



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN -TIARET

THÈSE

Présenté à:

FACULTÉ DES MATHÉMATIQUES ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de:

MASTER

Spécialité : Génie Logiciel

Par :

KHELIFA NADJET & KACIMI MALIKA

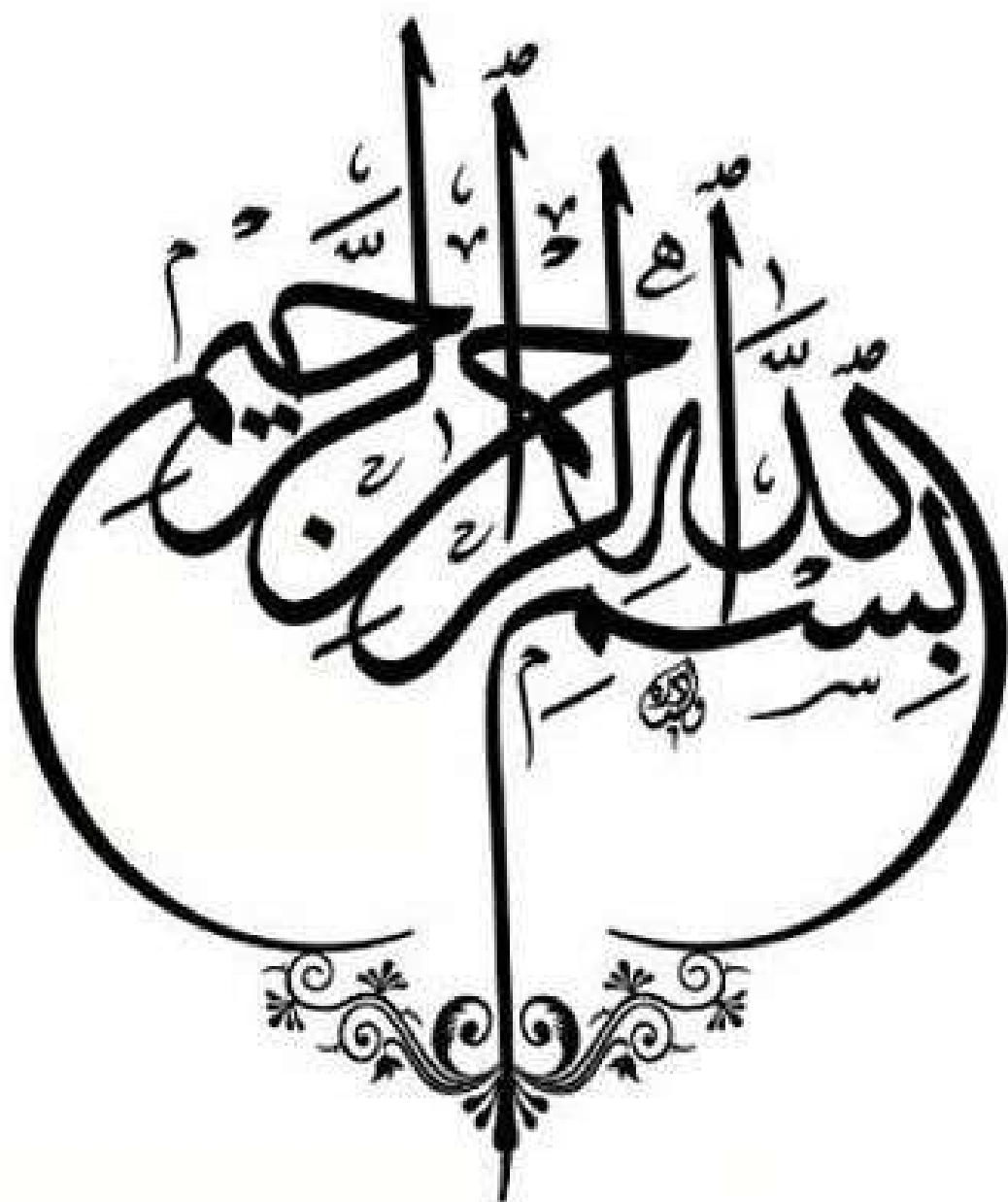
Sur le thème

Diagnostics et Contrôle de la Maladie de Diabète-2 à base de Théorie de l'Évidence

Soutenu publiquement le / 06 / 2025 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr BELARBI	Mostefa	Grade PROF	Université Ibn Khaldoun	Président
Mr BOUALEM	Adda	Grade MCA	Université Ibn Khaldoun	Encadreur
Mr MERRATI	Medjeded	Grade MCA	Université Ibn Khaldoun	Examineur

2024 -2025



REMERCIEMENTS

À la fin de notre travail, nous tenons à exprimer nos remerciements les plus sincères. Tout d'abord, nous remercions **Allah** Tout-Puissant pour nous avoir donnée la force, la patience et la détermination pour mener à bien ce travail.

* * *

Par la suite, nous remercions notre encadreur **M. BOUALEM Adda** pour ses précieux conseils, son expertise et son soutien constant tout au long de ce projet. Nous lui sommes reconnaissants de nous avoir guidés avec tant de patience et de bienveillance.

* * *

Nos plus sincères remerciements à notre membres du jury, **Prof. BELARBI Mostefa** et **Dr. MERATI Medjeded** pour leur temps et leurs commentaires constructifs qui ont contribué à améliorer la qualité de notre travail.

* * *

Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail par leurs conseils, leur soutien et leur amitié. Nous ne pouvons exprimer notre gratitude à chacun d'entre eux, mais nous les remercions de tout coeur.

*À mon père, à ma mère
À toute ma famille
À tous ceux qui comptent pour moi
Je vous aime*

Khelifa Nadjjet

A mon cher père
Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont permis de vivre ce jour

A ma chère mère
Qui n'a jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler
pour que je puisse atteindre mes objectifs.

À mes sœurs Khouloud et kenza
Pour ses soutiens moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études

À ma grande soeur Fochi
Même si elle est loin de moi
mais elle était l'aide et le soutien dont j'avais besoin dans les moments difficiles

À mon encadrant Adda BOUALEM
Bien sûr , Sans lui nous n'aurions pas pu réaliser ces progrès dans le travail

À ma binôme Nadjat et tous les gens qui m'aiment

Kacimi Malika

Résumé

Dans ce projet de fin d'études, nous avons porté notre attention sur la problématique de la détection et du diagnostic du diabète de type 2 (DT2), considéré comme un phénomène incertain. En effet, les lectures médicales peuvent parfois ne pas permettre de prendre une décision claire quant à l'état du patient : diabétique, normal ou pré-diabétique, même après observation des métriques cliniques mesurées telles que la glycémie, l'HbA1c, l'IMC ou le taux de cholestérol. Notre solution consiste à proposer une décision plus pertinente en s'appuyant sur une stratégie de fusion des mesures biomédicales à l'aide de la théorie de l'évidence (Dempster-Shafer). Pour évaluer cette approche, nous avons utilisé une base de données générée aléatoirement, comportant 2000 scénarios simulés, puis nous avons calculé plusieurs métriques statistiques telles que la précision, le rappel, et le taux d'efficacité, afin de mesurer les performances du modèle proposé.

