement la tumeur en épargnant les organes sains des patients atteints de cancers (Figure 40).

Plusieurs études ont montré que Plan ART permet un contournage automatique des tumeurs performant et comparable à la délimitation manuelle¹⁴⁴ et permet une prédiction des doses de radiothérapie comparables aux valeurs cliniques¹⁴⁵.



Figure 40 : Interface de Plan ART délimitant une tumeur de manière précise afin d'optimiser la séance de radiothérapie.

¹⁴³ Wikipédia. Radiothérapie [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [Radiothérapie — Wikipédia](#)

¹⁴⁴ Satragno C, Theodoridis T. Quantitative and qualitative evaluation of an automatic GTV contouring tool in pre-radiotherapy MRI in glioblastoma treatment. Therapanacea [en ligne]. 2025 Janvier 22 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [ASTRO24 Abstracts](#)

¹⁴⁵ Delasalles E, Vauclin R. Doses Prediction for Prostate Radiotherapy Planning. Therapanacea [en ligne]. 2025 Janvier 22 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [ESTRO24 Abstracts](#)

Ces outils nous montrent que l'IA révolutionne la découverte de nouveaux traitements en permettant un gain de temps considérable, une réduction des coûts et une optimisation des ressources, accélérant ainsi l'innovation médicale au service des patients. Elle permet de modéliser des cibles, qui sont des systèmes biologiques complexes, de tester de nouvelles hypothèses et de découvrir de nouvelles molécules ou de nouvelles indications tout en accélérant le développement des médicaments.

Une autre utilisation de l'IA au service de la pharmacie concerne le domaine de la pharmacie clinique et de la fabrication de médicaments.

2.5.2 Analyses d'ordonnances

Posos¹⁴⁶ est un dispositif médical permettant d'accélérer et de sécuriser les prescriptions à l'officine. La plateforme permet au pharmacien de piloter, réaliser et facturer les Bilans Partagés de Médication (BPM) en saisissant automatiquement le contenu des ordonnances, les plans de prises et les comptes rendus. Il permet également d'identifier les contre-indications et les effets indésirables associées avec les antécédents du patient et d'analyser les ordonnances (Figure 41). Posos est aussi utile en cas de rupture de médicaments en proposant une alternative thérapeutique ainsi que sa posologie.

Posos est également adapté aux pharmaciens hospitaliers car il permet d'accélérer le temps de saisie lors de la conciliation médicamenteuse, de sécuriser les prescriptions en impliquant les médecins et en justifiant un usage hors AMM à l'aide des derniers articles scientifiques PubMed.

¹⁴⁶ Posos. Accélérez et sécurisez les prescriptions dans votre officine [en ligne]. Amiens : Posos ; 2025 [consulté le 19 février 2025]. Disponible : [Posos | Accueil](#)

D'autres logiciels d'aide à l'analyse d'ordonnance existent :

- **PharmIA**¹⁴⁷ est une plateforme intelligente dédiée au pharmacien hospitalier. Elle permet de faciliter l'analyse et le contrôles des ordonnances médicales ainsi que la détection des situations à risque iatrogène. Elle allie l'environnement thérapeutique, le contexte médical du patient en temps réel et des moteurs analytiques complémentaire pour assurer une grande pertinence clinique dans l'analyse des prescriptions. PharmIA priorise les ordonnances à analyser et possède un système d'alertes liés à un contexte patient/médicament. Il est possible de personnaliser les contrôles en intégrant ses propres règles.
- **PharmaClass**¹⁴⁸ est un outil d'aide à la décision pharmaceutique, développé par *Keenturtle*, qui analyse les prescriptions. Il alerte en temps réel les professionnels de santé sur les risques liés aux médicaments, contribuant ainsi à prévenir les événements indésirables, fréquents chez les patients hospitalisés et souvent évitables. L'objectif est de prévenir et détecter les erreurs médicales, lutter contre l'iatrogénie et mieux gérer les médicaments à haut risque et à marge thérapeutique étroite.

2.5.3 Sécurisation de la production et de la délivrance des médicaments

Plusieurs autres solutions d'IA sont également utilisées en pharmacie, notamment certaines permettant la sécurisation de la production et de la délivrance des médicaments et le renforcement du contrôle qualité, en automatisant les processus et en réduisant les risques d'erreurs tout au long de la chaîne pharmaceutique.

Parmi ces autres logiciels, **DrugCam**¹⁴⁹ est un système d'analyse d'images vidéo des étapes

¹⁴⁷ PharmIA Committed for Hospital. La première plateforme digitale intelligente au service du pharmacien hospitalier [en ligne]. Montpellier : PharmIA ; 2025 [consulté le 19 février 2025]. Disponible : [PharmIA | Analyse, contrôle et validation des prescriptions médicales et détection des situations à risque iatrogène en pharmacie clinique](#)

¹⁴⁸ PharmaClass. Notre mission [en ligne]. Lyon : Keenturtle ; 2025 [consulté le 20 février 2025]. Disponible : [Keenturtle | Sécurisation et gestion des risques médicamenteux](#)

¹⁴⁹ Benizri F, Dalifard B. DrugCam-Un système de caméra vidéo intelligent pour réaliser des préparations de médicaments cytotoxiques en toute sécurité. PubMed [en ligne]. 2016 Avril 11 [consulté le 20 février 2025] ; 502(1-2) : 198-207. Disponible : [DrugCam-Un® système de caméra vidéo intelligent pour fabriquer des préparations de médicaments cytotoxiques en toute sécurité - PubMed](#)

critiques lors de la fabrication de chimiothérapies anticancéreuses et permet de sécuriser la préparation de ces médicaments à risque. *DrugCam* existe aussi pour l'analyse de la fabrication des vaccins contre le SARS-Cov2.

On retrouve **MedEye**¹⁵⁰, un outil conçu pour aider le personnel infirmier à prévenir les erreurs de dispensation lors de l'administration au lit du patient. Le système scanne les médicaments juste avant leur administration afin de s'assurer de leur conformité. En cas d'anomalie, l'infirmier est immédiatement alerté et reçoit des instructions pour corriger l'erreur. *MedEye* veille également à ce que la médication corresponde aux prescriptions figurant dans le dossier électronique du patient.

2.6 Conclusion sur les usages de l'IA en médecine et en pharmacie

L'Intelligence Artificielle transforme profondément les domaines de la médecine et de la pharmacie, en apportant des solutions innovantes pour optimiser le diagnostic, la prise en charge des patients et la gestion des traitements. Grâce à ses capacités d'analyse avancées et à l'automatisation de nombreuses tâches, elle permet de réduire les erreurs, d'améliorer l'efficacité des soins et de soutenir les professionnels de santé dans leur prise de décision. Bien que son intégration pose encore des défis, notamment en matière d'éthique et de réglementation, son potentiel pour révolutionner le secteur de la santé est indéniable, d'autant plus avec le vieillissement de la population tant annoncé et les pénuries de professionnels de santé présentes et à venir.

¹⁵⁰ MedEye. Accueil [en ligne]. Pays-Bas : MedEye ; 2025 [consulté le 20 février 2025]. Disponible : [MedEye](#)

3 L'Intelligence Artificielle et le Diabète de Type 2

L'IA commence progressivement à prendre place dans la prise en charge du DT2, en intervenant à chaque étape du parcours patient, de la prévention au traitement. Grâce à l'analyse prédictive des données médicales et comportementales, l'IA permet d'identifier précocement les personnes à risque et d'adopter des stratégies de prévention personnalisées. Dans le domaine du diagnostic, elle améliore la précision et la rapidité de détection, notamment par l'analyse automatisée des examens biologiques et d'imagerie. L'IA contribue également à la surveillance des complications, en facilitant leur dépistage précoce et en alertant les soignants en temps réel. Enfin, elle optimise la prise en charge médicamenteuse grâce à des recommandations individualisées et à l'adaptation des traitements en fonction de l'évolution de la maladie, favorisant ainsi une approche plus efficace et personnalisée du DT2.

Afin de traiter cette partie de manière logique et précise, le plan suivi sera proche du plan de la première partie « Le Diabète de Type 2 ». Certaines parties ne seront pas traitées par manque ou absence de données à disposition.

3.1 Facteurs de risque

3.1.1 Prédiction de la survenue du Diabète de Type 2

Comme décrit dans la première partie de ma thèse, la survenue du DT2 est corrélée à la présence d'un ou plusieurs facteurs de risque liés au mode de vie, aux conditions médicales, psychosociales, génétiques et démographiques. Ces facteurs de risques sont nombreux, et le fait de bien les connaître permet d'intervenir efficacement afin de limiter leur impact et prévenir l'apparition du DT2. De nombreux travaux de recherche ont été menés dans la littérature visant à utiliser des algorithmes d'apprentissage automatique pour prédire la prévalence du DT2 à partir de divers facteurs de risque. Un article publié dans *Springer Nature*¹⁵¹ évalue 35 algorithmes différents de *Machine Learning* et propose une classification des facteurs de risque de DT2 afin d'analyser les catégories les plus importantes dans la prédiction du DT2. Les algorithmes ont été comparés sur leur précision, leur temps d'exécution et leur F-mesure (mesure de la performance et la pertinence d'un algorithme de classification en IA, combinant des mesures se basant sur les taux de faux positifs, vrais positifs et faux négatifs).

¹⁵¹ Ismaïl L, Materwala H. Type 2 Diabetes with Artificial Intelligence Machine Learning : Methods and Evaluation. Springer Nature [en ligne]. 2021 Avril 15 [consulté le 25 mars 2025]; 29 : 313-333. Disponible : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-021-09582-x>

Les résultats concernant la classification des facteurs de risque montrent que l'**âge**, l'**origine ethnique**, les **antécédents familiaux de diabète**, l'**obésité**, l'**hypertension artérielle**, les **maladies cardiovasculaires** et le **cholestérol** sont des facteurs de risque ayant un impact significatif sur la prédiction du DT2. Autrement dit, en prenant en compte ces facteurs de risques, les algorithmes d'IA obtiendront le meilleur taux de prédiction du DT2.

Avant d'expliquer quels sont les meilleurs algorithmes permettant de prédire la survenue du DT2, il est important de comprendre les notions de données équilibrées et non-équilibrées. En effet, l'algorithme a besoin d'un ensemble de données pour fonctionner, mais celles-ci ne sont pas toutes équivalentes.

Un ensemble de données équilibré signifie que dans l'échantillon de données transmises à l'algorithme, chaque classe de données est représentée de manière à peu près équivalente. En prenant l'exemple du DT2, une classe de données pourrait être « diabétique » et une autre « non diabétique ». L'ensemble de données est équilibré s'il y a environ 50% de « diabétiques » et 50% de « non diabétiques ».

Un ensemble de données non équilibré signifie que dans l'échantillon de données transmises à l'IA, une ou plusieurs classes sont beaucoup plus représentées que les autres, entraînant ainsi un déséquilibre. Par exemple, dans le cas du DT2, un ensemble de données déséquilibré comprendrait 80% de « diabétiques » et 20% de « non diabétiques ».

Cette notion d'ensemble de données équilibré ou non équilibré est importante car les performances d'un algorithme d'IA dépendent du type d'ensemble de données. Chaque algorithme a une manière différente de traiter les informations, certains sont très performants en analysant un ensemble de données équilibré tandis que d'autres obtiennent de meilleurs résultats lorsque l'ensemble de données est déséquilibré.

Parmi les algorithmes d'IA comparés dans cet article, le plus précis lorsqu'il s'agit d'un ensemble de données équilibré est **Bagging-LogisticRegression (Baggin-LR)**, tandis que pour un ensemble de données déséquilibré, le plus précis est la **forêt aléatoire**.

Bagging-LR est un logiciel utilisant la régression logistique, c'est-à-dire qu'il estime la probabilité qu'une observation appartienne à la classe « diabète » ou à la classe « non-diabète », à l'aide d'une fonction sigmoïde. En fonction de la probabilité estimée et du seuil défini, il classe l'observation dans l'une des catégories (Figure 42). Cette méthode est intéressante car elle permet de comprendre l'impact de chaque variable sur la probabilité, ici les variables étant les facteurs de risque. De plus, cette méthode est efficace, rapide et peu coûteuse.

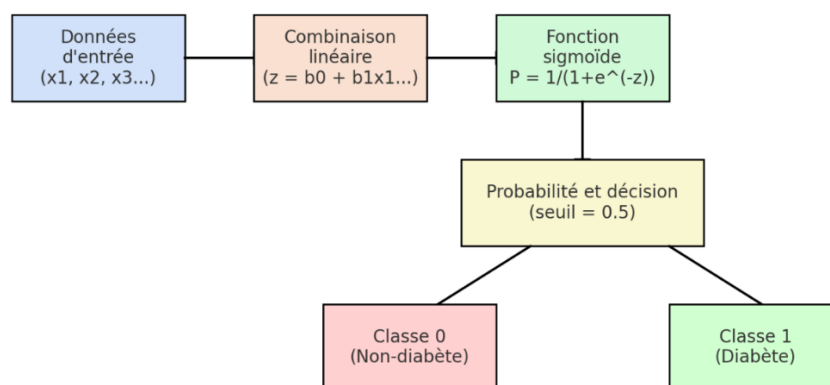


Figure 42 : Schéma expliquant le fonctionnement de la régression logistique¹⁵²

La forêt aléatoire est un type d'algorithme d'apprentissage supervisé basé sur un ensemble d'arbres de décision. C'est un modèle composé de plusieurs arbres de décision, chacun étant construit à partir d'échantillons aléatoires du jeu de données. Chaque arbre donne une prédiction, et l'ensemble du modèle classe une observation comme « diabétique » ou « non-diabétique » en fonction du vote majoritaire des arbres (Figure 43). L'avantage de ce type d'algorithme est qu'il apporte une précision élevée en combinant plusieurs arbres, il est robuste et peu sensible aux anomalies dans les données et peut indiquer quelles variables ont le plus d'influence dans les décisions. Ici, il permet de montrer quels facteurs de risque ont le plus d'impact dans la prédiction du DT2.

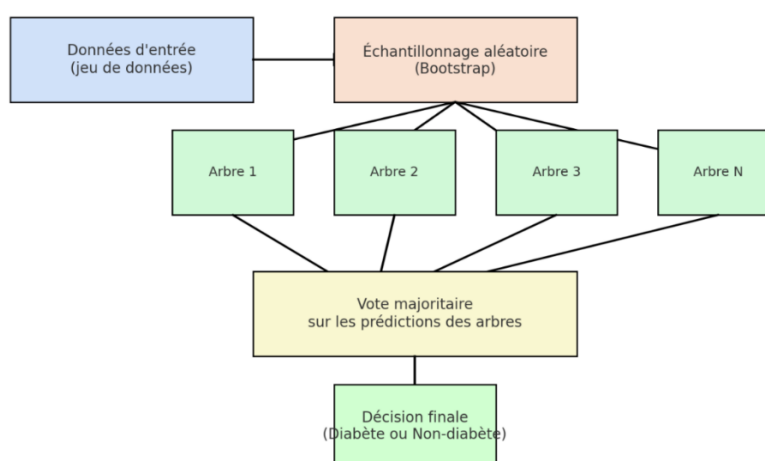


Figure 43 : Schéma expliquant le fonctionnement de la forêt aléatoire¹⁵³

D'après l'étude publiée dans *Springer Nature*, la régression logistique et la forêt aléatoire sont les algorithmes les plus précis dans la prédiction de la survenue du DT2, parmi les 35 algorithmes étudiés (arbre de décision, réseau bayésien, machine à vecteurs de support...).

¹⁵² ChatGPT. "Réalise-moi un schéma expliquant le fonctionnement de la régression logistique" [en ligne]. San Francisco : OpenAI ; 2022 [consulté le 25 mars 2025]. Disponible : [ChatGPT | OpenAI](#)

¹⁵³ ChatGPT. "Réalise-moi un schéma expliquant le fonctionnement de la forêt aléatoire" [en ligne]. San Francisco : OpenAI ; 2022 [consulté le 25 mars 2025]. Disponible : [ChatGPT | OpenAI](#)

3.2 Diagnostic

3.2.1 Biomarqueurs numériques

Le diagnostic du DT2 est souvent retardé en raison de son évolution insidieuse et sa survenue peut avoir lieu 4 à 7 ans avant qu'un diagnostic ne soit posé. De nombreux patients restent asymptomatiques pendant des années, ce qui entraîne une identification tardive de la pathologie, souvent à un stade avancé. Comme expliqué en première partie de ma thèse, ce retard de diagnostic augmente le risque de complications graves, telles que l'insuffisance cardiaque, l'insuffisance rénale, la mort cardiovasculaire athéroscléreuse et la mort subite. Une prise en charge tardive complique également le contrôle glycémique et aggrave le pronostic à long terme. Compte tenu de la prévalence élevée des complications du DT2, il est nécessaire d'améliorer la prise en charge de ces complications macrovasculaires et microvasculaires.

Les biomarqueurs numériques sont obtenus à partir de données comportementales et physiologiques recueillies via des dispositifs numériques. Ils permettent d'analyser la biologie ou la physiopathologie normale et d'identifier d'éventuelles anomalies. Le développement des biomarqueurs numériques pourrait permettre un dépistage, un diagnostic et une évaluation des risques plus personnalisés et optimisés chez les patients atteints de DT2.

Une revue publiée dans le *Canadian Journal of Cardiology*¹⁵⁴ explore l'utilisation des biomarqueurs numériques dans le DT2. Les biomarqueurs numériques basés sur l'IA peuvent remplir plusieurs fonctions chez les patients atteints de DT2. Ils contribuent à améliorer et compléter les systèmes actuels de dépistage et de diagnostic, à prédire et évaluer la gravité des complications du diabète, y compris les événements glycémiques, et à intégrer l'IA dans les capteurs et les algorithmes de surveillance continue du glucose pour optimiser les soins cliniques et la prévention des complications. Différentes approches utilisant des dispositifs, des fonctionnalités et des algorithmes numériques ont été explorées pour développer ces biomarqueurs, bien que la majorité des travaux se soient concentrés sur le dépistage.

¹⁵⁴ Jabara M, Kose O, Sharma A. Artificial Intelligence-Based Digital Biomarkers for Type 2 Diabetes : A Review. Canadian Journal of Cardiology [en ligne]. Octobre 2024 [consulté le 18 mars 2025] ; 40(10) : 1922-1933. Disponible : [Artificial Intelligence-Based Digital Biomarkers for Type 2 Diabetes: A Review - Canadian Journal of Cardiology](#)

Voici les utilisations actuelles et futures de biomarqueurs pilotés par l'IA, utilisés dans le DT2, résumées dans un tableau (Tableau III) :

Tableau III : Résumé des biomarqueurs pilotés par l'IA, utilisés dans le DT2

Modèle d'IA	Capteur (source des données transmises à l'IA, utilisées comme données d'entrée)	Application
IDX-DR EyeArt AEYES-DS	Images rétinienne stéréoscopiques à grand champ (permet de capturer une grosse surface de la rétine) et tomographie par cohérence optique (permet de créer des images de haute résolution en coupe transversale de l'œil, équivalent à une échographie optique)	Détection d'une Rétinopathie Diabétique plus que légère et d'un œdème maculaire diabétique
Modèle d'IA basé sur le Deep Learning DBSCAN-CNN	Electrocardiogramme (mesure de l'activité électrique du cœur et du rythme cardiaque à l'aide d'électrodes)	Détection et classification du diabète , distinction entre les patients diabétiques et non diabétiques, estimation du taux d' HbA1c (biomarqueur combiné appelé ECG-HbA1c) Prédiction des résultats de l'Hyperglycémie Provoquée par Voie Orale , prédiction de l' hyperglycémie
Réseau neuronal profond	Photopléthysmographie (technique optique visant à détecter les changements de volume sanguin dans le lit microvasculaire et permettant de surveiller la perfusion sanguine)	Détection et classification du diabète Prédiction de la glycémie Détection de changements microvasculaires dans les extrémités
RNA Algorithme des k-moyennes (<i>Machine Learning</i>) Algorithme de forêt aléatoire (apprentissage supervisé)	Electromyographie (technique médicale utilisée pour analyser le fonctionnement des nerfs et des muscles)	Détection de la neuropathie diabétique et de l' ulcère du pied
DiabDeep	Actigraphie (test visant à mesurer le mouvement et l'orientation, il permet de détecter le schéma d'éveil et de sommeil, l'activité physique et la distance parcourue)	Prévision de l' HbA1c Prédiction de l' hyperglycémie Prédiction de la glycémie
DiabDeep HOPWatch	Activité électrodermale (évalue l'activité des glandes sudoripares des extrémités en analysant les variations de conductance électrique mesurées par les électrodes) + température de la peau à l'aide de thermocouples	Prédiction de l' HbA1c Détection précoce et prévention de la neuropathie diabétique

De manière générale, les études se répartissent en trois catégories : celles visant à prédire les événements hypoglycémiques ou hyperglycémiques, celles cherchant à distinguer les individus diabétiques des non-diabétiques, et celles corrélant les données issues des capteurs à un biomarqueur continu tel que l'HbA1c, la glycémie, le taux d'Hyperglycémie Provoquée par Voie Orale ou des mesures équivalentes. La majorité de ces études se concentre sur la classification clinique du diabète ainsi que sur la surveillance de la glycémie et les valeurs d'HbA1c.

Les biomarqueurs numériques issus de mesures physiologiques peuvent constituer une méthode portable et accessible pour soutenir le dépistage à grande échelle, y compris auprès des populations mal diagnostiquées. Toutefois, il est essentiel de prendre en compte les coûts associés à leur mise en œuvre, notamment en matière d'infrastructure, de ressources humaines, de cybersécurité, de consommation énergétique et de contraintes réglementaires.

En théorie, l'intégration des biomarqueurs numériques dans les stratégies de dépistage du diabète pourrait se révéler économiquement viable. Cependant, le développement d'algorithmes répondant aux exigences réglementaires demeure complexe. A ce jour, seuls trois algorithmes de ce type ont été approuvés pour un usage clinique : deux algorithmes de l'IA dédiés à l'évaluation de la Rétinopathie Diabétique à partir d'images, et un algorithme destiné à l'autorégulation des pompes à insulines chez les personnes atteintes de diabète de type 1.

L'utilité et le potentiel des biomarqueurs issus de l'IA dans la prise en charge du DT2 sont considérables, offrant une opportunité de transformer l'identification, la stratification du risque, le diagnostic et le suivi de la maladie. Toutefois, il est important de souligner que, malgré leur promesse, ces biomarqueurs numériques ne présentent pas encore d'alternative claire aux méthodes traditionnelles de dépistage et de gestion du diabète, fondées sur les recommandations cliniques actuelles. Les études présentées dans cette revue mettent plutôt en évidence la capacité de l'IA à enrichir les pratiques existantes, à offrir des soins plus personnalisés en lien avec les comorbidités et les complications, et à contribuer à l'élaboration de nouvelles normes cliniques susceptibles d'être validées par les autorités réglementaires.

3.3 Complications

3.3.1 La Rétinopathie Diabétique

La Rétinopathie Diabétique (RD) est la complication oculaire la plus fréquente au cours du diabète, touchant près de 34,6%¹⁵⁵ des diabétiques dans le monde. Elle est la principale cause de cécité irréversible dans la population active. Une intervention et un traitement précoce permettraient de prévenir le développement de la maladie, et ainsi réduire fortement le taux de cécité.

EyeWisdom est un système d'aide au diagnostic des maladies du fond d'œil, développé en 2017. Il se compose principalement de deux logiciels : *EyeWisdom DSS*, dédié au diagnostic assisté de la rétinopathie diabétique et *EyeWisdom MCS*, un outil de dépistage ophtalmologique couvrant plusieurs pathologies. Ce système est capable de détecter près de 20 maladies oculaires différentes, telles que la rétinopathie diabétique, le glaucome ou encore la Dégénérescence Maculaire Liée à l'Age (DMLA), à partir de photographies du fond d'œil et des antécédents médicaux des patients. En plus de proposer des recommandations automatiques sur les résultats du dépistage, il met en évidence 9 types de lésions caractéristiques de la RD, parmi lesquelles les microanévrismes, les hémorragies rétinienues, les exsudats durs et les taches cotonneuses, afin d'aider les cliniciens à valider leur diagnostic.

EyeWisdom analyse une image et propose les résultats en seulement 10 secondes, ce qui permet une utilisation en temps réel du logiciel.

Une étude publiée dans la revue *Diabetes Research and Clinical Practice*¹⁵⁶ montre l'efficacité diagnostique du système *EyeWisdom*, en ayant comme norme de référence le diagnostic d'un ophtalmologue. L'objectif de cette étude est d'améliorer le taux de sensibilisation et de traitement de la RD, et ainsi réduire le taux de cécité.

Les participants de cette étude sont des patients âgés de 18 ans ou plus, atteints de DT2 pour lesquels les photographies du fond d'œil étaient disponibles. Les critères d'exclusions comprennent les patients dont les variables clés (âge, sexe, antécédents pathologiques) sont manquantes, les patients dont les photographies du fond d'œil ne sont pas d'assez bonne

¹⁵⁵ Société Française d'Ophtalmologie. Epidémiologie et aspects cliniques de la rétinopathie diabétique à propos de 303 cas colligés au CHU Yopougon [en ligne]. Paris : SFO ; 2019 [consulté le 18 mars 2025]. Disponible : [172 - Épidémiologie et aspects cliniques de la rétinopathie diabétique à propos de 303 cas colligés au CHU de Yopougon | SFO-online - Société Française d'Ophtalmologie](#)

¹⁵⁶ Pei X, Yao X, Li Z. Efficacy of artificial intelligence-based screening for diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus patients. *Diabetes Research and Clinical Practice* [en ligne]. 2022 Février [consulté le 18 mars 2025] ; 184 : 1-7. Disponible : [Efficacy of artificial intelligence-based screening for diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus patients - Diabetes Research and Clinical Practice](#)

qualité (petites pupilles, cataractes, opacité vitrée) afin que les ophtalmologues puissent poser un diagnostic, les patients souffrants d'insuffisance hépatique, rénale, cardiaque et ceux atteints de tumeurs malignes.

La Rétinopathie Diabétique a été classifiée en 5 stades : absente, RD non proliférative légère, RD non proliférative modérée, RD non proliférative sévère et RD proliférative (présence de nouveaux vaisseaux sanguins anormaux et fragiles).

Les images de fond d'œil ont été analysées par deux ophtalmologues différents, ainsi que par la plateforme *EyeWisdom* afin d'obtenir un diagnostic. De plus, les ophtalmologues ainsi que le logiciel d'IA avaient à leur disposition les informations sur l'âge, le sexe ainsi que les antécédents médicaux du patient. Lors de son analyse, *EyeWisdom* fournit un diagnostic et des informations sur la gravité de la RD en détectant systématiquement le type, la quantité, la taille et l'emplacement de la RD. Il signale également la présence ou l'absence d'hémorragie de la rétine, de néovascularisation, de micro-angiome, d'exsudation dure et de membrane fibroproliférative.

Les résultats d'analyse et de diagnostic des spécialistes et d'*EyeWisdom* ont ensuite été recueillis puis analysés. Au total, 549 patients âgés de 18 à 97 ans pour lesquels il y avait 1728 images finales ont été inclus dans l'étude.

La comparaison entre la gravité de la classification de la RD réalisée par l'ophtalmologue et celle obtenue avec le logiciel *EyeWisdom DSS* montre que le logiciel a diagnostiqué moins de RD prolifératives que le spécialiste : 21,7% pour *EyeWisdom DSS* contre 25,7% pour l'ophtalmologue. Il a également retrouvé moins de fond d'œil n'ayant pas de RD que le spécialiste : 38,6% pour *EyeWisdom DSS* contre 41,0% pour l'ophtalmologue. Cependant, le logiciel a décelé plus de RD non proliférative sévère (12,9% contre 11,1%) et plus de RD non proliférative légère (12,4% contre 7,8%). Les résultats concernant la RD non proliférative modérée sont les mêmes pour le logiciel et le spécialiste (14,4%) (Figure 44).