Mots-clés : Diabète de type 2, Diagnostic incertain, Théorie de l'évidence, Prise de décision pertinente.

ABSTRACT

In this final-year project, we focused on the problem of detecting and diagnosing Type 2 Diabetes (T2D), which is often considered an uncertain condition. Indeed, medical readings may not always allow healthcare professionals to decide clearly about the patient's state — whether diabetic, normal, or pre-diabetic — even after analyzing key clinical indicators such as blood glucose levels, HbA1c, BMI, and cholesterol. Our proposed solution aims to provide a more reliable decision by applying a strategy based on the fusion of biomedical measurements using evidence theory (Dempster-Shafer). To assess the effectiveness of our approach, we generated a synthetic dataset of 2,000 simulated scenarios and evaluated the model's performance using statistical metrics such as precision, recall, and efficacy rate.

Keywords: Type 2 Diabetes, Uncertain Diagnosis, Evidence Theory, Reliable Decision-Making.

ملخص

في هذا المشروع النهائي، ركزنا اهتمامنا على مشكلة الكشف وتشخيص داء السكري من النوع الثاني، والذي يُعتبر غالباً حالة غير مؤكدة. ففي العديد من الحالات، لا تسمح القياسات الطبية باتخاذ قرار واضح بشأن حالة المريض — هل هو مريض سكري، سليم، أم في مرحلة ما قبل السكري — حتى بعد تحليل المؤشرات السريرية الأساسية مثل مستوى السكر في الدم، $HbA1c$ ، مؤشر كتلة الجسم (BMI)، والكوليسترول. تتمثل الحلول المقترحة في تقديم قرار أكثر دقة وموثوقية من خلال دمج القياسات الطبية الحيوية باستخدام نظرية الأدلة (نظرية ديمستر-شيفر). لتقييم هذه المقاربة، أنشأنا قاعدة بيانات عشوائية تحتوي على ٢٠٠٢ سيناريو افتراضي، ثم قمنا بحساب عدة مؤشرات إحصائية مثل الدقة، الاسترجاع، ومعدل الكفاءة لقياس أداء النموذج المقترح.

الكلمات المفتاحية: داء السكري من النوع الثاني، تشخيص غير مؤكد، نظرية الأدلة، اتخاذ قرار موثوق

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	1
1 Introduction au Diabète de Type 2	3
1.1 Définition :	4
1.2 Classification de diabète :	4
1.2.1 Diabète de type 1 :	4
1.2.2 Diabète de type 2 :	5
1.2.3 Diabète gestationnel :	5
1.2.4 Autres types de diabète :	5
1.3 Causes de diabète:	6
1.4 Les symptômes du diabète les plus courants:	8
1.5 Méthodes de Diagnostic du Diabète de Type 2:	10
1.6 L'importance de la gestion du diabète de type 2 (DT2) :	11
1.7 Conclusion :	12
2 État de L'art de Diabète de Type 2	13
2.1 État de l'art sur le diagnostic du diabète de type 2 (DT2):	13
2.1.1 Examen clinique et bilan biologique :	13
2.1.2 Évolution des méthodes de diagnostic et de gestion du DT2 :	14
2.1.3 Innovations dans la classification du diabète :	14

2.1.4	Transition vers une médecine de précision :	15
2.1.5	Progrès technologiques dans la gestion du DT2	15
2.1.6	Limites et perspectives :	16
2.2	Médecine de précision et hétérogénéité du DT2:	16
2.3	Avancées récentes dans la gestion du DT2	17
2.3.1	Innovations technologiques :	17
2.3.2	Nouveaux traitements pharmacologiques :	17
2.3.3	Approches alternatives et traitements émergents :	17
2.3.4	Défis et perspectives du DT2 :	18
2.3.5	Évolution des critères diagnostiques du DT2 :	18
2.3.6	Perspectives et recherches futures :	18
2.4	Conclusion	19
3	Théorie de l'évidence et son application médicale	20
3.1	Théories de l'incertain et leur impact en médecine, notamment dans le diagnostic du diabète:	20
3.1.1	Principales théories de l'incertain :	21
3.1.2	Impact des théories de l'incertitude en médecine et dans le diagnostic du diabète :	22
3.2	Théorie de L'évidence :	23
3.2.1	Cadre de discernement :	23
3.2.2	Fonction de croyance et de plausibilité :	24
3.2.3	Combinaison d'informations avec la TDS :	27
3.2.4	Prise de décision par la TDS :	28
3.2.5	Intervalle de Confiance (IC) :	29
3.2.6	Probabilité Pignistique :	30
3.2.7	Applications :	30
3.2.8	Exemple de Déroulement de Théorie de L'évidence :	30
3.3	Conclusion :	33

4	Méthodologie, Conception et Réalisation	34
4.1	Choix du langage de programmation	34
4.2	La Méthodologie :	35
4.2.1	Les Paramètres Nécessaires pour les Diagnostiques : .	36
4.2.2	Modèle d'incertitude basé sur la théorie de l'évidence :	37
4.3	Conception & Réalisation :	42
4.4	Modélisation :	43
4.4.1	Réalisation :	45
4.4.2	Interfaces d'exécution et leurs descriptions:	45
4.5	Conclusion :	50
	Conclusions et Perspectives	52

LISTE DE FIGURES

1.1	<i>Classification de la maladie de Diabète [1]</i>	6
1.2	<i>Causes de diabetes [2].</i>	8
1.3	<i>Les symptômes du diabète [3]</i>	10
1.4	<i>Méthodes de Diagnostic du Diabète de Type 2. [4]</i>	11
3.1	<i>(a) La relation entre les Théories de l'incertain (b) Lien étroit entre les données incertaines et les théories correspondantes</i>	23
3.2	<i>Enchainmenet des étapes de théorie de l'évidence [5].</i>	27
4.1	<i>PyCharm Community Edition 2024.2.4.</i>	35
4.2	<i>La fusion à base Théorie de l'évidence (Notre Contribution).</i>	36
4.3	<i>Notre Modèle de fusion de données de perception à base Théorie de l'évidence.</i>	42
4.4	<i>Le Diagramme de Classes.</i>	43
4.5	<i>Le Diagramme d'activités.</i>	44
4.6	<i>Menu principal (Apropos).</i>	45
4.7	<i>Menu principal.</i>	46
4.8	<i>Saisir les informations du patient.</i>	47
4.9	<i>Étape d'évaluation et de diagnostic Final.</i>	47
4.10	<i>Les précautions à respecter selon les différents profils de patients.</i>	48
4.11	<i>Rapports et Statistiques.</i>	49

4.12	<i>Notre approche de fusion des données à base de la théorie de l'évidence</i>	49
4.13	<i>Certificat médical.</i>	50

	LISTE DE TABLES
--	-----------------

4.1	<i>Critères de diagnostic pour le prédiabète et le diabète de type 2</i> [6]	. 41
-----	--	------