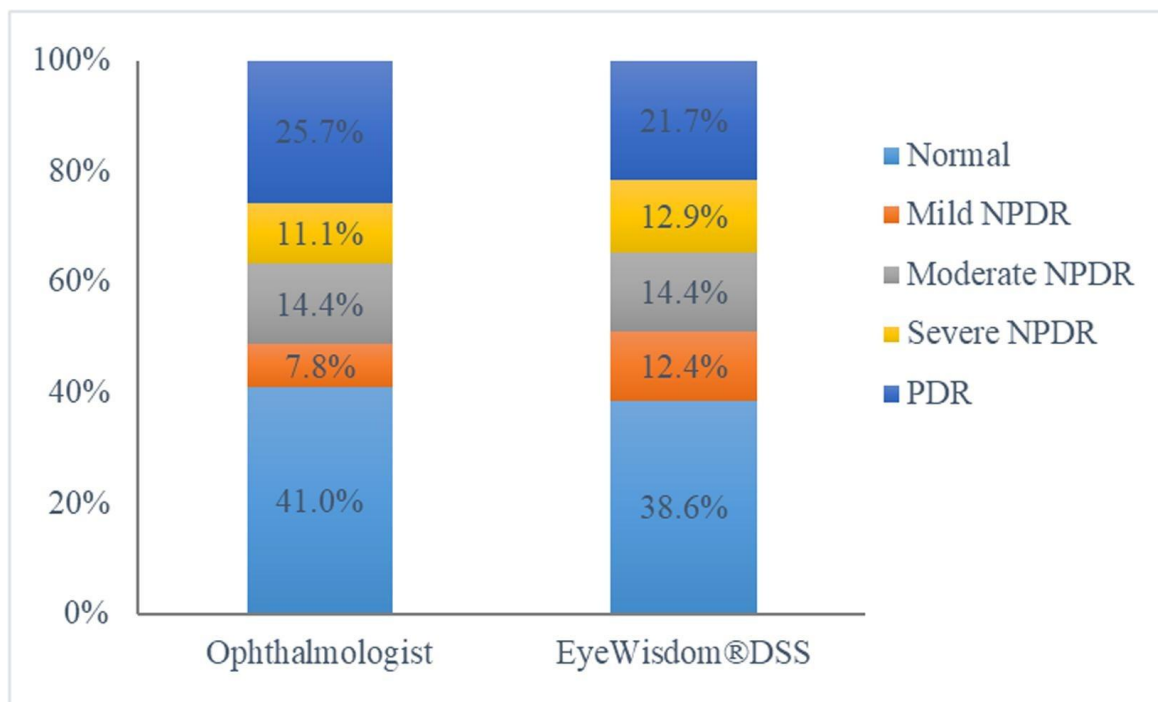


Figure 44 : Comparaison des résultats d'analyse entre l'ophtalmologue et *EyeWisdom DSS*

En ce qui concerne la comparaison entre *EyeWisdom DSS* et *EyeWisdom MCS* : parmi les 324 patients atteints de RD, 91% ont été correctement identifiés comme présentant une RD par *EyeWisdom DSS*, contre 76,2% par *EyeWisdom MCS*. A propos des 225 patients diabétiques sans RD après traitement, 81,3% ont été correctement reconnus comme indemnes de RD par *EyeWisdom DSS*, tandis que 92,4% ont été correctement diagnostiqués par *EyeWisdom MCS*.

Cette étude montre qu'*EyeWisdom DSS* présente une sensibilité plus élevée, tandis qu'*EyeWisdom MCS* offre une spécificité supérieure. Autrement dit, le système dédié aux maladies spécifiques est plus performant pour détecter les patients atteints de RD, tandis que le système multi-pathologies excelle à identifier les sujets sains. Cela suggère qu'*EyeWisdom* peut être envisagé comme un modèle de dépistage de la RD, reposant sur l'IA, adapté à une utilisation à l'hôpital. La combinaison de ces deux systèmes pourrait renforcer la détection précoce et le taux de prise en charge de la RD, contribuant ainsi à prévenir ou retarder sa progression.

3.3.2 La Néphropathie Diabétique

La Néphropathie Diabétique (ND) est une complication fréquente du DT2 et représente la première cause d'entrée en dialyse et d'Insuffisance Rénale Terminale. En fonction de sa présence et de sa gravité, la ND augmente considérablement le risque d'effets indésirables sur la santé, dont la mortalité prématurée des patients atteints de DT2. Il s'agit d'un défi majeur pour la santé publique mondiale, et l'identification précoce de cette pathologie est essentielle pour améliorer le pronostic clinique en mettant en œuvre des interventions ciblées : des modifications du mode de vie empêchant la progression de la maladie, diminuant la dépendance à la dialyse et les dépenses de santé et des interventions thérapeutiques.

Une revue systématique et méta-analyse publiée dans *Frontiers in Endocrinology*¹⁵⁷ en 2025 évalue les performances et l'applicabilité clinique de différents modèles d'IA basés sur l'apprentissage automatique ayant pour objectif de prédire le risque de Néphropathie Diabétique chez les patients DT2. Cette revue porte sur 26 études concernant l'analyse de la performance prédictive des modèles de *Machine Learning* dans l'évaluation du risque de ND chez les patients atteints de Diabète de Type 2. Aucune restriction d'admissibilité concernant l'âge, le sexe, la situation géographique ou l'origine ethnique des patients n'a été appliquée.

Les variables fournies aux algorithmes d'IA sont généralement des informations démographiques (sexe, âge), les facteurs liés au mode de vie (tabagisme, alcoolisme), les caractéristiques de la maladie (antécédents médicaux, durée de la maladie, complications), les mensurations (taille, poids) et les résultats des tests en laboratoire (analyse d'urine et de sang). Certaines études ont également inclus des données comme les paramètres génétiques, les métabolites circulants ou des images (échographie rénale, photographies du fond d'œil).

Les modèles de *Machine Learning* impliqués dans ces études sont :

- La **régression logistique** (11 études),
- La **forêt aléatoire** (9 études),
- L'**arbre de décision** (9 études) : modèle prédictif qui segmente les données en suivant des règles conditionnelles hiérarchiques basées sur les variables explicatives,
- La **machine à vecteurs de support** (6 études) : algorithme qui cherche à séparer les classes en maximisant la marge entre elles à l'aide d'un hyperplan optimal,
- Les **arbres de décision boostés par gradient** ou ***Gradient Boosting Algorithm***

¹⁵⁷ Li Y, Jin N. Machine Learning-based risk predictive models for diabetic kidney disease in type 2 diabetes mellitus patients : a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 2025 Mars 3 [consulté le 4 avril 2025] ; 16. Disponible : [Machine learning-based risk predictive models for diabetic kidney disease in type 2 diabetes mellitus patients: a systematic review and meta-analysis - PubMed](#)

(GBA) (5 études) : modèle d'ensemble qui construit successivement des arbres corrigeant les erreurs des précédents en minimisant une fonction de perte via la descente de gradient,

- Les **réseaux bayésiens** (3 études) : modèles probabilistes représentés sous forme de graphes orientés qui expriment les dépendances conditionnelles entre variables,
- Les **réseaux naïfs bayésiens** (3 études) : classificateur probabiliste basé sur le théorème de Bayes, en supposant que les variables sont indépendantes conditionnellement à la classe,
- Le **boosting adaptatif** (3 études) : technique d'ensemble qui combine plusieurs modèles faibles (souvent des arbres peu profonds) en les pondérant selon leur performance pour améliorer la précision globale,
- L'**opérateur de retrait et de sélection le moins absolu** (3 études) : méthode de régression linéaire permettant de prédire un résultat et de choisir automatiquement les variables les plus importantes, en forçant les moins utiles à devenir nulles.

L'aire sous la courbe (*Area Under the Curve* : *AUC*) et l'Intervalle de Confiance (IC) à 95% ont été utilisés comme principales mesures de capacité, ainsi que la spécificité, la sensibilité, l'exactitude, la valeur prédictive positive, la valeur prédictive négative... L'*AUC* est une valeur comprise entre 0 et 1 qui permet de quantifier la performance globale d'un algorithme classificateur. Un classificateur parfait obtient une *AUC* de 1. L'avantage majeur de l'*AUC* est son insensibilité au déséquilibre des classes, c'est-à-dire qu'elle fournit une évaluation équilibrée dans la performance du modèle.

Un IC à 95% signifie que dans 95% des cas, la méthode fournit un intervalle qui inclut la véritable valeur du paramètre inconnu.

Dans la revue systématique, les valeurs de l'*AUC* ont été classées de la manière suivante :

- $AUC < 0,60$: inadéquate,
- $0,6 < AUC < 0,7$: modérée,
- $0,7 < AUC < 0,8$: acceptable,
- $> 0,80$: excellente.

Le modèle obtenant la meilleure valeur d'*AUC* est la **forêt aléatoire**, avec un *AUC* = 0,848 (IC à 95% : 0,785-0,911), tandis que celui ayant la moins bonne valeur est l'**arbre de décision** avec un *AUC* = 0,748 (IC à 95% : 0,567-0,929). En revanche, ces différences ne sont pas statistiquement significatives.

Afin d'élaborer un algorithme de *Machine Learning* permettant de prédire le risque de ND, il est important de sélectionner des caractéristiques efficaces pour améliorer la précision prédictive et l'interprétabilité des modèles d'IA dans les applications cliniques. Les caractéristiques à inclure dans le modèle sont résumées dans le tableau IV ci-après :

Tableau IV : Résumé des caractéristiques à inclure dans un modèle de *ML* prédisant le risque de ND chez les patients atteints de DT2

Caractéristique	Prédicteurs finaux
Caractéristiques démographiques	Age, sexe, origine ethnique
Antécédents médicaux	HTA, maladies cardiovasculaires et cérébrovasculaires
Durée	Durée du DT2
Mode de vie	Consommation d'alcool et de tabac
Antécédents familiaux	Antécédents familiaux de diabète
Histopathologie	Résultats histopathologiques rénaux
Signatures radiomiques (ensemble de caractéristiques quantitatives extraites automatiquement à partir d'images médicales permettant de décrire de manière détaillée les tissus ou les lésions observées)	Signatures radiomiques rénales
Photographies	Photographies rétinienne
Métabolites circulants	Tyrosine, Lactate, pourcentage d'ester de cholestérol et de phospholipides, citrate, glycoprotéines acétyles, alanine
Attributs génétiques	Mutations génétiques
Antécédents de consommation de médicaments	Insuline, thiazolidinediones, glinides, inhibiteurs de la DPP-4, agoniste du GLP-1, inhibiteurs du SGLT-2, antihypertenseurs
Présence de complications	RD, maladie vasculaire périphérique diabétique, complications macrovasculaires du diabète
Examen physique	Taille, poids, IMC, pression du pouls, pression artérielle, rapport taille-hanche
Examens de laboratoire	Analyse de sang (HbA1c, triglycérides, glycémie, cholestérol, créatinine...), analyse d'urines

La diversité de ces facteurs prédictifs témoigne de la complexité et de la nature multidimensionnelle des mécanismes physiopathologiques associés au risque de ND.

L'*AUC* regroupant tous les modèles de *ML* étudiés dans ces études est $AUC = 0,838$ (IC à 95% : 0,787-0,890), indiquant ainsi que l'utilisation du *ML* dans la prédiction et l'identification de la ND chez les patients DT2 montre des performances prometteuses. Le *ML* optimise les performances des modèles en capturant des relations complexes entre les variables, ce qui lui permet de dépasser les approches statistiques classiques. Cette méta-analyse prouve que l'utilisation du *ML* pour prédire le risque de ND présente un intérêt clinique majeur significatif et constitue une approche de dépistage plus ciblée et plus économique.

3.3.3 Complications cardiovasculaires

La survenue de complications cardiovasculaires chez le patient atteint de DT2 est favorisée par certains facteurs de risques comme la résistance à l'insuline, l'HTA, l'obésité, la dyslipidémie ainsi que l'hyperglycémie. De plus, les patients DT2 présentent plus de risques de développer une Maladie Cardio-Vasculaire (MCV) compte tenu de la peroxydation des lipides entraînant un stress oxydatif, ayant pour conséquence le vieillissement cellulaire précoce et la formation de plaques athéromateuses. Ce phénomène induit la mort cellulaire et favorise la survenue de MCV.

Une revue systématique publiée dans *BioMed Central (BMC)*¹⁵⁸ vise à identifier les modèles basés sur le *Machine Learning* ayant pour objectif de prédire les maladies cardiovasculaires diabétiques. Cette détection précoce serait un atout dans la prise de décision ainsi que la prise en charge clinique du diabète afin de limiter la survenue de MCV.

Au total, 10 études ont été incluses dans cette revue systématique. Les critères d'inclusion sont les études portant sur des patients diagnostiqués avec un DT2 et celles décrivant clairement l'utilisation de *ML* dans un modèle de pronostic et de diagnostic. Les études concernant des patients atteints d'un autre type de diabète ou celles ne mentionnant pas clairement l'utilisation de *ML* ont été exclues. Ces études ont été menées dans le monde entier mais la majorité porte sur une population caucasienne.

Les facteurs prédictifs les plus utilisés dans ces études sont l'**HbA1c** (60% des études), l'**IMC** (50%) et les **antécédents médicaux** (30%). D'autres prédicteurs tels que l'âge, le sexe, la

¹⁵⁸ Ooi Ting K, Harmiza H. Cardiovascular complications in diabetes prediction model using machine learning : a systematic review. BMC : Cardiovascular Diabetology [en ligne]. 2023 Juin 19 [consulté le 22 avril 2025]; 22(13). Disponible : [Cardiovascular complications in a diabetes prediction model using machine learning: a systematic review | Cardiovascular Diabetology | Full Text](#)

pression artérielle, la fréquence cardiaque, le profil lipidique, la consommation de tabac ou d'alcool et la glycémie à jeun ont été utilisés dans une moindre mesure.

Le modèle de *ML* le plus performant selon cette revue est le modèle de **Réseau de Neurones Artificiels** (RNA), atteignant une précision de 76,6%, une spécificité de 87,23% et une sensibilité de 88,06% avec une *AUC* de 0,91.

Le **Gradient Boosting Algorithm** (*GBA*) est le deuxième modèle le plus performant avec une sensibilité de 71% et une *AUC* de 71,13.

Le RNA est composé de couches de neurones connectés tandis que le *GBA* est basé sur une série d'arbres de décision construits les uns après les autres. De plus, le RNA est très efficace pour des données complexes alors que le *GBA* est meilleur pour des données structurées.

En conclusion, le développement de modèles d'IA ayant pour objectif de prédire la survenue de MCV chez les patients atteints de DT2 est essentiel pour réduire efficacement la morbidité, les complications et le fardeau économique que représente ces pathologies.