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CGM	Capteurs de G lycémie M obile (surveillance continue)
DT2	Diabète de T ype 2
HbA1c	Hémoglobine A1c (glyquée)
HGPO	Hyperglycémie P rovoquée par voie O rale
IMC	Indice de M asse C orporelle
IA	Intelligence A rtificielle
IC	Intervalle de C onfiance
MAP	M aximum A P osteriori
OGTT	O ral G lucose T olerance T est
TDS	Théorie de D empster- S hafer

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le diabète est une maladie chronique caractérisée par un taux de glucose (sucre) élevé dans le sang, résultant d'un dysfonctionnement de la production ou de l'utilisation de l'insuline, une hormone essentielle à la régulation de la glycémie. Il existe principalement deux types : le diabète de type 1, une maladie auto-immune où le pancréas ne produit pas d'insuline, et le diabète de type 2, souvent lié à un mode de vie inadapté, où l'organisme devient résistant à l'insuline. Le diabète non contrôlé peut entraîner des complications graves, telles que des maladies cardiovasculaires, des lésions rénales, une perte de vision et des neuropathies. Les principales causes incluent des facteurs génétiques, une mauvaise alimentation, l'obésité et le manque d'exercice. Pour prévenir la maladie, il est essentiel d'adopter une alimentation équilibrée, de pratiquer une activité physique régulière et de surveiller son poids. Bien qu'il n'existe pas de cure définitive, un traitement adapté, incluant des médicaments, une alimentation saine et parfois l'insulinothérapie, permet de contrôler efficacement la maladie et de prévenir ses complications.

La prévalence mondiale du diabète de type 2 est en augmentation rapide, causée principalement par les changements dans les modes de vie et les régimes alimentaires, ainsi que par des facteurs génétiques. Le diabète de type 2 représente un défi majeur pour la santé publique en raison de ses complications graves, notamment les maladies cardiovasculaires, les lésions nerveuses et l'insuffisance rénale, qui affectent la qualité de vie des patients et augmentent les coûts des soins de santé. Diagnostiquer et contrôler efficacement cette maladie est donc une priorité pour les chercheurs, les cliniciens et les décideurs en santé publique.

Le contrôle du diabète de type 2 repose sur une combinaison de méthodes de diagnostic, de suivi et de traitement visant à maintenir la glycémie à des niveaux normaux et à prévenir les complications. La gestion optimale du diabète nécessite une surveillance continue des données médicales et des biomarqueurs à l'aide d'outils technologiques innovants. Dans ce contexte, les systèmes de diagnostic et de suivi

automatisés peuvent améliorer la précision et la rapidité de détection des anomalies et aider à adapter les traitements en temps réel.

Ce mémoire vise à explorer et développer des approches avancées pour le diagnostic et le contrôle du diabète de type 2, en mettant un accent particulier sur la fusion de données multi-capteurs et les techniques de modélisation des croyances basées sur la théorie de Dempster-Shafer. L'objectif est de proposer une méthodologie qui améliore la détection et la gestion de la maladie tout en offrant un modèle robuste de prise de décision face aux incertitudes dans les données de santé.

Ce mémoire de PFE est structuré selon le plan suivant : Une introduction générale discute l'importance du sujet, les objectifs et la problématique. Ensuite, dans:

Chapitre 1 présente les généralités sur le diabète, en mettant l'accent sur le DT2, ses causes, ses symptômes, ainsi que les principales méthodes de diagnostic. Il souligne également l'importance d'une bonne gestion de la maladie pour prévenir les complications et améliorer la qualité de vie des patients.

Chapitre 2 un état de l'art présente les technologies médicales et les méthodes actuelles de fusion de données multi-capteurs, en discutant leurs limites, notamment face à l'incertitude des mesures.

Chapitre 3 commence par un rappel sur les théories de l'incertain, suit une présentation en détail de la théorie de Dempster-Shafer et introduit ensuite une explication de ses concepts clés et de son potentiel pour le diagnostic médical en conditions incertaines.

Chapitre 4 montre notre méthodologie en proposant un modèle de fusion des données de santé, dont la performance est évaluée et comparée à d'autres techniques, comme le filtre de Kalman. Une analyse des résultats L'identification des points forts et des faiblesses du modèle proposé est effectuée, ouvrant des perspectives d'amélioration pour le diagnostic intelligent et la prise de décision en santé. On résume notre travail et se conclut par une section de perspectives présentant quelques pistes possibles pour de futurs travaux. Il met également en avant notre contribution, qui permet d'évaluer l'effort accompli dans le cadre de ce projet de fin d'études (PFE).

CHAPITRE 1

INTRODUCTION AU DIABÈTE DE TYPE 2

Introduction :

Le diabète est une maladie chronique qui affecte des millions de personnes dans le monde entier. Cette maladie est caractérisée par un taux élevé de glucose dans le sang, qui peut entraîner des complications graves telles que des lésions nerveuses, des maladies cardiovasculaires, une insuffisance rénale, une perte de vision et même l'amputation des membres inférieurs. Il existe deux principaux types de diabète : le diabète de type 1 et le diabète de type 2. Le diabète de type 1 est causé par la destruction des cellules bêta du pancréas, qui produisent l'insuline, tandis que le diabète de type 2 est causé par une combinaison de facteurs génétiques et environnementaux. Le diabète est une maladie qui peut être traitée, mais qui nécessite une surveillance constante et une gestion appropriée pour éviter les complications à long terme. Dans cette optique, il est important de comprendre les causes, les symptômes et les options de traitement du diabète afin de mieux gérer cette maladie.

Le diabète, souvent appelé par les médecins *diabète sucré*, décrit un groupe de maladies métaboliques dans lesquelles la personne présente une glycémie élevée (sucre dans le sang), soit parce que la production d'insuline est inadéquate, soit parce que les cellules du corps ne répondent pas correctement à l'insuline, ou les deux. Les patients souffrant d'hyperglycémie présentent généralement une polyurie (mictions fréquentes), une soif accrue (polydipsie) et un appétit excessif (polyphagie).

1.1 Définition :

Le diabète est une maladie chronique caractérisée par un taux de glucose (sucre) élevé dans le sang. Le glucose est une source d'énergie importante pour le corps, mais pour être utilisé, il doit être transporté dans les cellules par l'insuline, une hormone produite par le pancréas. Dans le cas du diabète, le pancréas ne produit pas suffisamment d'insuline ou les cellules du corps ne répondent pas correctement à l'insuline produite. Cela conduit à une accumulation de glucose dans le sang, ce qui peut entraîner des complications graves à long terme, telles que des lésions nerveuses, des maladies cardiovasculaires, une insuffisance rénale, une perte de vision et même l'amputation des membres inférieurs. Le diabète est une maladie qui peut être traitée, mais qui nécessite une gestion appropriée pour éviter ses complications.

1.2 Classification de diabète :

Le diabète peut être classé en différents types, selon les causes et les mécanismes sous-jacents. Les principales classifications sont les suivantes :

1.2.1 Diabète de type 1 :

Autrefois connu sous le nom de diabète juvénile, le diabète de type 1 est une maladie auto-immune qui apparaît généralement en bas âge (avant 30 ans) et qui se caractérise par une absence quasi-totale de production d'insuline. Ainsi, la survie des personnes atteintes dépend entièrement de l'insulinothérapie, qui nécessite des injections quotidiennes d'insuline ou l'installation d'une pompe à insuline sous-cutanée. Entre 5 et 10 diabétiques sont atteints et, en ce jour, le diabète de type 1 ne peut ni se prévenir ni se guérir [7].

1.2.2 Diabète de type 2 :

Il s'agit de la forme de diabète la plus fréquente, avec 85 à 90 des cas. Bien que cette forme de diabète touche principalement les adultes, au cours des dernières années, le nombre de cas diagnostiqués chez les enfants et les adolescents est en hausse. On remarque une augmentation anormale du glucose dans le sang chez les diabétiques de type 2 [7].

1.2.3 Diabète gestationnel :

Ce type de diabète se produit pendant la grossesse et est causé par une résistance à l'insuline accrue due aux hormones de la grossesse. Les femmes atteintes de diabète gestationnel peuvent avoir des complications pendant la grossesse et ont un risque accru de développer un diabète de type 2 à l'avenir.

1.2.4 Autres types de diabète :

Il existe d'autres types de diabète, tels que le diabète associé à d'autres maladies ou médicaments, le diabète néonatal et le diabète lié à des anomalies génétiques. FIGURE 1.1 montre une classification de types de la maladie de Diabète.

Il est important de noter que le traitement du diabète peut varier en fonction du type et de la gravité de la maladie. Une gestion efficace du diabète peut aider à prévenir les complications à long terme et à améliorer la qualité de vie des personnes atteintes de cette maladie.

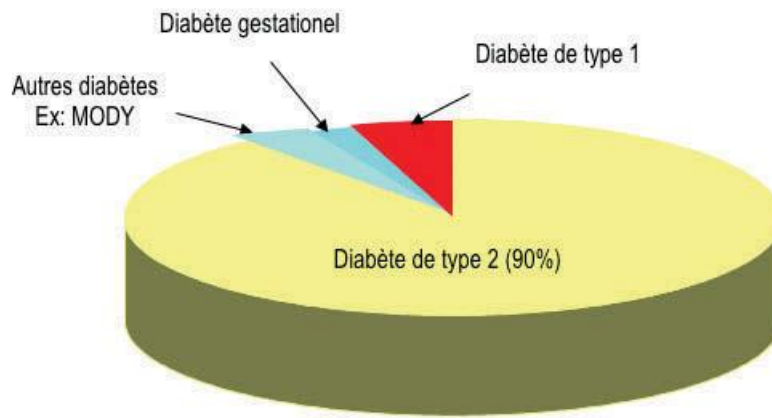


FIGURE 1.1: Classification de la maladie de Diabète [1]

1.3 Causes de diabète:

Les causes du diabète peuvent être liées à des facteurs génétiques, environnementaux et de style de vie. Parmi les principales causes du diabète, on cite (FIGURE 1.2):

- **Facteurs génétiques** : Les antécédents familiaux jouent un rôle important dans le risque de développer le diabète, en particulier le diabète de type 2. Certaines personnes héritent d'une prédisposition génétique qui peut être déclenchée par des facteurs environnementaux ou de style de vie.
- **Surpoids et obésité** : L'obésité et le diabète présentent tous deux des facteurs risques de comorbidité. La comorbidité est définie par la présence de plusieurs maladies chroniques qui nécessitent un traitement sur le long terme. Plus la quantité de graisse est importante dans le corps et plus l'organisme a besoin d'insuline. Le pancréas, d'où est synthétisée l'insuline, est surmené et s'il n'arrive pas à produire assez d'insuline (ou totale absence), alors le diabète peut se développer chez le sujet obèse [8].
- **Inactivité physique** : Le manque d'activité physique entraîne une diminution de la sensibilité à l'insuline, augmentant ainsi le risque de développer cette maladie. Une étude de cohorte française publiée en 2021 a révélé que les personnes ayant un

mode de vie sédentaire avaient un risque de diabète de type 2 augmenté de 112 % par rapport à celles ayant une activité physique modérée à intense [9].

- **Alimentation malsaine:** la précarité alimentaire favorise le développement du diabète sucré, mais aussi le mauvais équilibre glycémique (6, 7) mmol/L, la survenue des complications et le risque d'hospitalisation [10].
- **Vieillessement :** Avec l'âge, le risque de diabète augmente, car le corps devient moins sensible à l'insuline et la production de cette hormone peut également diminuer, augmentant la probabilité de diabète de type 2.
- **Grossesse :** Le diabète de grossesse est aussi appelé diabète gestationnel. Il s'agit d'une augmentation du taux de sucre dans le sang de la future mère. Cette situation se développe à cause des changements hormonaux durant la grossesse. En effet, le placenta produit des hormones qui nuisent aux effets de l'insuline (hormone qui contrôle le taux de sucre dans le sang) [11].
- **Maladies du pancréas :** Les cellules du pancréas qui sécrètent l'insuline peuvent finalement être détruites, ce qui aboutit progressivement au diabète [12].



FIGURE 1.2: Causes de diabetes [2].

1.4 Les symptômes du diabète les plus courants:

Parmi les symptômes qui savent engendrer le diabète, on trouve (FIGURE 1.3):

- **Mictions fréquentes:** êtes-vous allé au salle de bain pour uriner plus souvent récemment? Est-ce que tu remarques que vous passez la majeure partie de la journée à toilette? Lorsqu'il y a trop de glucose (sucre) dans votre sang, vous urinerez plus souvent. Si ton l'insuline est inefficace, ou pas du tout, votre les reins ne peuvent pas filtrer le glucose dans le du sang. Les reins prélèveront de l'eau de votre sang afin de diluer le glucose - qui à son tour remplit votre vessie.
- **Soif disproportionnée:** si vous urinez plus que d'habitude, vous devrez remplacer ce liquide perdu. Vous boirez plus que d'habitude. Avez-vous bu plus que d'habitude ces derniers temps?
- **Faim intense:** comme l'insuline dans votre sang n'est pas fonctionné correctement, ou n'existe pas du tout, et votre les

cellules ne reçoivent pas leur énergie, votre corps peut réagir en essayant de trouver plus d'énergie - de la nourriture. Vous serez avoir faim.