3.4 Prise en charge

3.4.1 Optimisation de traitement

Il est difficile d'optimiser l'insulinothérapie chez les patients atteints de DT2 car cela nécessite des titrages de doses qui conduisent à des ajustements fréquents de posologie. La plupart du temps, les patients ne parviennent pas à contrôler leur glycémie en raison des visites chez le médecin peu fréquentes (en général tous les 3 à 6 mois) et du manque de temps des professionnels de santé, ce qui conduit à des doses sous-optimales d'insuline.

Est-ce que l'IA pourrait aider les patients atteints de DT2 à obtenir un contrôle glycémique rapide en titrant l'insuline basale à domicile ? Un essai clinique randomisé publié en 2023 dans le *Journal of American Medical Association*¹⁵⁹ nous montre que l'IA présente un intérêt majeur dans la prise en charge de cette pathologie chronique.

Cet essai clinique randomisé porte sur 32 adultes atteints de DT2 nécessitant l'instauration ou l'ajustement de l'insuline basale une fois par jour et suivis durant 8 semaines. L'insuline a été gérée à l'aide d'une application d'IA conversationnelle basée sur la voix (*VBAI* pour *Voice-Based conversational Artificial Intelligence*). Les critères de jugement principaux étaient les

¹⁵⁹ Nayak A, Schulman K. Use of Voice-Based Conversational Artificial Intelligence for Basal Insulin Prescription Management Among Patients With Type 2 Diabetes. *JAMA Network* [en ligne]. 2023 Décembre 1 [consulté le 11 mars 2025] ; 6(12) : 1-11. Disponible : [Use of Voice-Based Conversational Artificial Intelligence for Basal Insulin Prescription Management Among Patients With Type 2 Diabetes: A Randomized Clinical Trial - PMC](#)

suivants : temps écoulé avant l'obtention d'une dose optimale d'insuline (en nombre de jour pour maîtriser la glycémie), l'observance concernant l'insuline et l'évolution des scores d'enquête composites évaluant la détresse émotionnelle liée au diabète, ainsi que les attitudes envers des technologies de la santé et de l'observance médicamenteuse. Les critères secondaires étaient le contrôle et l'amélioration de la glycémie. Les critères d'exclusion comprenaient les patients utilisant des pompes à insulines ou ceux étant incapables d'effectuer une intervention de manière indépendante.

Les participants ont rempli un formulaire d'admission démographique (âge, sexe, origine ethnique) ainsi que 3 sondages : un concernant l'observance médicamenteuse, une enquête sur la détresse émotionnelle liée au diabète et 2 questions portant sur les attitudes à l'égard des technologies de la santé. Ces sondages ont été réalisés avant le début de l'étude, puis après les 8 semaines d'essais cliniques.

Le logiciel d'IA conversationnelle basée sur la voix a été développé spécialement pour cette étude. Il interagit avec les patients par le biais de courtes conversations et de commandes vocales et vise à guider les participants dans l'ajustement de leur insuline basale à domicile. Un protocole de titration de l'insuline comprenant une dose initiale d'insuline, des instructions de titrage de l'insuline et un objectif glycémique à jeun a été réalisé par le médecin de chaque patient, afin d'être transmis à la *VBAI*.

Une fois ce protocole mis en place, les patients devaient entamer une conversation avec l'IA en prononçant la phrase « Alexa, vérifie avec l'essai clinique », puis lui fournir des données cliniques telles que les valeurs de glycémie à jeun et l'utilisation récente d'insuline. Le logiciel fournit ensuite des instructions de dosage d'insuline, mises à jour à partir de ces données. Les cliniciens de l'équipe de recherche pouvaient consulter les données en direct.

Deux groupes ont été formés dans l'étude : un groupe standard recevant de l'insuline basale titrée par leur médecin selon les soins habituels et un autre groupe ayant les données du logiciel d'IA. Le groupe standard devait réaliser les mêmes étapes que le groupe test, cependant leur logiciel n'était pas basé sur l'IA développée pour cette étude mais sur les informations de titration données par les médecins.

Les résultats de l'étude ont démontré que le temps nécessaire afin d'obtenir la dose optimale d'insuline était de 15 jours en moyenne pour le groupe *VBAI* tandis qu'il dépassait 56 jours pour le groupe standard. Moins de la moitié des participants du groupe standard ont atteint la dose optimale d'insuline après 8 semaines. De plus, les participants du groupe *VBAI* ont atteint une observance moyenne à l'insuline de 82,9% contre 50,2% pour ceux recevant les soins

standards. Le nombre moyen d'ajustements automatisés de la dose d'insuline était de 7,3 dans le groupe VBAI, comparé à 1,6 dans le groupe de soins standards. Le délai médian afin d'obtenir la dose optimale d'insuline était de 15 jours pour les participants du groupe VBAI (Figure 45).

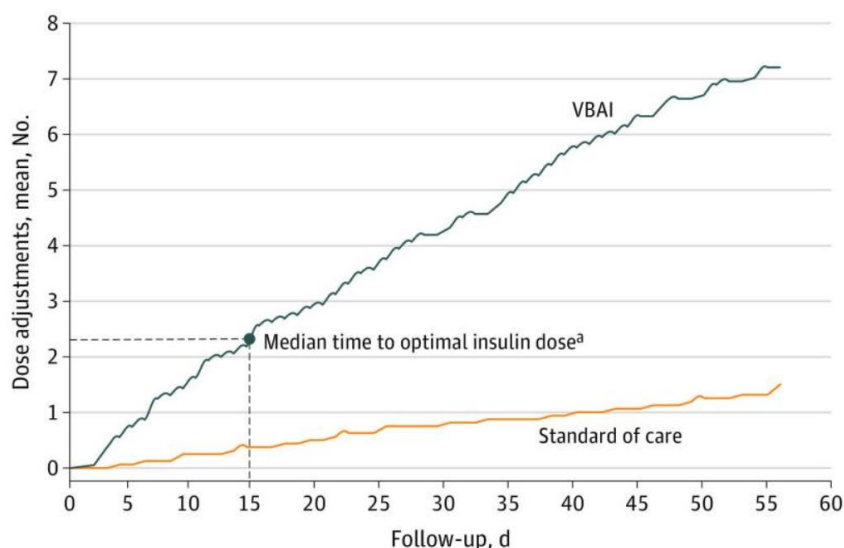


Figure 45 : Nombre d'ajustements de dose d'insuline par participant au fil du temps

Pour ce qui est des résultats concernant les sondages réalisés par les participants :

- **Enquête sur la détresse émotionnelle liée au DT2** : les scores de l'enquête dans le groupe VBAI ont diminué en moyenne de 1,9 points, tandis qu'ils ont augmenté en moyenne de 1,7 point dans le groupe de soins standard. A noter que pour cette enquête, plus les scores sont élevés, plus le patient est atteint de détresse émotionnelle sévère concernant son DT2.
- **Enquête sur les attitudes à l'égard des technologies de santé** : les scores ont augmenté en moyenne de 0,3 point pour les participants VBAI, alors qu'ils ont diminués de 1,1 point en moyenne pour le groupe standard. Pour cette enquête, plus les scores sont élevés, plus le patient est à l'aise pour se faire aider par une technologie de santé.
- **Enquête sur l'observance médicamenteuse** : les scores ont augmenté en moyenne de 0,8 point pour le groupe VBAI et ont diminué de 0,1 point en moyenne dans le groupe de soins standard. Pour cette enquête, plus les scores sont élevés, plus le patient est observant.

A propos de la glycémie à jeun, 81,3% du groupe VBAI sont parvenus à maîtriser leur glycémie à 8 semaines, ce qui montre le maintien du contrôle glycémique. Dans le groupe de soins standard, 25% ont réussi à contrôler leur glycémie.

Le nombre de visite avec un professionnel de santé au cours des 8 semaines est de 1,3 visite en moyenne pour les deux groupes.

Cette étude est la première à utiliser un tel système afin d'ajuster de manière autonome les doses de médicaments par rapport à un protocole préapprouvé par un clinicien. Dans cet essai clinique randomisé, il a été montré que le VBAI était efficace pour gérer la titration basale de l'insuline par rapport au traitement standard. Les participants du groupe VBAI ont bénéficié d'une optimisation plus rapide de leur dose d'insuline, d'une meilleure observance, d'un meilleur contrôle glycémique et d'une réduction de la détresse émotionnelle liée au diabète, comparativement à ceux recevant les soins standards. Ces résultats indiquent que les outils de santé numériques peuvent faciliter le titrage des médicaments et que les interfaces vocales constituent une solution efficace pour les technologies numériques centrées sur les patients.

3.4.2 Détection de la non-observance

La littérature montre que la non-observance est fréquente chez les patients atteints de DT2. Cela entraîne un mauvais contrôle de la glycémie, des risques accrus d'hospitalisation et de complications, une qualité de vie significativement réduite par rapport aux patients observants, ainsi qu'à une augmentation des coûts. L'obtention d'une quasi-normoglycémie peut retarder l'apparition et la progression de la morbidité et de la mortalité liées aux patients diabétiques. D'après certaines études, presque la moitié des traitements prescrits aux patients atteints de DT2 ne sont pas pris comme recommandé.

Plusieurs outils prédictifs ont été développés afin d'identifier les patients atteints de DT2 à haut risque de non-observance médicamenteuse. Une revue systématique publiée dans *l'International Journal of Medical Informatics*¹⁶⁰ compare ces différents outils afin d'en évaluer la qualité méthodologique, la qualité de développement et de validation. Les articles analysés dans cette revue portent sur des adultes de plus de 18 ans, qui développent des outils prédictifs pour le dépistage des patients DT2 à haut risque de non-observance du traitement. La qualité des études a été évaluée à l'aide de l'outil *Prediction model Risk Of Bias Assessment Tool (PROBAST)* comportant 20 questions de signalisation, permettant d'évaluer le risque de biais et l'applicabilité dans quatre domaines (participants, prédicteurs, résultats et analyse). Les études sont ensuite classées en « faible risque », « préoccupation élevée » ou « risque élevé ». Au total, 8 études menées principalement en Asie de l'Est et en Europe ont été incluses dans cette revue. Elles visaient l'observance à l'insuline et l'observance

¹⁶⁰ Malede Berihun Y, Chernet T. Artificial intelligence based predictive tools for identifying type 2 diabetes patients at high risk of treatment Non-adherence : a systematic review. *International Journal of Medical Informatics* [en ligne]. 2025 Mars 1 [consulté le 24 mai 2025] ; 198 (105858). Disponible : [Artificial intelligence based predictive tools for identifying type 2 diabetes patients at high risk of treatment Non-adherence: A systematic review - ScienceDirect](#)

thérapeutique pour le DT2, les rendez-vous cliniques ou visites de suivi manqués et l'arrêt du traitement. Les prédictors inclus afin d'élaborer les modèles d'IA de non-observance étaient l'HbA1c, les données de surveillance du glucose, les caractéristiques démographiques et les détails du traitement (Tableau V).

Tableau V : Comparaison des modèles d'IA analysant la non-observance chez les patients atteints de DT2

Modèle d'IA	Prédicteurs	Performance du modèle (AUC), du plus au moins performant
Régression Logistique	Médicaments, détails de la consultation, maladies, résultats de laboratoire et rendez-vous	AUC = 0,958 Précision = 0,757
Algorithmes d'ensemble Méthode d'apprentissage automatique combinant plusieurs modèles simples	HbA1c, glycémie à jeun, poids, âge, ajustement du régime alimentaire, coûts des médicaments hypoglycémisants, IMC, durée du traitement, dyslipidémie et temps écoulé depuis le test de glycémie précédent	AUC = 0,866
Algorithmes d'ensemble	Glycémie à jeun, HbA1c, glycémie aléatoire, IMC, âge	AUC = 0,837 Précision = 0,709
Extrême gradient boosting (XGBoost) Algorithme de gradient de boosting – sous-type d'algorithme d'ensemble	Médicaments de base, données démographiques, données de laboratoire, comorbidités, utilisation des soins de santé, type d'insuline de référence et médicaments non insuliniques DT2 concomitants	AUC = [0,771-0,782] Précision = 0,64
Régression logistique	Médicaments, données démographiques, maladies, détails de consultation, rendez-vous et résultats de laboratoire	AUC = 0,758
Modèle de régression Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) Technique de régression linéaire	Fréquence des visites chez le médecin, HbA1c, antécédents de traitement antidyslipidémique ou antihypertenseur	AUC = 0,71
Réseaux de Neurones Convolutifs Type de réseau de neurones artificiels	Surveillance continue de la glycémie	Précision = 0,784
Réseaux de Neurones Convolutifs (RNC) et Perceptrons Multicouches (PM) Types de réseaux de neurones artificiels	Surveillance continue de la glycémie	Précision RNC = 0,775 Précision PM = 0,725

La majorité des études (62,5%) présentaient un risque de biais élevé et 87,5% présentaient une faible préoccupation quant à l'applicabilité des modèles de prédiction développés.

Le modèle le plus performant dans la prédiction de la non-observance chez les patients DT2 est la **Régression Logistique**, avec une AUC = 0,958, suivi des modèles d'algorithme d'ensembles.

Cette revue met en lumière l'apport des outils basés sur l'Intelligence Artificielle dans l'amélioration de la prise en charge du Diabète de Type 2. Leur intégration dans le parcours de soins ouvre des perspectives prometteuses pour renforcer l'observance thérapeutique. Si les avancées en apprentissage automatique et en analyse des mégadonnées offrent un potentiel considérable, il reste essentiel de prendre en compte la diversité des populations, d'assurer une rigueur méthodologique et de garantir la pertinence en conditions réelles. En anticipant de manière précise les risques de non-observance, les professionnels de santé peuvent ainsi déployer des interventions ciblées, susceptibles d'améliorer significativement les résultats cliniques.

Les recherches à venir devraient viser à affiner les modèles existants, à identifier de nouveaux prédicteurs et à valider les résultats au sein de populations variées, afin de garantir leur généralisation et leur efficacité. Par ailleurs, il est crucial d'adopter des approches centrées sur le patient et d'évaluer la rentabilité des interventions basées sur l'IA dans la prise en charge du diabète.

4 Discussion

Au terme de ce travail consacré à l'intersection entre le Diabète de Type 2 et l'Intelligence Artificielle, il apparaît essentiel de revenir sur les principaux enseignements et perspectives qu'offre cette alliance prometteuse entre médecine et technologie.