- **Gain de poids:** cela peut être le résultat de ce qui précède symptôme (faim intense).
- **Perte de poids inhabituelle:** elle est plus courante chez les personnes atteintes de diabète de type 1. Comme votre corps n'est pas en fabriquant de l'insuline, il cherchera une autre énergie source (les cellules ne reçoivent pas de glucose). Muscle les tissus et la graisse seront décomposés pour produire de l'énergie. Comme Le type 1 est d'apparition plus soudaine et le type 2 est beaucoup plus graduelle, la perte de poids est plus perceptible avec Type 1.
- **Augmentation de la fatigue:** si votre insuline ne fonctionne pas correctement, ou n'y est pas du tout, le glucose ne sera pas entrer dans vos cellules et leur fournir énergie. Cela vous fera vous sentir fatigué et apathique.
- **Irritabilité:** l'irritabilité peut être due à votre manque de énergie.
- **Vision floue:** cela peut être causé par des tissus tiré de vos lentilles oculaires. Cela affecte vos yeux » capacité à se concentrer. Avec un traitement approprié, cela peut être traité. Il existe des cas graves de cécité ou de des problèmes de vision prolongés peuvent survenir.
- **Les coupures et les ecchymoses ne guérissent pas correctement ou rapidement :** Trouvez-vous que les coupures et les ecchymoses prennent beaucoup plus de temps que d'habitude pour guérir ? Quand il y a plus de sucre (glucose) dans votre corps, sa capacité à guérir peut être miné.

- **Plus d'infections cutanées et / ou à levures:** plus de sucre dans votre corps, sa capacité à récupérer les infections sont affectées. Les femmes atteintes de diabète le trouvent particulièrement difficile à récupérer de la vessie et infections vaginales.



FIGURE 1.3: Les symptômes du diabète [3]

- **Démangeaisons cutanées:** une sensation de démangeaisons sur votre peau, parfois un symptôme du diabète.
- **Les gencives sont rouges et/ ou en fées:** Les gencives se détachent des dents : si vos gencives sont sensibles, rouges et/ou enflées, cela pourrait être un signe de diabète. Vos dents pourraient se détacher lorsque les gencives s'écartent d'eux.

1.5 Méthodes de Diagnostic du Diabète de Type 2:

Le diagnostic du diabète de type 2 repose principalement sur des analyses sanguines spécifiques. Voici les méthodes utilisées : [13] (FIGURE 1.4).

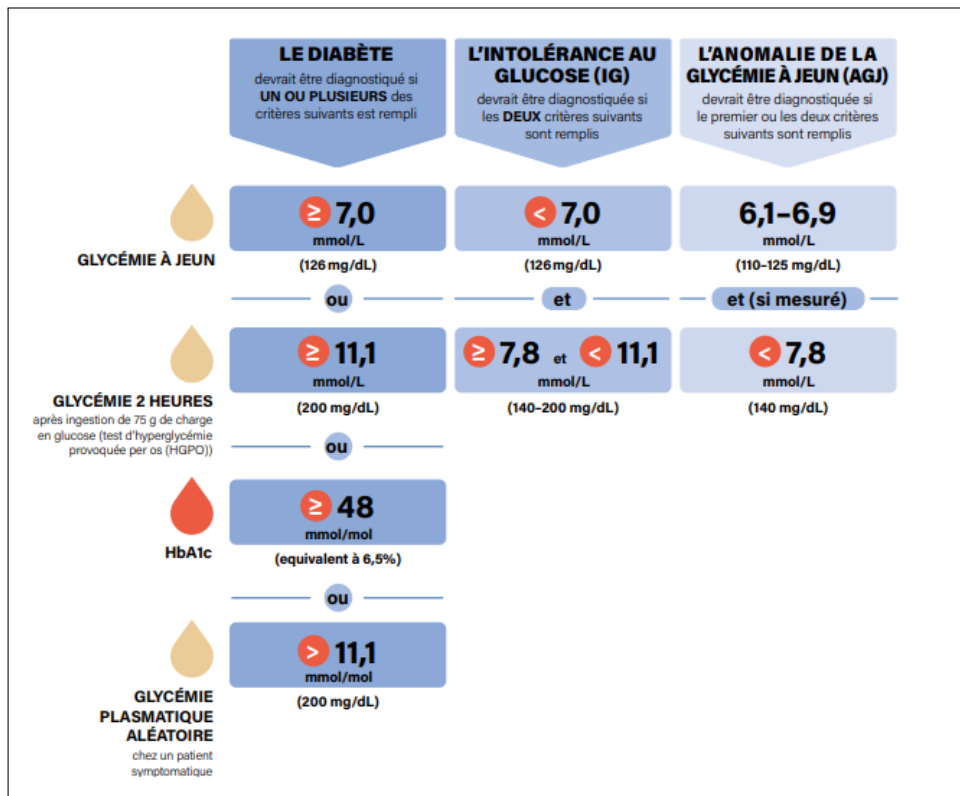


FIGURE 1.4: Méthodes de Diagnostic du Diabète de Type 2. [4]

1.6 L'importance de la gestion du diabète de type 2 (DT2) :

La gestion du diabète de type 2 est cruciale pour prévenir les complications à court et long terme. Voici les principales raisons : [13], [14]

- **Prévention des complications microvasculaires et macrovasculaires** : Une gestion efficace aide à éviter des complications graves comme la rétinopathie, la néphropathie, la neuropathie, ainsi que les maladies cardiovasculaires. Une bonne régulation glycémique joue un rôle clé dans la réduction de ces risques.
- **Amélioration de la qualité de vie** : Une gestion adéquate, incluant une alimentation équilibrée, l'exercice physique, et un traitement médicamenteux, permet de maintenir un mode de vie actif et de réduire les symptômes comme la fatigue ou l'hyperglycémie.

- **Réduction des coûts de santé** : Une gestion proactive permet de diminuer la fréquence des hospitalisations et des interventions médicales coûteuses liées aux complications du diabète.

1.7 Conclusion :

Le diabète de type 2 est une maladie chronique nécessitant un diagnostic précoce et un traitement adapté pour éviter les complications. Souvent silencieux à ses débuts, il nécessite des tests comme la glycémie à jeun et l'HbA1c pour être détecté. Une prise en charge efficace, combinant suivi médical, mode de vie sain et traitements, est essentielle pour améliorer la qualité de vie des patients.

Dans ce chapitre, nous allons aborder le diabète, en mettant l'accent sur le type 2, défini par une résistance à l'insuline et une production insuffisante. Ensuite Les causes principales, comme l'obésité et la sédentarité, ainsi que les symptômes spécifiques, souvent silencieux, ont été détaillés. Aussi, les méthodes de diagnostic, telles que l'HbA1c et la glycémie à jeun, ont été mises en avant pour leur rôle dans la détection précoce, et l'importance de la gestion du diabète et les avancées technologiques, notamment les outils d'intelligence artificielle, ont également été soulignées. Le prochain chapitre abordera les stratégies de traitement et de gestion.

CHAPITRE 2

ÉTAT DE L'ART DE DIABÈTE DE TYPE 2

Introduction

Nous allons commencer par une introduction dans ce chapitre, suivie d'une présentation détaillée du problème. Il explore aussi les travaux de la littérature portant sur la détection, le traitement et le diagnostic du diabète de type 2 (DT2), en mettant en avant les principaux défis, les opportunités ainsi que les avancées récentes dans ce domaine en perpétuelle évolution.

2.1 État de l'art sur le diagnostic du diabète de type 2 (DT2):

Le diagnostic du diabète de type 2 (DT2) repose traditionnellement sur des tests glycémiques, notamment la mesure de la glycémie à jeun. Pour garantir des résultats précis, un jeûne de 8 heures est requis avant la prise de sang. Le diagnostic est confirmé lorsque la glycémie à jeun est égale ou supérieure à 1,26 g/l (7 mmol/l) à deux reprises. Une fois le DT2 diagnostiqué, un examen clinique complet et un bilan biologique sont essentiels pour évaluer l'état de santé du patient et planifier la prise en charge.

2.1.1 Examen clinique et bilan biologique :

L'examen clinique complet comprend :

- La mesure du poids, de la taille et le calcul de l'indice de masse corporelle (IMC).

- L'examen cardiovasculaire (prise des pouls et mesure de la tension artérielle).
- L'examen neurologique pour détecter d'éventuelles complications.

Le bilan biologique inclut :

- Le dosage de l'hémoglobine glyquée (HbA1c), qui reflète la glycémie moyenne sur les trois derniers mois.
- L'évaluation des lipides sanguins (cholestérol, triglycérides).
- L'analyse de la fonction rénale pour détecter d'éventuelles complications rénales.

2.1.2 Évolution des méthodes de diagnostic et de gestion du DT2 :

Le diagnostic, la classification et la gestion du DT2 ont connu des avancées significatives ces dernières années, intégrant à la fois des techniques traditionnelles et des technologies innovantes. Ces progrès visent à offrir des solutions plus précises et personnalisées pour répondre à la complexité de cette maladie [15]. Cependant, des défis persistent, notamment en ce qui concerne l'intégration des incertitudes et des paramètres dynamiques dans les diagnostics en temps réel [6].

2.1.3 Innovations dans la classification du diabète :

En complément des approches traditionnelles, de nouvelles méthodologies ont été développées pour mieux refléter la diversité des profils diabétiques :

- **Classification par clusters** : Une étude suédoise a identifié cinq clusters distincts basés sur des paramètres cliniques et biologiques :
 - Diabète sévère résistant à l'insuline,
 - Diabète modéré lié à l'obésité,
 - Diabète modéré lié à l'âge [16].

- **Sous-types fonctionnels et auto-immuns** : En utilisant des marqueurs auto-immuns et des évaluations de la fonction des cellules bêta (par exemple, le peptide C), les chercheurs ont proposé des classifications affinées (types 1A, 1B, 2A, 2B) offrant des traitements plus adaptés [17].

Ces avancées permettent une meilleure personnalisation des traitements, bien qu'elles soient limitées par leur dépendance à des seuils fixes et leur incapacité à capturer les dynamiques évolutives de la maladie [18].

2.1.4 Transition vers une médecine de précision :

La gestion du DT2 tend de plus en plus vers une approche individualisée, avec des stratégies telles que :

- **Bi-thérapie précoce** : Une combinaison de metformine et de glitazone chez les patients obèses a démontré une efficacité prometteuse pour atteindre des objectifs glycémiques ambitieux [19].
- **Médecine de précision** : En intégrant des profils spécifiques et des phénotypes individuels, ces approches permettent des traitements ciblés et optimaux [20].

Cependant, les stratégies actuelles peinent à intégrer l'incertitude et à s'adapter aux changements rapides des conditions de santé des patients.

2.1.5 Progrès technologiques dans la gestion du DT2

Les avancées technologiques ont transformé la prise en charge du DT2 :

- Les **capteurs de surveillance continue de la glycémie (CGM)** fournissent des données en temps réel, améliorant la précision de l'administration d'insuline et la prédiction des anomalies [21].
- L'**intelligence artificielle (IA)** est intégrée dans les systèmes d'aide à la décision, offrant des recommandations personnalisées et des prédictions précises [22].
- Les **systèmes hybrides à boucle fermée** ont révolutionné l'automatisation de la délivrance d'insuline [23].

- Les **outils numériques**, comme les applications mobiles et la télémédecine, favorisent également l'engagement des patients et une meilleure gestion autonome [24].

2.1.6 Limites et perspectives :

Malgré ces progrès, il reste crucial de développer des modèles dynamiques capables d'intégrer les incertitudes et de répondre aux variations individuelles et environnementales. Les approches actuelles, souvent basées sur des seuils statiques (HbA1c, glycémie à jeun), doivent évoluer pour mieux refléter la nature complexe et évolutive du DT2.

2.2 Médecine de précision et hétérogénéité du DT2:

La gestion du diabète de type 2 (DT2) a évolué d'une approche standardisée à un modèle plus personnalisé, intégrant les principes de la médecine de précision [25]. Ce changement de paradigme reconnaît l'hétérogénéité du diabète, allant au-delà de la classification traditionnelle du diabète de type 1 et de type 2 [26].

La médecine de précision appliquée au DT2 exploite les données génomiques, ainsi que d'autres technologies "omiques" (génomique, transcriptomique, protéomique, métabolomique) et des preuves cliniques, pour améliorer les stratégies de diagnostic, de prévention et de traitement [27]. Des études récentes ont identifié cinq sous-groupes distincts de diabète, chacun présentant des risques de complications variables, permettant ainsi des interventions plus ciblées et individualisées [26, 28].

Le modèle en "palette", proposé par McCarthy [28], met en avant la nécessité de positionner chaque patient au sein des principaux processus physiopathologiques contribuant au risque et à la progression du diabète. Cette approche reconnaît que de nombreux patients présentent plusieurs anomalies métaboliques concomitantes, nécessitant une prise en charge plus nuancée et adaptée.

2.3 Avancées récentes dans la gestion du DT2

Les avancées récentes dans la gestion du diabète englobent des innovations technologiques, des progrès pharmacologiques et des approches thérapeutiques personnalisées.

2.3.1 Innovations technologiques :

La technologie du diabète a fait des progrès considérables au cours des dernières décennies, la surveillance continue du glucose (CGM) apparaissant comme une avancée essentielle dans la gestion du diabète estion plus réactive et efficace[29]. L'accumulation de données dans les synthèses de Profil Ambulatoire du Glucose (PAG) peuvent rendre difficiles leurs interprétations. Cet article a donc pour objectif de guider le lecteur d'étape en étape dans l'interprétation de ces résultats .[30, 31].

2.3.2 Nouveaux traitements pharmacologiques :

L'apparition de nouvelles classes d'antidiabétiques oraux, notamment les gliptines, les inhibiteurs du SGLT2 et les agonistes des récepteurs GLP-1, a élargi les options thérapeutiques, améliorant le contrôle glycémique et les résultats cardiovasculaires [30, 32]. Par ailleurs, des systèmes innovants d'administration des médicaments, comme la nanoformulation LG/TD-NF, offrent des avantages par rapport aux injections traditionnelles, en améliorant la stabilité et la biodisponibilité des médicaments [32].

2.3.3 Approches alternatives et traitements émergents :

En dehors des traitements pharmacologiques, des approches alternatives, telles que les inhibiteurs de l' α -amylase d'origine végétale, montrent un potentiel prometteur pour moduler le métabolisme du glucose [32]. À l'avenir, des stratégies telles que la thérapie génique, les traitements par cellules souches et la nanotechnologie sont activement étudiées comme options thérapeutiques potentiellement curatives [33, 34].