Dans un premier temps, rappelons que le Diabète de Type 2 est une pathologie dont l'incidence augmente de manière exponentielle au cours des dernières décennies. Cette maladie liée à l'obésité représente un enjeu de santé publique majeur à l'échelle mondiale. Face à ce constat, l'IA apparaît comme un outil potentiel d'innovation afin de lutter contre la progression du DT2. Elle représente une ressource puissante dans la gestion personnalisée du DT2, du dépistage à la gestion des complications de la maladie.

De nombreux logiciels d'IA ont vu le jour ces dernières années, en médecine et en pharmacie. Aujourd'hui, elle est utilisée en médecine pour dépister certaines maladies, réaliser des diagnostics médicaux (notamment avec des imageries médicales), aider les professionnels de santé à prendre certaines décisions, réaliser des chirurgies complexes et proposer une médecine personnalisée pour chaque patient. De plus, elle permet de réduire la pression des professionnels de santé en réalisant des tâches administratives redondantes (rédaction de comptes rendus de consultation, courriers...) et en participant à la gestion de certaines épidémies.

En ce qui concerne la pharmacie, l'IA permet de développer de nouveaux traitements, d'analyser les ordonnances et de sécuriser la production et la délivrance des médicaments.

Afin de mieux comprendre les enjeux liés à l'application de l'IA dans la prise en charge du DT2, il convient de revenir sur les principaux éléments développés auparavant. L'IA joue un rôle dans de nombreux aspects de la maladie :

- Prédiction de la survenue du DT2 en analysant les facteurs de risque,
- Développement et utilisation de biomarqueurs numériques afin de diagnostiquer le DT2,
- Amélioration de la prise en charge des complications en les détectant plus précocement (rétinopathie diabétique, néphropathie diabétique, complications cardiovasculaires),
- Optimisation de la prise en charge en adaptant les traitements médicamenteux de manière plus récurrente et précise, et en détectant la non-observance des patients.

L'IA représente une grande opportunité dans la gestion personnalisée du DT2, il s'agit aujourd'hui d'une aide non négligeable vis-à-vis du manque de professionnels de santé dont le monde est victime. Elle permet d'améliorer la prévention, de faciliter la prise en charge et la prescription de médicaments.

Cependant, l'IA représente également certaines menaces. Dans un premier temps, l'IA soulève de nombreuses questions déontologiques et éthiques, particulièrement dans le domaine de la santé, où les décisions peuvent avoir un impact direct sur la vie, la dignité et les droits des patients. Plusieurs enjeux sont à prendre en compte.

Tout d'abord, la transparence et l'explicabilité : l'IA prend des décisions sans que les professionnels de santé puissent toujours comprendre comment ces résultats sont obtenus. Cela pose un problème éthique, car les cliniciens ont la responsabilité professionnelle de justifier leurs choix thérapeutiques.

La responsabilité et l'imputabilité sont également des questions soulevées par l'utilisation de l'IA : en cas d'erreur de diagnostic ou de traitement induite par une IA, qui est responsable ? Le médecin ayant utilisé l'outil, le développeur du système, l'établissement de santé ? Cette incertitude soulève des problèmes juridiques et déontologiques majeurs, notamment en matière de consentement éclairé et de traçabilité des décisions.

Certains biais historiques ou sociaux peuvent être présents avec l'utilisation des données de santé utilisées pour entraîner les algorithmes d'IA. Cela peut conduire à des disparités de traitement, à des diagnostics moins fiables pour certaines catégories de patients, ou à la reproduction de discriminations systémiques (sexe, âge, origine...). Les données médicales étant des données sensibles, l'utilisation de l'IA soulève également des questions de confidentialité, de sécurité des données et de consentement éclairé à l'usage secondaire des données. Cette analyse massive de données médicales peut menacer les vies privées des patients et éroder la confiance envers les systèmes de santé. Le recours croissant à des technologies automatisées peut réduire l'interaction humaine dans le parcours de soins, ce qui va à l'encontre d'une éthique fondée sur l'écoute, l'empathie et la prise en compte globale de la personne.

L'IA en santé n'est pas éthiquement neutre et transforme la manière dont les soins sont pensés et dispensés. Cela nécessite un encadrement rigoureux, fondé sur des principes éthiques solides, mais aussi une collaboration étroite entre développeurs, cliniciens, patients et juristes.

L'Intelligence Artificielle, bien qu'innovante et prometteuse dans de nombreux domaines, a un impact écologique non négligeable, souvent sous-estimé. Cet impact se manifeste à plusieurs niveaux, principalement à travers la consommation énergétique, l'extraction de ressources et la production de déchets électroniques.

Tout d'abord, les grands modèles d'IA, notamment ceux de *Deep Learning*, nécessitent une puissance de calcul considérable, surtout lors de leur phase d'entraînement.

En 2023, l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) a révélé que les centres de données

représentent environ 1% à 1,5%¹⁶¹ de la consommation électrique mondiale. Une grande partie de cette énergie provient de sources non renouvelables (charbon, nucléaire), ce qui alimente la progression du dérèglement climatique. Il est toutefois difficile de mesurer l'empreinte carbone de l'IA car ces technologies échappent à des réglementations strictes concernant leur impact énergétique. Cependant, d'après des chercheurs de l'université du Massachusetts, faire fonctionner des réseaux de neurones sur un unique processeur pendant une journée génère une quantité équivalente d'émission de CO₂ à celle produite par cinq voitures sur toute leur durée de vie (y compris la fabrication) ou à celle émise par un vol commercial New York-San Francisco pour 300 passagers, soit 284 tonnes de CO₂¹⁶². A titre de comparaison, un citoyen français émet en moyenne 9,3 tonnes de CO₂ par an¹⁶³, ce qui signifie que l'utilisation de réseaux de neurones sur un seul processeur pendant une journée correspond à la dépense énergétique d'environ 30 citoyens français sur un an.

Pour citer un autre exemple, le développement de *GTP-3 (Open AI)* a nécessité une quantité énergétique estimée à plusieurs gigawatt-heures. La phase de pré-entraînement de ce modèle a généré à elle-seule l'équivalent de 626 tonnes de CO₂, soit la consommation énergétique d'environ 67 citoyens français sur un an.

Les centres de données mobilisés pour ces calculs ont besoin d'une alimentation continue et d'un système de refroidissement constant, ce qui engendre des émissions massives de dioxyde de carbone. Face à la demande mondiale de l'IA, une consommation de 4,2 à 6,6¹⁶⁴ milliards de mètres cubes d'eau douce pourrait être utilisée d'ici 2027, ce qui est supérieur au prélèvement annuel total d'eau de la moitié du Royaume-Unis.

La fabrication des composants informatiques très spécialisés, indispensable au développement d'un logiciel d'IA, nécessite l'extraction de métaux rares (lithium, cobalt...), souvent dans des conditions environnementales et sociales problématiques (pollution des sols, consommations d'eau, conditions de travail précaires). Ce matériel a besoin d'être fréquemment renouvelé, dû à une obsolescence rapide des équipements, ce qui produit des déchets électroniques difficiles à recycler, souvent exportés dans des pays à faible réglementation.

¹⁶¹ Oriqpete O, Ewim D. Impact of Data Centers on Climate Change : A Review of Energy Efficient Strategies. The Journal of Engineering and Exact Sciences [en ligne]. 2023 Août 20 [consulté le 17 juin 2025]; 9(6). Disponible : [\(PDF\) Impact of Data Centers on Climate Change: A Review of Energy Efficient Strategies](#)

¹⁶² Institut Supérieur de l'Environnement. L'Intelligence Artificielle : une pollution cachée au cœur de l'innovation [en ligne]. Versailles : ISE ; 2024 [consulté le 17 juin 2025]. Disponible : [L'intelligence artificielle : une pollution cachée au cœur de l'innovation - Institut Supérieur de l'Environnement - ISE](#)

¹⁶³ Service des Données et Etudes Statistiques – Ministère de la Transition Ecologique. Empreinte carbone d'un citoyen français [en ligne]. Paris : Agence de la Transition Ecologique ; 2022 [consulté le 17 juin 2025]. Disponible : [Empreinte carbone d'un citoyen français | Impact CO₂](#)

¹⁶⁴ Pengfei L, Jianyi Y. Making AI Less "Thirsty" : Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. Cornell University [en ligne]. 2025 Mars 26 [consulté le 17 juin 2025]. Disponible : [\[2304.03271\] Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models](#)

Afin d'aller vers une IA plus durable et responsable, plusieurs pistes émergent, comme l'optimisation énergétique des algorithmes (modèles plus légers, moins gourmands en calcul), la réutilisation et la mutualisation des modèles existants, l'utilisation de centres de données alimentés par des énergies renouvelables ainsi que l'évaluation systématique de l'impact environnemental dans les projets utilisant l'IA.

L'IA peut contribuer à des solutions durables mais son développement doit être pensé de manière responsable, car elle dégrade de manière non négligeable notre environnement.

En ce qui concerne le pharmacien d'officine, son rôle dans la prise en charge du DT2 a considérablement évolué au cours de ces dernières années, en devenant un acteur important dans le parcours de soins du patient. Le pharmacien d'officine garde non seulement son rôle traditionnel de délivrance conforme et sécurisée des médicaments prescrits, mais joue également un rôle crucial d'éducation et de suivi thérapeutique. Il aide le patient à comprendre l'importance de l'observance thérapeutique en expliquant les risques liés à une mauvaise observance (hyperglycémie, complications chroniques...). Il rappelle également les règles hygiéno-diététiques concernant l'alimentation, l'activité physique régulière et la gestion du poids, qui sont les principaux piliers du traitement du DT2. De plus, le pharmacien d'officine apprend au patient à identifier les signes d'urgence comme les symptômes d'hypoglycémie ou d'hyperglycémie sévère, et à réagir en conséquence.

Depuis 2013, en France, des entretiens pharmaceutiques personnalisés sont proposés aux patients traités par insuline, ce qui permet une meilleure compréhension du traitement, une évaluation de l'observance, un suivi de l'autosurveillance glycémique et une gestion coordonnée des professionnels de santé entourant le patient. C'est un acteur du parcours de soins coordonné car il échange avec les autres professionnels de santé pour permettre une prise en charge globale du patient. Il participe au suivi et au partage d'informations de santé via le Dossier Médical Partagé (DMP).

Le pharmacien d'officine est un professionnel de santé de première ligne, essentiel dans la prévention primaire et secondaire du DT2. Il repère les patients à risque (obésité, antécédents familiaux, HTA, âge) et réoriente ainsi les personnes concernées vers un médecin afin de réaliser un dépistage. Par ailleurs, certaines officines proposent la mesure de la glycémie capillaire ou de l'HbA1c dans le cadre de programmes pilotes ou de partenariats locaux.

Les outils numériques occupent une place centrale dans la gestion du DT2, que ce soit pour les patients ou les professionnels de santé. Ils permettent une surveillance glycémique régulière, une adaptation du traitement et un suivi à distance. Parmi ces technologies, nous retrouvons les capteurs de glucose en continu (Freestyle Libre[®] commercialisé par Abbott, *Guardian Connect*[®] commercialisé par Medtronic) qui se collent à l'arrière du bras afin de

mesurer le glucose interstitiel en continu pendant 14 jours. Les données sont ensuite scannées avec un lecteur ou un smartphone, ce qui permet un suivi en temps réel ou différé, une diminution du nombre de piqûres au doigt et une meilleure compréhension des variations glycémiques (notamment en cas de stress, d'activité physique intense ou d'alimentation inhabituelle). Des applications mobiles de suivi, synchronisées automatiquement avec les capteurs, permettent aux patients de centraliser leurs données (*LibreLink*® associée au Freestyle Libre, Diabéo®, *MySugr*®, Glooko®...). Un suivi à distance de la glycémie est possible via des plateformes sécurisées (*LibreView*®, *GlucoView*®, interfaces intégrées au DMP), permettant aux professionnels de santé de suivre l'évolution à distance et d'adapter le traitement en cas de besoin.

Dans ce contexte numérique, l'IA joue un rôle croissant dans la prise en charge du DT2 en apportant d'autres outils tels que l'analyse des données, la prédiction des variations glycémiques, l'automatisation et la personnalisation des soins. Elle vient compléter les dispositifs connectés et les données de santé afin d'améliorer la prévention, le diagnostic, le traitement et le suivi.

5 Conclusion

Le pharmacien d'officine de demain occupera une place essentielle dans la prise en charge personnalisée des patients atteints de DT2. Il pourrait avoir à sa disposition des outils d'IA permettant de repérer, orienter et conseiller au mieux les patients diabétiques de type 2. Par exemple, il pourrait s'appuyer sur des algorithmes prédictifs afin de mieux anticiper les risques de complications, optimiser les schémas thérapeutiques, et adapter les conseils hygiéno-diététiques, et cela en fonction des données individuelles du patient (glycémie, observance, poids...). L'utilisation de l'IA par le pharmacien d'officine pourrait également améliorer le suivi à distance via des plateformes connectées, facilitant ainsi l'échange d'ordonnances, la détection précoce d'un déséquilibre glycémique ou l'ajustement des prises de médicaments. Le pharmacien d'officine est un acteur clé de la coordination des soins de proximité, pouvant un jour allier les technologies intelligentes à son expertise humaine, dans le but d'offrir un accompagnement plus proactif, éducatif et centré sur le patient.

L'IA s'annonce comme un outil puissant d'aide à la décision, de gestion et de relation patient. Elle pourrait apporter une aide à la dispensation personnalisée en analysant les ordonnances plus finement, en adaptant les conseils proposés par le pharmacien ainsi qu'en anticipant les effets indésirables en fonction des profils statistiques ou génétiques. Avec un outil comme celui-ci, le pharmacien d'officine pourrait être le professionnel de santé le mieux placé pour répondre aux attentes de chaque patient de manière personnalisée, afin d'optimiser au mieux

la prise en charge. Le pharmacien pourrait également être épaulé par l'IA dans la gestion officinale : la gestion des stocks, la prévision des ruptures et l'anticipation de la demande saisonnière seraient organisés plus simplement avec une assistance intelligente. Cela permettrait un gain de temps, une diminution des erreurs et plus de disponibilité pour le conseil et la prise en charge des patients au comptoir. La relation des patients avec le pharmacien pourrait être également améliorée, l'IA pourrait traduire instantanément ou simplifier les explications médicales pour permettre une meilleure compréhension des enjeux liés à la santé. Un outil de suivi thérapeutique automatisé pourrait envoyer aux patients des alertes en cas d'oubli, des rappels de prises et pourrait proposer un suivi des effets secondaires, qui serait facilement accessible par le pharmacien d'officine, pour optimiser le bien-être et garantir une prise en charge optimale.