2.3.4 Défis et perspectives du DT2 :

Toutefois, des défis majeurs subsistent, notamment :

- L'optimisation des nouvelles techniques pour un meilleur contrôle glycémique.
- L'amélioration de l'adhésion des patients aux traitements.
- La gestion des préoccupations liées à la sécurité et à l'éthique [33].

Malgré ces avancées, les modifications du mode de vie demeurent un pilier essentiel du traitement du diabète, en complément des approches pharmacologiques [33].

2.3.5 Évolution des critères diagnostiques du DT2 :

Les critères diagnostiques du DT2 ont également évolué, avec les normes actuelles définies comme suit :

- Glycémie à jeun $\geq 126 \text{ mg/dL}$.
- Glycémie postprandiale (2 heures après ingestion de glucose) $\geq 200 \text{ mg/dL}$.
- HbA1c $\geq 6,5\%$.
- Glycémie aléatoire 200 mg/dL en présence de symptômes d'hyperglycémie [35, 36].

Cependant, ces critères présentent des limites dans la détection précoce des individus à haut risque [37].

2.3.6 Perspectives et recherches futures :

La rémission du diabète est définie comme le maintien d'un HbA1c en dessous des seuils diagnostiques pendant au moins six mois sans traitement médicamenteux [36]. La fiabilité et la validité des définitions opérationnelles du DT2, basées sur les données des assurances santé nationales, ont été évaluées, démontrant une forte précision et spécificité lorsque les codes diagnostiques sont combinés aux prescriptions d'antidiabétiques [38].

Les recherches futures devraient se concentrer sur :

- L'amélioration des critères diagnostiques afin d'identifier plus précocement les individus à risque.
- L'évaluation de la pertinence des seuils actuels selon l'âge et l'origine ethnique des patients [35, 37].

2.4 Conclusion

Dans cette section, nous avons passé en revue un large éventail de travaux de recherche dédiés au diagnostic du diabète de type 2 (DT2), en mettant en exergue leurs limites et les principaux défis rencontrés. Cette analyse, structurée selon une classification rigoureuse des études issues de la littérature, a permis d'identifier les axes d'amélioration ainsi que les perspectives de recherche les plus prometteuses.

En conclusion, la prise en charge du DT2 évolue vers une approche plus personnalisée et intégrée, s'appuyant sur les avancées technologiques, pharmacologiques et les stratégies issues de la médecine de précision. Toutefois, des efforts supplémentaires restent nécessaires pour relever les défis persistants et optimiser durablement les prises en charge, améliorant ainsi la qualité de vie des patients atteints de DT2.

CHAPITRE 3

THÉORIE DE L'ÉVIDENCE ET SON APPLICATION MÉDICALE

Introduction

Ce chapitre consiste à présenter la théorie de l'évidence et son impact dans les différents diagnostics pour les maladies chroniques, et surtout la théorie de l'évidence par rapport à la maladie du diabète de type 2.

3.1 Théories de l'incertain et leur impact en médecine, notamment dans le diagnostic du diabète:

L'incertitude est un élément fondamental dans de nombreux domaines, y compris la médecine, où elle joue un rôle clé dans l'interprétation des données et la prise de décision. On distingue deux types principaux d'incertitudes :

- **Variabilité** : Elle découle de la nature aléatoire ou stochastique des phénomènes, comme le temps de défaillance d'un organe ou la concentration d'un marqueur biologique. C'est ce qu'on appelle une incertitude aléatoire.
- **Imprécision** : Elle résulte d'un manque de données ou de connaissances, par exemple lorsqu'un paramètre biologique ou une date d'événement passé est mal défini. C'est une incertitude épistémique.

Dans le contexte médical, et plus particulièrement pour des pathologies complexes comme le diabète de type 2, ces incertitudes nécessitent l'application de théories adaptées pour fournir des diagnostics fiables et orienter les décisions cliniques.

3.1.1 Principales théories de l'incertain :

Cette section présente les éléments fondamentaux des théories de l'incertain.

- **Théorie de la probabilité:** Cette théorie modélise l'incertitude en termes de fréquences ou de croyances relatives à des événements. Elle s'applique surtout aux incertitudes d'origine aléatoire, comme la probabilité qu'un patient développe une complication liée au diabète. Elle est particulièrement utile pour analyser des données populationnelles et calculer des risques associés à des événements spécifiques.
- **Théorie de la possibilité :** Fondée sur la logique floue, cette théorie traite des incertitudes non probabilistes. Elle évalue des degrés de possibilité pour des scénarios multiples en absence de données précises, ce qui est utile pour modéliser des phénomènes complexes comme les effets variés de traitements sur différents patients diabétiques. Elle est basée sur les fonctions de possibilité et de nécessité, permettant une modélisation plus flexible que la probabilité classique.
- **Logique floue ou théorie des ensembles flous :** La logique floue permet de gérer les incertitudes liées à des concepts imprécis, tels que des seuils diagnostiques flous (par exemple, "glycémie élevée" ou "glycémie légèrement élevée"). Cette approche est précieuse pour personnaliser les diagnostics en fonction des profils spécifiques des patients.
- **Théorie de l'évidence (ou théorie de Dempster-Shafer) :** Cette théorie généralise la théorie des probabilités en intégrant des croyances

partielles ou des preuves incomplètes. Elle s'avère particulièrement pertinente pour le diagnostic du diabète, où les données médicales peuvent être incomplètes ou contradictoires. La théorie de l'évidence permet d'agréger différentes sources d'informations, comme des tests biologiques (glycémie à jeun, HbA1c) et des observations cliniques, pour fournir une évaluation plus robuste des états pathologiques.

3.1.2 Impact des théories de l'incertitude en médecine et dans le diagnostic du diabète :

Ces théories jouent un rôle crucial dans le développement d'outils diagnostiques et dans l'aide à la décision clinique. Par exemple, la théorie de l'évidence est particulièrement importante pour gérer les données hétérogènes et souvent incertaines utilisées dans le dépistage du diabète. Elle permet de pondérer différentes sources d'information et de prendre en compte des preuves partielles, ce qui améliore la précision et la confiance dans les diagnostics.

De même, la logique floue est essentielle pour modéliser des seuils diagnostiques flexibles et personnaliser les traitements en fonction des besoins individuels des patients. La théorie de la possibilité, quant à elle, facilite la gestion des scénarios multiples dans les cas où les données sont insuffisantes pour attribuer des probabilités claires.

Ainsi, l'application des théories de l'incertain permet non seulement de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents des pathologies comme le diabète, mais aussi d'améliorer les soins cliniques en offrant des outils plus robustes et adaptés à la complexité des situations médicales.

FIGURE 3.1.(a) montre la relation entre les théories de incertaines, la relation entre les types de données incertaine est illustrée par FIGURE 3.1.(b) [39, 40].