Le pharmacien officinal pourrait voir son rôle amplifié par l'IA, il passerait alors de la position d'acteur passif du système de santé à pivot intelligent entre les différentes structures médicales, tout en restant un professionnel de santé expert du médicament et de l'accompagnement thérapeutique du patient.

En conclusion, l'intégration de l'IA dans la prise en charge du DT2 ouvre des perspectives prometteuses pour le suivi plus personnalisé, prédictif et efficace, mais elle rend également indispensable la formation continue des pharmaciens d'officine. En effet, il devient nécessaire de maîtriser ces nouveaux outils pour accompagner les patients en toute sécurité et rester des acteurs clés dans un parcours de soins de plus en plus digitalisé. Faisons le pari pour l'avenir de la profession, que le rôle du pharmacien officinal sera augmenté par l'apport de toutes les IA, à condition que celles-ci soient bien utilisées, dans le respect des patients et des données de santé des patients.

BIBLIOGRAPHIE

1. World Health Organization [en ligne]. Genève : WHO ; 2024. Diabète, il est urgent d'agir alors que le nombre de cas de diabète dans le monde a été multiplié par quatre au cours des dernières décennies [consulté le 16 juin 2025]. Disponible : [Il est urgent d'agir alors que le nombre de cas de diabète dans le monde a été multiplié par quatre au cours des dernières décennies](#)
2. Wikipédia. Diabète de Type 2 [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 17 mai 2025]. Disponible : [Diabète de type 2 — Wikipédia](#)
3. Fédération française des diabétiques [en ligne]. Paris : FFD. Qu'est-ce que le diabète ; [consulté le 15 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : Types de diabète | Qu'est-ce que le diabète ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)
4. World Health Organization [en ligne]. Genève : WHO ; 2014. Diabète, aperçu ; [consulté le 18 octobre 2024]. Disponible : [Diabète \(who.int\)](#)
5. Sciences et avenir. Diabète : le nombre de patients a explosé en 35 ans [en ligne]. 2016 [consulté le 18 novembre 2024]. Disponible : [Diabète : le nombre de patients a explosé en 35 ans - Sciences et Avenir](#)
6. World Health Organization [en ligne]. Genève : WHO ; 2016. Rapport Mondial sur le diabète ; [consulté le 18 novembre 2024]. Disponible : [9789242565256-fre.pdf](#)
7. Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, répartition des effectifs ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)
8. Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, répartition par tranche d'âge ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)
9. Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, dépenses remboursées ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)
10. Institut national de la statistique et des études économiques [en ligne]. France : INSEE ; 2023 [consulté le 22 octobre 2024]. Disponible : [Dépenses de santé – France, portrait social | Insee](#)
11. Bessaguet F, Desmoulière A. Le pancréas. Actualités pharmaceutiques [en ligne]. 2021 juin [consulté le 19 octobre 2024] ;60(607) :55-59. Disponible : [Le pancréas - ScienceDirect \(univ-tours.fr\)](#)
12. Daziano G. Rôle du propeptide de la sortiline et de ses dérivés dans les mécanismes de survie de la cellule bêta pancréatique [en ligne]. 153. Thèse de doctorat : Biologie cellulaire : Université Côte d'Azur : 2021 [consulté le 19 octobre 2024]. Disponible : [Role du propeptide de la sortiline et de ses deriv.pdf](#)
13. Schlienger J-L. The history of the islets of Langerhans. Elsevier [en ligne]. 2022 Juillet 2 [consulté le 22 octobre 2024] ; 16(7) : 655-661. Disponible : [L'histoire des îlots de Langerhans - ScienceDirect](#)
14. Bessaguet F, Desmoulière A. Le pancréas. Actualités pharmaceutiques [en ligne]. 2021 juin [consulté le 19 octobre 2024] ;60(607) :55-59. Disponible : [Le pancréas - ScienceDirect \(univ-tours.fr\)](#)
15. Daziano G. Rôle du propeptide de la sortiline et de ses dérivés dans les mécanismes de survie de la cellule bêta pancréatique [en ligne]. 153. Thèse de doctorat : Biologie cellulaire : Université Côte d'Azur : 2021 [consulté le 19 octobre 2024]. Disponible : [Role du propeptide de la sortiline et de ses deriv.pdf](#)
16. Argawal S, Sahay R. Insulin monograph (a complete guide to insulin therapy) [en ligne]. Jaypee Brothers Medical Publishers ; 2020 [consulté le 22 octobre 2022]. 338 p. Disponible : [RSSDI's Insulin Monograph: A Complete Guide to Insulin Therapy - Sanjay Agarwal, Rakesh Sahay - Google Livres](#)
17. Argawal S, Sahay R. Insulin monograph (a complete guide to insulin therapy) [en ligne]. Jaypee Brothers Medical Publishers ; 2020 [consulté le 22 octobre 2022]. 338 p. Disponible : [RSSDI's Insulin Monograph: A Complete Guide to Insulin Therapy - Sanjay Agarwal, Rakesh Sahay - Google Livres](#)
18. Argawal S, Sahay R. Insulin monograph (a complete guide to insulin therapy) [en ligne]. Jaypee Brothers Medical Publishers ; 2020 [consulté le 22 octobre 2022]. 338 p. Disponible : [RSSDI's Insulin Monograph: A Complete Guide to Insulin Therapy - Sanjay Agarwal, Rakesh Sahay - Google Livres](#)
19. Taborsky G. The physiology of glucagon. Journal of diabetes science and technology [en ligne]. 2010 Novembre 6 [consulté le 23 octobre 2024] ; 4(6) : 1338-1344. Disponible : [La physiologie du glucagon \(sagepub.com\)](#)
20. Fédération française des diabétiques. Qu'est-ce que le diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : Types de diabète | Qu'est-ce que le diabète ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)
21. Tenenbaum M, Bonnefond A, Frogel P, Abderrahmani A. Physiopathologie du diabète. Elsevier [en ligne]. 2018 Mai [consulté le 28 octobre 2024] ; 2018(502) : 26-32. Disponible : [Physiopathologie du diabète - ScienceDirect](#)
22. CHU Nantes. Prédiabète [en ligne]. Nantes : CHU Nantes ; 2024 [consulté le 23 octobre 2024]. Disponible : [CHU de Nantes - Prédiabète \(chu-nantes.fr\)](#)
23. International diabetes federation. Diabète de type 2 [en ligne]. France : IDF ; 2024 [consulté le 20 octobre 2024]. Disponible : [Diabète de type 2 Fédération Internationale du Diabète](#)
24. Chevalier N. Les référentiels des collèges : Endocrinologie, diabétologie et maladies métaboliques. 5^{ème} édition.Nice : Elsevier Masson ; 2021. 287 p.
25. Assurance maladie [en ligne]. Indre-et-Loire : ameli ; 2024. Causes et facteurs favorisant du diabète ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Causes et facteurs favorisant du diabète | ameli.fr | Assuré](#)
26. Fédération française des diabétiques. Facteurs de risque et diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : quels sont les facteurs de risque et comment les contrôler ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)
27. Fédération française des diabétiques. Facteurs de risque et diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : quels sont les facteurs de risque et comment les contrôler ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)
28. Heurtelbe M, Faillie J. Drug-induced hyperglycemia and diabetes. ScienceDirect [en ligne]. 2023 Octobre 31 [consulté le 16 octobre 2024] ;79(2) :221-238. Disponible : [Hyperglycémie et diabète d'origine médicamenteuse - ScienceDirect](#)
29. Assurance maladie [en ligne]. Paris : ameli ; 2024. Diabète, comorbidités associées ; [consulté le 16 octobre 2024]. Disponible : [Pathologie — Data ameli](#)
30. Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 23 octobre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)
31. World Health Organisation. Diabète, prévention [en ligne]. Genève : WHO ; 2023 [consulté le 28 octobre 2024]. Disponible : [Diabète](#)
32. Fédération française des diabétiques. Qu'est-ce que le diabète [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 15 octobre 2024]. Disponible : [Diabète : Types de diabète | Qu'est-ce que le diabète ? \(federationdesdiabetiques.org\)](#)

33. Institut national de la santé et de la recherche médicale [en ligne]. Paris : INSERM ; 2019. Diabète de type 2 ; [consulté le 15 octobre 2024]. Disponible : [Diabète de type 2 - Inserm, La science pour la santé](#)
34. Bergman M. Current diagnostic criteria identify risk for type 2 diabetes too late. The Lancet [en ligne]. 2023 Avril 6 [consulté le 6 novembre 2024] ; 11(4) : page 224-226. Disponible : [Current diagnostic criteria identify risk for type 2 diabetes too late - The Lancet Diabetes & Endocrinology](#)
35. HAS. Prévention et dépistage du diabète de type 2 et des maladies liées au diabète. Référentiel de pratiques de l'examen périodique de santé [en ligne]. Paris : HAS ; 2014 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [7v referentiel 2clics diabete 060215.pdf](#)
36. Hôpitaux Universitaires Genève. Technique clinique : hyperglycémie provoquée par voie orale [en ligne]. Genève : HUG ; 2022 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [HUG_00000815.pdf](#)
37. HAS. Prévention et dépistage du diabète de type 2 et des maladies liées au diabète. Référentiel de pratiques de l'examen périodique de santé [en ligne]. Paris : HAS ; 2014 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [7v referentiel 2clics diabete 060215.pdf](#)
38. HAS. Prévention et dépistage du diabète de type 2 et des maladies liées au diabète. Référentiel de pratiques de l'examen périodique de santé [en ligne]. Paris : HAS ; 2014 (consulté le 28 octobre 2024). Disponible : [7v referentiel 2clics diabete 060215.pdf](#)
39. Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 23 octobre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)
40. Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 10 novembre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)
41. International Diabetes Federation. Diabetes and kidney disease. IDF Atlas reports. 2023 [consulté le 10 novembre 2024]. Disponible : [Diabète et maladies rénales | Atlas du diabète de la FID](#)
42. Haute autorité de santé. Maladie rénale chronique de l'adulte (MRC). Guide du parcours de soins [en ligne]. 2023 Septembre [consulté le 10 novembre 2024]. Page 13-16. Disponible : [Guide du parcours de soins – Maladie rénale chronique de l'adulte \(MRC\)](#)
43. Fédération Française des Diabétiques. La rétinopathie diabétique et les maladies des yeux [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 11 novembre 2024]. Disponible : [Rétinopathie Diabétique | Diabète symptômes dans les yeux](#)
44. Bosquet E. La rétinopathie diabétique. Pour la Vision, centre de recherches d'ophtalmologie [en ligne]. 2024 [consulté le 11 novembre 2024]. Disponible : [La rétinopathie diabétique - Pour la vision | Association CRO](#)
45. Malgrange D. Physiopathology of the diabetic foot. Elsevier [en ligne]. 2008 Septembre [consulté le 12 novembre 2024] ; 29(2) : 231-237. Disponible : [Physiopathologie du pied diabétique - ScienceDirect](#)
46. Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 12 novembre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)
47. Fédération Française des Diabétiques. Le pied diabétique et ses infections [en ligne]. Paris : FFD [consulté le 12 novembre 2024]. Disponible : [Pied Diabétique | Diabète & Pieds | Conséquences du Diabète sur les Pieds](#)
48. Schlienger J. Type 2 diabetes complications. Elsevier [en ligne]. 2013 Mars 23 [consulté le 12 novembre 2024] ; 42(5) : 839-848. Disponible : [Complications du diabète de type 2 - ScienceDirect](#)
49. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 12 novembre 2024]. Disponible : [strategie therapeutique du patient vivant avec un diabete de type 2 - recommandations.pdf](#)
50. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 19 novembre 2024]. Disponible : [Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2](#)
51. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 19 novembre 2024]. Disponible : [Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2](#)
52. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Surpoids et obésité de l'adulte : prise en charge médicale de premier recours. Paris : HAS ; 2012 Décembre 26 [consulté le 1 janvier 2025]. Disponible : [Haute Autorité de Santé - Surpoids et obésité de l'adulte : prise en charge médicale de premier recours](#)
53. Département Prévention Cancer Environnement : Centre Léon Bérard. Surpoids, obésité et cancer [en ligne]. Lyon : Centre Léon Bérard ; 2023 [consulté le 1 janvier 2025]. Disponible : [Surpoids, obésité et cancer • Cancer Environnement](#)
54. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 19 novembre 2024]. Disponible : [Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2](#)
55. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Synthèse : Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 23 novembre 2024]. Disponible : [Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2](#)
56. Foretz M, Guigas B, Viollet B. Recent advances on elucidating the mechanism of metformin action in type 2 diabetes. Elsevier [en ligne]. 2021 Novembre 25 [consulté le 19 novembre 2024] ; 15 (7) : page 648-660. Disponible : [Données récentes sur le mécanisme d'action de la metformine dans le diabète de type 2 - ScienceDirect](#)
57. VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Dapagliflozine : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)
58. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [strategie therapeutique du patient vivant avec un diabete de type 2 - recommandations.pdf](#)
59. VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2019 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Sémaglutide : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)
60. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [strategie therapeutique du patient vivant avec un diabete de type 2 - recommandations.pdf](#)
61. VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Sitagliptine : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)
62. VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Glipizide : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)
63. Haute Autorité de Santé [en ligne]. Stratégie thérapeutique du patient vivant avec un diabète de type 2. Paris : HAS ; 2024 Mai 30 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible :

- [strategie_therapeutique_du_patient_vivant_avec_un_diabete_de_type_2_-_recommandations.pdf](#)
64. VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 22 novembre 2024]. Disponible : [Répaglinide : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)
 65. VIDAL [en ligne]. Issy-les-Moulineaux ; 2021 [consulté le 23 novembre 2024]. Disponible : [Acarbose : substance active à effet thérapeutique - VIDAL](#)
 66. Hôpitaux Universitaires de Genève. Les insulines [en ligne]. Genève : HUG ; 2016 [consulté le 23 novembre 2024]. Disponible : [insulines](#)
 67. Dictionnaire Larousse. Encyclopédie : intelligence artificielle [en ligne]. Paris : Larousse ; 2024 [consulté le 29 novembre 2024]. Disponible : [intelligence artificielle - LAROUSSE](#)
 68. Commission nationale de l'informatique et des libertés. *Artificial neural network* [en ligne]. Paris : CNIL ; 2024 [consulté le 30 novembre 2024]. Disponible : [Réseau de neurones artificiels \(artificial neural network\) | CNIL](#)
 69. Bouguerra H. Quantification et modélisation des transports solides [en ligne]. 96 f. Thèse de doctorat : Technologie : Tlemcen ; 2018 [consulté le 30 novembre 2024]. Disponible : [Doc.Hyd.BOUGUERRA-Hamza.pdf](#)
 70. Karapetyan S. L'apprentissage automatique pour les chefs de produit [en ligne]. Neuilly-sur-Marne : The Product Manager ; 2024 [consulté le 1 décembre 2024]. Disponible : [L'apprentissage automatique pour les chefs de produit : un cours intensif sur les robots pour les humains - The Product Manager](#)
 71. Sternchuss A. Les chiffres 2023-2024 du marché de l'IA dans le monde [en ligne]. Paris : Le Hub ; 2024 [consulté le 01 décembre 2024]. Disponible : [Les chiffres 2023-2024 du marché de l'IA dans le monde - BpiFrance Le Hub](#)
 72. Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Index Report 2024 [en ligne]. Avril 2024 [consulté le 16 janvier 2025]. Disponible : [HAI AI-Index-Report-2024.pdf](#)
 73. Wikipédia. Test de Turing [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 07 janvier 2025]. Disponible : [Test de Turing — Wikipédia](#)
 74. Wikipédia. Conférence de Dartmouth [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 07 janvier 2025]. Disponible : [Conférence de Dartmouth — Wikipédia](#)
 75. Wikipédia. Perceptron [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [Perceptron — Wikipédia](#)
 76. Wikipédia. ELIZA [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [ELIZA — Wikipédia](#)
 77. Crochet-Damais A. AI winter : qu'est-ce que l'hiver de l'IA ? [en ligne]. Paris : Journal du net ; 2022 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [AI winter : qu'est-ce que l'hiver de l'IA ?](#)
 78. L'intelligence artificielle. Progression fulgurante de l'IA (1980 à aujourd'hui) [en ligne]. France : L'intelligence artificielle ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [Progression fulgurante de l'IA \(1980 à aujourd'hui\) - Intelligence artificielle](#)
 79. L'intelligence artificielle. Progression fulgurante de l'IA (1980 à aujourd'hui) [en ligne]. France : L'intelligence artificielle ; 2024 [consulté le 08 janvier 2025]. Disponible : [Progression fulgurante de l'IA \(1980 à aujourd'hui\) - Intelligence artificielle](#)
 80. Wikipédia. Deep Blue [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 10 janvier 2025]. Disponible : [Deep Blue — Wikipédia](#)
 81. Wikipédia. Yann Le Cun [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 10 janvier 2025]. Disponible : [Yann Le Cun — Wikipédia](#)
 82. Wikipédia. AlphaGo [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [AlphaGo — Wikipédia](#)
 83. Wikipédia. ChatGPT [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [ChatGPT — Wikipédia](#)
 84. Wikipédia. Transformateur génératif préentraîné [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2024 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [Transformateur génératif préentraîné — Wikipédia](#)
 85. Louapre D. Ce qui se cache derrière le fonctionnement de ChatGPT [en ligne]. Youtube : ScienceEtonnante ; 2023 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [Ce qui se cache derrière le fonctionnement de ChatGPT](#)
 86. Future of Life institute. Pause Giant AI Experiments : An Open Letter [en ligne]. Belgique : FLI ; 2023 [consulté le 13 janvier 2025]. Disponible : [Pause Giant AI Experiments: An Open Letter - Future of Life Institute](#)
 87. Callier P, Sandel O. De l'intelligence artificielle à son application en médecine. Science direct [en ligne]. 2021 Décembre 4 [consulté le 2 décembre 2024] ; 60(611) :18-20. Disponible : [De l'intelligence artificielle à son application en médecine - ScienceDirect](#)
 88. Bakkar N. L'intelligence artificielle dans la recherche sur les maladies neurodégénératives : utilisation d'IBM Watson pour identifier d'autres protéines de liaison à l'ARN modifiées dans la sclérose latérale amyotrophique. Acta Neuropathologica [en ligne]. 2017 Novembre 13 [consulté le 16 janvier 2025] ; 135 : page 227-247. Disponible : [L'intelligence artificielle dans la recherche sur les maladies neurodégénératives : utilisation d'IBM Watson pour identifier d'autres protéines de liaison à l'ARN altérées dans la sclérose latérale amyotrophique | Acta Neuropathologica](#)
 89. Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence. Artificial Intelligence Index Report 2024 [en ligne]. Avril 2024 [consulté le 16 janvier 2025]. Disponible : [HAI AI-Index-Report-2024.pdf](#)
 90. MedTech Europe, from diagnosis to cure. The socio-economic impact of AI in healthcare [en ligne]. 2020 Octobre [consulté le 16 janvier 2025]. Disponible : [mte-ai_impact-in-healthcare_oct2020_report.pdf](#)
 91. Haute Autorité de Santé. Guide méthodologique : L'évaluation des aspects éthiques à la HAS [en ligne]. Paris : HAS ; 2013 [consulté le 2 décembre 2024]. Disponible : [Microsoft Word - Guide aspects éthiques apres relecture_12062013](#)
 92. WHO. Résumé analytique : Ethique et gouvernance de l'intelligence artificielle pour la santé [en ligne]. Orientation de l'OMS. Genève : World Health Organisation ; 2021 [consulté le 2 décembre 2024]. Disponible : [9789240029200-eng.pdf](#)
 93. Luxembourg Institute of Health. Colive Voice [en ligne]. Luxembourg : LIH ; 2022 [consulté le 19 janvier 2025]. Disponible : [Accueil - Colive Voice](#)
 94. Ayadi H, Elbéji A. Digital vocal biomarker of smoking status using ecological audio recordings : results from de Colive Voice study.. Karger [en ligne]. 2024 août 28 [consulté le 19 janvier 2025] ; 8(1) : 159-170. Disponible : [Digital Vocal Biomarker of Smoking Status Using Ecological Audio Recordings: Results from the Colive Voice Study | Digital Biomarkers | Karger Publishers](#)
 95. Despotovic V. Digital voice-based biomarker for monitoring respiratory quality of life : findings from the Colive Voice study. Elsevier [en ligne]. 2024 Octobre [consulté le 19 janvier 2025] ; 96. Disponible : [Biomarqueur numérique basé sur la voix pour le suivi de la qualité de vie respiratoire : résultats de l'étude sur la voix de colive - ScienceDirect](#)
 96. BioSked. Analyse du paysage de la radiologie en France [en ligne]. Chavannes-de-Bogis : BioSked ; 2025 [consulté le

- 20 janvier 2025]. Disponible : [Analyse du paysage de la radiologie en France | Biosked](#)
97. Groupement d'Achats en Imagerie Médicale. IA et dépistage du cancer du sein : un allié prometteur pour les radiologues [en ligne]. Paris : GAIM ; 2024 [consulté le 20 janvier 2025]. Disponible : [IA et le dépistage du cancer du sein: un allié prometteur - Le GAIM](#)
 98. Milvue. Nos solutions [en ligne]. Paris : Milvue ; 2025 [consulté le 20 janvier 2025]. Disponible : [Nos solutions d'imagerie médicale : TechCare | Milvue](#) 
 99. Spimed-AI. CorEx : Analyse anatomique et fonctionnelle du Scanner Coronaire [en ligne]. Paris : Spimed-AI ; 2025 [consulté le 21 janvier 2025]. Disponible : [Spimed-AI | Radiology software](#)
 100. Agence Nationale de la Performance Sanitaire et Médico-sociale. Classification automatique des lésions coronaires à partir des images de tomodensitométrie avec Spimed-IA [en ligne]. Paris : ANAP ; 2022 [consulté le 21 janvier 2025]. Disponible : [Classification automatique des lésions coronaires à partir des images de tomodensitométrie avec Spimed IA – IA en Santé](#)
 101. Qynapse. QyScore [en ligne]. Paris : Qynapse ; 2025 [consulté le 29 janvier 2025]. Disponible : [QyScore® - Qynapse - L'avenir de la neuroimagerie est là](#)
 102. Cavado E, Tran P, Dormont D. Validation d'un outil automatique de mesure rapide de l'atrophie cérébrale et de l'hyperintensité de la substance blanche : QyScore. Springer [en ligne]. 2022 Janvier 01 [consulté le 29 janvier 2025]; 32(5) : 2949-2961. Disponible : [Validation of an automatic tool for the rapid measurement of brain atrophy and white matter hyperintensity: QyScore®](#)
 103. HajimeAI. Home KUMO [en ligne]. France : HajimeAI ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [KUMO by Hajime AI](#)
 104. Wikipédia. Théorie du comportement planifié [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [Théorie du comportement planifié — Wikipédia](#)
 105. HajimeAI. Marketplace KUMO [en ligne]. France : HajimeAI ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [KUMO by Hajime AI](#)
 106. KLAVA Innovation. Quitoxil [en ligne]. Boulogne-Billancourt : KLAVA Innovation ; 2025 [consulté le 30 janvier 2025]. Disponible : [QUITOXIL – KLAVA INNOVATION](#)
 107. Wikipédia. Trouble de stress post-traumatique [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Trouble de stress post-traumatique — Wikipédia](#)
 108. INSERM. Troubles du stress post traumatique [en ligne]. Paris : INSERM ; 2020 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Troubles du stress post-traumatique · Inserm, La science pour la santé](#)
 109. Wikipédia. Dépression (psychiatrie) [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Dépression \(psychiatrie\) — Wikipédia](#)
 110. World Health Organization. Trouble dépressif [en ligne]. Genève : WHO ; 2023 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Trouble dépressif \(dépression\)](#)
 111. MyndBlue. Science and Technology [en ligne]. Paris : MyndBlue ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [MYNDBLUE : Reversing MDDMajor Depression Disorder & PTSDPost Traumatic Stress Disorder, rediscovering the joy of life](#)
 112. Ricka N, Pellegrin G. Biosignature prédictive du trouble dépressif majeur dérivée de mesures physiologiques de patients externes à l'aide de l'apprentissage automatique. Nature Scientific Reports [en ligne]. 2023 Avril 25 [consulté le 31 janvier 2025] ; 13(6332). Disponible : [Biosignature prédictive du trouble dépressif majeur dérivée de mesures physiologiques de patients externes à l'aide de l'apprentissage automatique | Rapports scientifiques](#)
 113. Emobot. Le suivi en continu des troubles de l'humeur par l'Intelligence Artificielle [en ligne]. Emobot : Paris ; 2025 [consulté le 04 février 2025]. Disponible : [Emobot : le suivi en continu des troubles de l'humeur](#)
 114. Cancer.fr. Epidémiologie des cancers cutanés [en ligne]. Paris : Institut National du Cancer ; 2024 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Epidémiologie des cancers cutanés](#)
 115. Health For Development. Des solutions innovantes Plug and Play qui répondent aux besoins des patients [en ligne]. H4D : Aix en Provence ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [H4D - La téléconsultation la plus fidèle à un cabinet médical](#)
 116. SkinMed. La technologie de pointe au service de la santé : le pack dermo + [en ligne]. SkinMed : Ribérac ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [Skinmed - l'IA au service de la Santé](#)
 117. Damae Medical. Découvrir DeepLive [en ligne]. Damae Medical : Paris ; 2025 [consulté le 31 janvier 2025]. Disponible : [DAMAE MÉDICAL](#)
 118. National Institute for Health and Care Research. Utilisation de défibrillateurs publics liée à la survie à un arrêt cardiaque extrahospitalier [en ligne]. Londres : NIHR ; 2017 [consulté le 04 février 2025]. Disponible : [Utilisation de défibrillateurs publics liée à la survie à un arrêt cardiaque extrahospitalier](#)
 119. Futura. Corti, l'IA qui détecte un arrêt cardiaque au téléphone [en ligne]. Paris : Futura ; 2018 [consulté le 04 février 2025]. Disponible : [Corti, l'IA qui détecte un arrêt cardiaque au téléphone](#)
 120. Chenais G. Modèles de transformateurs d'apprentissage profond pour la construction d'un observatoire complet et en temps réel des traumatismes : étude de développement et de validation. JMIR AI [en ligne]. 2023 Janvier 12 [consulté le 05 février 2025] ; 2. Disponible : [JMIR AI - Deep Learning Transformer Models for Building a Comprehensive and Real-time Trauma Observatory: Development and Validation Study](#)
 121. Silkhom. Les avancées de la robotique dans la chirurgie et le médical [en ligne]. Silkhom : Villeurbanne ; 2022. Disponible : [Les avancées de la robotique dans la chirurgie et le médical - Cabinet de recrutement Informatique / Digital / Électronique](#)
 122. Université Johns Hopkins. Un robot effectue la première chirurgie laparoscopique sans aide humaine [en ligne]. Hub : Baltimore ; 2022 [consulté le 07 février 2025]. Disponible : [Un robot effectue la première chirurgie laparoscopique sans aide humaine | Centre](#)
 123. Le Blog Domotique. Le robot Cobi réalise de manière autonome des vaccinations sans aiguille [en ligne]. Le Blog Domotique : Lyon ; 2021 [consulté le 07 février 2025]. Disponible : [Le robot Cobi réalise de manière autonome des vaccinations](#)
 124. Cobionix. World's First Autonomous Robotic Injection [en ligne]. Boston : Youtube ; 2021 [consulté le 4 mars 2025]. Disponible : [World's First Autonomous Robotic Injection](#)
 125. Université Johns Hopkins. Robot that watched surgery videos performs with skill of human doctor [en ligne]. Hub : Baltimore ; 2024 [consulté le 07 février 2025]. Disponible : [Robot that watched surgery videos performs with skill of human doctor | Hub](#)

126. The Daily Mirror. See futuristic surgery that helped young woman become first to have lung cancer removed by ROBOT [en ligne]. Londres : The Daily Mirror ; 2016 [consulté le 4 mars 2025]. Disponible : [See futuristic surgery that helped young woman become first to have lung cancer removed by ROBOT - Mirror Online](#)
127. Visible Patient. L'innovation [en ligne]. Visible Patient : Strasbourg ; 2025 [consulté le 10 février 2025]. Disponible : [L'innovation - Visible Patient](#)
128. Wikipédia. Fécondation in vitro [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 11 février 2025]. Disponible : [Fécondation in vitro — Wikipédia](#)
129. Dissler N, Nogueira D. Artificial intelligence-powered assisted ranking of sibling embryos to increase first cycle pregnancy rate. RBMO [en ligne]. 2024 [consulté le 11 février 2025]; 49(1) : 1-9. Disponible : [Artificial intelligence-powered assisted ranking of sibling embryos to increase first cycle pregnancy rate](#)
130. Gidel-Dissler N, Roque T. Uncovering the association between embryo development and early pregnancy loss using artificial intelligence annotated kinetic events. RBMO [en ligne]. 2024 Octobre 19 [consulté le 11 février 2025]; 1-30. Disponible : [Découvrir l'association entre le développement de l'embryon et la perte de grossesse précoce à l'aide d'événements cinétiques annotés par l'intelligence artificielle - Reproductive BioMedicine Online](#)
131. Wikipédia. Echographie [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [Echographie — Wikipédia](#)
132. Imagerie Grand Paris. Focus sur le projet SUOG [en ligne]. IGP : Paris ; 2024 [consulté le 11 février 2025]. Disponible : [Cap Horn Santé : une clinique pluridisciplinaire de confiance - Imagerie du Grand Paris - IGP](#)
133. Desiree. Résultats et publications [en ligne]. Paris : Desiree ; 2025 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [Livrables | desiree-project.eu](#)
134. Mouronval Romain. Impact du travail administratif pendant les consultations de médecine générale : confrontation entre ressenti et réalité [en ligne]. 40 f. Thèse d'exercice : Médecine : Nice : 2021 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [2021NICEM017.pdf](#)
135. Nabla. Accueil [en ligne]. Paris : Nabla Technologies ; 2025 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [Nabla · Enjoy care again](#)
136. Microsoft. DAX Copilot : nouvelles options de personnalisation et capacités d'IA pour une productivité encore plus grande [en ligne]. Redmond : Microsoft ; 2024 [consulté le 12 février 2025]. Disponible : [DAX Copilot : nouvelles options de personnalisation et capacités d'IA pour une productivité encore plus grande - Blogs de l'industrie Microsoft](#)
137. Thadani N, Marks D. Learning from prepandemic data to forecast viral escape. Nature [en ligne]. 2023 Octobre 11 [consulté le 13 février 2025]; 622 : 818-825. Disponible : [Learning from prepandemic data to forecast viral escape | Nature](#)
138. Wallach I, Dzamba M, Heifets A. AtomNet : A Deep Convolutional Neural Network for Bioactivity Prediction in Structure-based Drug Discovery. Cornell University [en ligne]. 2015 Octobre 10 [consulté le 14 février 2025]. Disponible : [1510.02855](#)
139. Benevolent AI. Résultats semestriels pour le semestre clos le 30 juin 2024 [en ligne]. Luxembourg : Benevolent AI ; 2024 [consulté le 14 février 2025]. Disponible : [Résultats semestriels pour le semestre clos le 30 juin 2024 | BenevolentAI \(AMS : BAI\)](#)
140. Naghavi M, Vollset S, Murray C. Charge mondiale de la résistance bactérienne aux antimicrobiens 1990-2021 : une analyse systématique avec prévisions à l'horizon 2050. The Lancet [en ligne]. 2024 Septembre 28 [consulté le 17 février 2025]; 404(10459) : 1199-1226. Disponible : [Fardeau mondial de la résistance bactérienne aux antimicrobiens 1990-2021 : une analyse systématique avec des prévisions à l'horizon 2050 - The Lancet](#)
141. Wong F, Collins J, Zheng E. Découverte d'une classe structurée d'antibiotiques grâce à l'apprentissage profond explicable. Nature [en ligne]. 2023 Décembre 20 [consulté le 17 février 2025]; 626 : 177-185. Disponible : [Découverte d'une classe structurée d'antibiotiques grâce à l'apprentissage profond explicable | Nature](#)
142. Owkin. Understanding complex biology through AI [en ligne]. Paris : Owkin ; 2025 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [Understanding complex biology through AI | Owkin](#)
143. Wikipédia. Radiothérapie [en ligne]. San Francisco : Wikipédia ; 2025 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [Radiothérapie — Wikipédia](#)
144. Satragno C, Theodoridis T. Quantitative and qualitative evaluation of an automatic GTV contouring tool in pre-radiotherapy MRI in glioblastoma treatment. Therapanacea [en ligne]. 2025 Janvier 22 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [ASTRO24 Abstracts](#)
145. Delasalles E, Vauclin R. Doses Prediction for Prostate Radiotherapy Planning. Therapanacea [en ligne]. 2025 Janvier 22 [consulté le 18 février 2025]. Disponible : [ESTRO24 Abstracts](#)
146. Posos. Accélérez et sécurisez les prescriptions dans votre officine [en ligne]. Amiens : Posos ; 2025 [consulté le 19 février 2025]. Disponible : [Posos | Accueil](#)
147. PharmIA Committed for Hospital. La première plateforme digitale intelligente au service du pharmacien hospitalier [en ligne]. Montpellier : PharmIA ; 2025 [consulté le 19 février 2025]. Disponible : [PharmIA | Analyse, contrôle et validation des prescriptions médicales et détection des situations à risque iatrogène en pharmacie clinique](#)
148. PharmaClass. Notre mission [en ligne]. Lyon : Keenturtle ; 2025 [consulté le 20 février 2025]. Disponible : [Keenturtle | Sécurisation et gestion des risques médicamenteux](#)
149. Benizri F, Dalifard B. DrugCam-Un système de caméra vidéo intelligent pour réaliser des préparations de médicaments cytotoxiques en toute sécurité. PubMed [en ligne]. 2016 Avril 11 [consulté le 20 février 2025]; 502(1-2) : 198-207. Disponible : [DrugCam-Un@ système de caméra vidéo intelligent pour fabriquer des préparations de médicaments cytotoxiques en toute sécurité - PubMed](#)
150. MedEye. Accueil [en ligne]. Pays-Bas : MedEye ; 2025 [consulté le 20 février 2025]. Disponible : [MedEye](#)
151. Ismail L, Materwala H. Type 2 Diabetes with Artificial Intelligence Machine Learning : Methods and Evaluation. Springer Nature [en ligne]. 2021 Avril 15 [consulté le 25 mars 2025]; 29 : 313-333. Disponible : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-021-09582-x>
152. ChatGPT. "Réalise-moi un schéma expliquant le fonctionnement de la régression logistique" [en ligne]. San Francisco : OpenAI ; 2022 [consulté le 25 mars 2025]. Disponible : [ChatGPT | OpenAI](#)
153. ChatGPT. "Réalise-moi un schéma expliquant le fonctionnement de la forêt aléatoire" [en ligne]. San Francisco : OpenAI ; 2022 [consulté le 25 mars 2025]. Disponible : [ChatGPT | OpenAI](#)
154. Jabara M, Kose O, Sharma A. Artificial Intelligence-Based Digital Biomarkers for Type 2 Diabetes : A Review. Canadian Journal of Cardiology [en ligne]. Octobre 2024 [consulté le 18 mars 2025]; 40(10) : 1922-1933. Disponible : [Artificial Intelligence-Based Digital Biomarkers for Type 2 Diabetes: A Review - Canadian Journal of Cardiology](#)
155. Société Française d'Ophtalmologie. Epidémiologie et aspects cliniques de la rétinopathie diabétique à propos de 303

- cas colligés au CHU Yopougon [en ligne]. Paris : SFO ; 2019 [consulté le 18 mars 2025]. Disponible : [172 - Épidémiologie et aspects cliniques de la rétinopathie diabétique à propos de 303 cas colligés au CHU de Yopougon | SFO-online - Société Française d'Ophtalmologie](#)
156. Pei X, Yao X, Li Z. Efficacy of artificial intelligence-based screening for diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus patients. *Diabetes Research and Clinical Practice* [en ligne]. 2022 Février [consulté le 18 mars 2025] ; 184 : 1-7. Disponible : [Efficacy of artificial intelligence-based screening for diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus patients - Diabetes Research and Clinical Practice](#)
 157. Li Y, Jin N. Machine Learning-based risk predictive models for diabetic kidney disease in type 2 diabetes mellitus patients : a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology* [en ligne]. 2025 Mars 3 [consulté le 4 avril 2025] ; 16. Disponible : [Machine learning-based risk predictive models for diabetic kidney disease in type 2 diabetes mellitus patients: a systematic review and meta-analysis - PubMed](#)
 158. Ooi Ting K, Harmiza H. Cardiovascular complications in diabetes prediction model using machine learning : a systematic review. *BMC : Cardiovascular Diabetology* [en ligne]. 2023 Juin 19 [consulté le 22 avril 2025] ; 22(13). Disponible : [Cardiovascular complications in a diabetes prediction model using machine learning: a systematic review | Cardiovascular Diabetology | Full Text](#)
 159. Nayak A, Schulman K. Use of Voice-Based Conversational Artificial Intelligence for Basal Insulin Prescription Management Among Patients With Type 2 Diabetes. *JAMA Network* [en ligne]. 2023 Décembre 1 [consulté le 11 mars 2025] ; 6(12) : 1-11. Disponible : [Use of Voice-Based Conversational Artificial Intelligence for Basal Insulin Prescription Management Among Patients With Type 2 Diabetes: A Randomized Clinical Trial - PMC](#)
 160. Malede Berihun Y, Chernet T. Artificial intelligence based predictive tools for identifying type 2 diabetes patients at high risk of treatment Non-adherence : a systematic review. *International Journal of Medical Informatics* [en ligne]. 2025 Mars 1 [consulté le 24 mai 2025] ; 198 (105858). Disponible : [Artificial intelligence based predictive tools for identifying type 2 diabetes patients at high risk of treatment Non-adherence: A systematic review - ScienceDirect](#)
 161. Orikpete O, Ewim D. Impact of Data Centers on Climate Change : A Review of Energy Efficient Strategies. *The Journal of Engineering and Exact Sciences* [en ligne]. 2023 Août 20 [consulté le 17 juin 2025] ; 9(6). Disponible : [\(PDF\) Impact of Data Centers on Climate Change: A Review of Energy Efficient Strategies](#)
 162. Institut Supérieur de l'Environnement. L'Intelligence Artificielle : une pollution cachée au cœur de l'innovation [en ligne]. Versailles : ISE ; 2024 [consulté le 17 juin 2025]. Disponible : [L'intelligence artificielle : une pollution cachée au cœur de l'innovation - Institut Supérieur de l'Environnement - ISE](#)
 163. Service des Données et Etudes Statistiques – Ministère de la Transition Ecologique. Empreinte carbone d'un citoyen français [en ligne]. Paris : Agence de la Transition Ecologique ; 2022 [consulté le 17 juin 2025]. Disponible : [Empreinte carbone d'un citoyen français | Impact CO₂](#)
 164. Pengfei L, Jianyi Y. Making AI Less "Thirsty" : Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. *Cornell University* [en ligne]. 2025 Mars 26 [consulté le 17 juin 2025]. Disponible : [\[2304.03271\] Making AI Less "Thirsty": Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models](#)

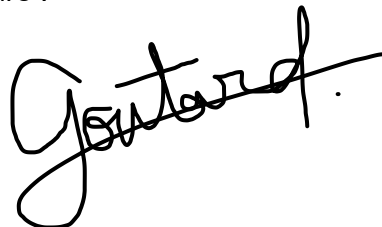
ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je soussigné (e) Carla GOUTARD

Déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée.
(Décret n°92-657 du 13 juillet 1992)

En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Signature :



SIGNATURES DU DIRECTEUR DE THESE ET DU DOYEN

N° Étudiant : 22006577

N° Thèse : ...59

Nom et Prénom : GOUTARD Carla

Sujet : L'apport de l'intelligence Artificielle pour le pharmacien d'officine dans la gestion personnalisée du Diabète de Type 2 : prévention, suivi et optimisation du traitement.

Tours, le : 05/09/2025

Le(s) Directeur(s) de Thèse :
Nom(s) et signature(s)


Julie JALLEAU
Pharmacienne Hospitalière
N° SPPS : 10000682369
CHRU Tours
Hôpital Bretonneau
37000 Tours



Vu et Transmis :
Le Doyen

Le directeur de la Faculté
des Sciences Pharmaceutiques

Pr Denys BRAND



NOM, PRÉNOM de l'étudiant : GOUTARD CARLA	N°59
TITRE DE LA THÈSE L'apport de l'Intelligence Artificielle pour le pharmacien d'officine dans la gestion personnalisée du Diabète de Type 2 : prévention, suivi et optimisation du traitement.	
RÉSUMÉ DE LA THÈSE Le Diabète de Type 2 constitue aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique, avec une prévalence en constante augmentation à l'échelle mondiale. Cette pathologie chronique, caractérisée par une hyperglycémie durable liée à une insulino-résistance, est associée à la forte augmentation de l'obésité causée par le changement des habitudes alimentaires et à la sédentarité dont l'humanité est atteinte aujourd'hui. Le Diabète de Type 2 engendre des complications sévères s'il n'est pas diagnostiqué et pris en charge précocement. L'intelligence Artificielle, et plus particulièrement l'apprentissage automatique, offre de nouvelles perspectives pour améliorer le dépistage, la prédiction des complications et la personnalisation du traitement. Cette thèse explore l'intégration de modèles d'Intelligence Artificielle dans le suivi et la gestion du Diabète de Type 2, à partir de données cliniques, biologiques et comportementales.	
MOTS-CLÉS SIGNIFICATIFS DE SON CONTENU, ATTRIBUÉS PAR LE CANDIDAT EN LIAISON AVEC LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSITAIRE ET LES MEMBRES DU JURY Intelligence Artificielle, <i>Deep Learning</i>, <i>Machine Learning</i>, Diabète de Type 2, Diagnostic assisté par Intelligence Artificielle, E-santé	
<u>JURY</u> PRÉSIDENT : Docteur ALLOUCHI Hassan, professeur universitaire – praticien hospitalier (PU-PH) à l'Université de Tours MEMBRES : Docteur JALLEAU Julie, pharmacienne - praticien hospitalier (PH) au CHRU Bretonneau Docteur CHAMPION Hélène, endocrinologue - praticien hospitalier (PH) au CHRU Bretonneau Docteur BERTOLINO Anne-Laure, pharmacienne officinale à Saint-Cyr-sur-Loire	
DATE ET LIEU DE SOUTENANCE : le 5 septembre 2025, à la Faculté de pharmacie (Tours)	