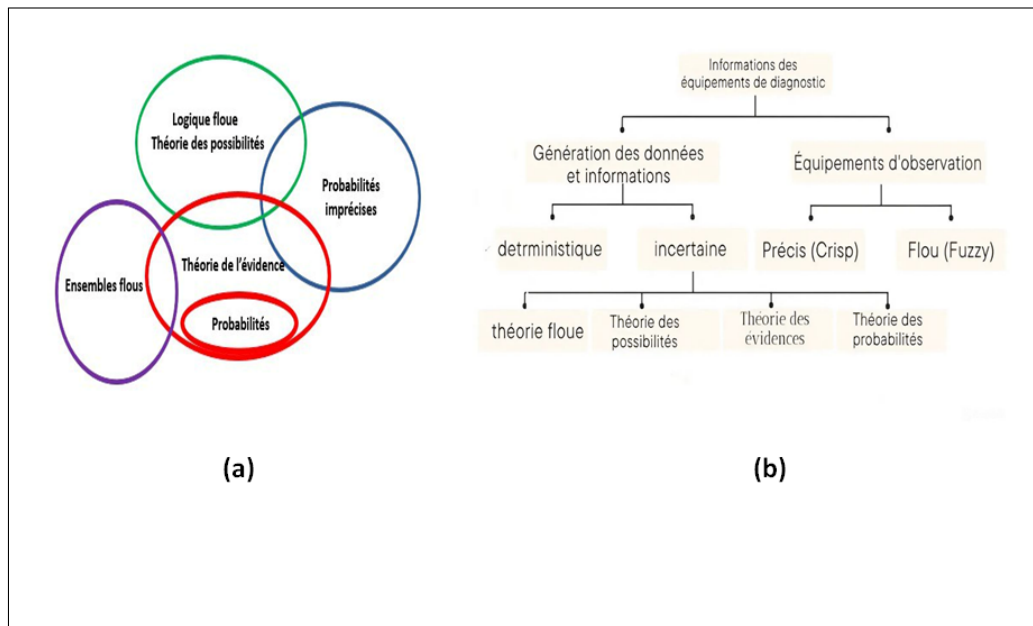


FIGURE 3.1: (a) La relation entre les Théories de l'incertain (b) Lien étroit entre les données incertaines et les théories correspondantes

3.2 Théorie de L'évidence :

Le traitement de la théorie de l'évidence (ou de Dempster-Shafer) pour résoudre le problème de l'appariement de données géographiques issues de différentes bases.

Les bases de données géographiques contiennent souvent des données imprécises ou incertaines (incohérences, valeurs manquantes, données conflictuelles...).

L'objectif est de fusionner ces données pour obtenir une information plus fiable. Cela nécessite un processus d'appariement (identifier des objets correspondants dans deux bases différentes).

3.2.1 Cadre de discernement :

La théorie de l'évidence (Dempster-Shafer) repose sur un cadre de discernement Ω , qui est l'ensemble des hypothèses possibles servant à résoudre un problème.

- Univers de Décernement: L'univers de discernement ou L'ensemble de discernement est définie par la eq. 3.1.

$$\Omega = \{H_1, H_2, \dots, H_n\} \quad (3.1)$$

où :

- n est le nombre total d'hypothèses.
- Ω représente des hypothèses **exclusives** et **exhaustives**.
- Toutes les parties de Ω forment le *power set* 2^Ω , soit l'ensemble de tous les sous-ensembles de Ω .
- Chaque sous-ensemble dans 2^Ω représente une *proposition disjonctive* (union de plusieurs hypothèses).

Exemple :

Considérons $\Omega = H_1, H_2$, l'ensemble des hypothèses H_1 et H_2 . Le nombre total de sous-ensembles de Ω est donné par la eq. 3.2:

$$2^\Omega = \{\emptyset, \{H_1\}, \{H_2\}, \{H_1, H_2\}\} \quad (3.2)$$

3.2.2 Fonction de croyance et de plausibilité :

La théorie de Dempster-Shafer propose une approche flexible pour gérer cette incertitude à travers les fonctions de croyance et de plausibilité. Ces fonctions permettent d'exprimer le degré de confiance accordé à une hypothèse en tenant compte des différentes sources d'information disponibles. Alors que la fonction de croyance mesure la certitude minimale associée à une hypothèse donnée, la fonction de plausibilité quantifie le degré maximal auquel cette hypothèse peut être considérée comme vraie.

- **Fonction de croyance :** La fonction de croyance (notée $Cr(A)$ ou $Bel(A)$) permet d'attribuer un degré de croyance (entre 0 et 1) à une hypothèse A dans un cadre de discernement (Ω). Elle est dérivée des fonctions de masse et reflète toutes les raisons soutenant directement A .

La croyance ($Bel(A)$) est calculée par la somme des probabilités associées aux propositions (B) strictement incluses dans (A) (eq. 3.3):

$$Bel(A) = \sum_{B_i \subseteq A} m(B_i) \quad (3.3)$$

Propriétés fondamentales :

- $Cr(\emptyset) = 0$: aucune croyance pour l'ensemble vide.
- $Cr(\Omega) = 1$: certitude totale dans Ω .
- $Cr(A \cup B) = Cr(A) + Cr(B)$ si $A \cap B = \emptyset$.

Explication :

- $Bel(A)$ représente la borne inférieure de la vraisemblance.
- Une fonction de croyance nulle $Bel(A) = 0$ indique une ignorance totale sur l'hypothèse A .
- **Fonction de plausibilité :** La **plausibilité (PI)** mesure le degré maximal de vraisemblance d'une hypothèse A . Elle correspond à la somme des probabilités des ensembles B qui ont une intersection non nulle avec A ($B \cap A \neq \emptyset$). Formellement, elle est définie par la eq. 3.4:

$$Pl(A) = \sum_{A \cap B_i \neq \emptyset} m(B_i) \quad (3.4)$$

Relations et interprétations:

La plausibilité (eq. 3.5) peut être calculée à partir de :

- La fonction de masse m , comme dans la définition de Dempster.
- La fonction de croyance de l'événement complémentaire A^c :

$$Pl(A) = 1 - Cr(A^c) \quad (3.5)$$

Le couple (Cr, Pl) représente :

- $Cr(A)$: la probabilité minimale de l'hypothèse A (croyance).
- $Pl(A)$: la probabilité maximale de l'hypothèse A (plausibilité).

- **Initialisation de masse :**

Initialisation des masses :

Dans la théorie de Dempster-Shafer (TDS), l'attribution des masses de croyances initiales est une étape critique réalisée par un expert. Elle consiste à assigner des degrés de croyance (masses) à chaque hypothèse en vue d'une prise de décision optimale. Une mauvaise initialisation peut entraîner des décisions erronées ou des conflits.

Méthodes pour déterminer les masses :

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour déterminer ces masses, notamment :

- Les fonctions de vraisemblance construites à partir d'ensembles de données d'apprentissage, comme celles basées sur des distributions gaussiennes [41].
- Les mesures de distance (euclidienne, toponymique, sémantique, etc.) utilisées dans l'algorithme des K -plus proches voisins [41].
- Les représentations floues pour modéliser les incertitudes [42, 43, 44, 45].

Ces approches permettent de guider efficacement l'initialisation des masses dans des contextes variés.

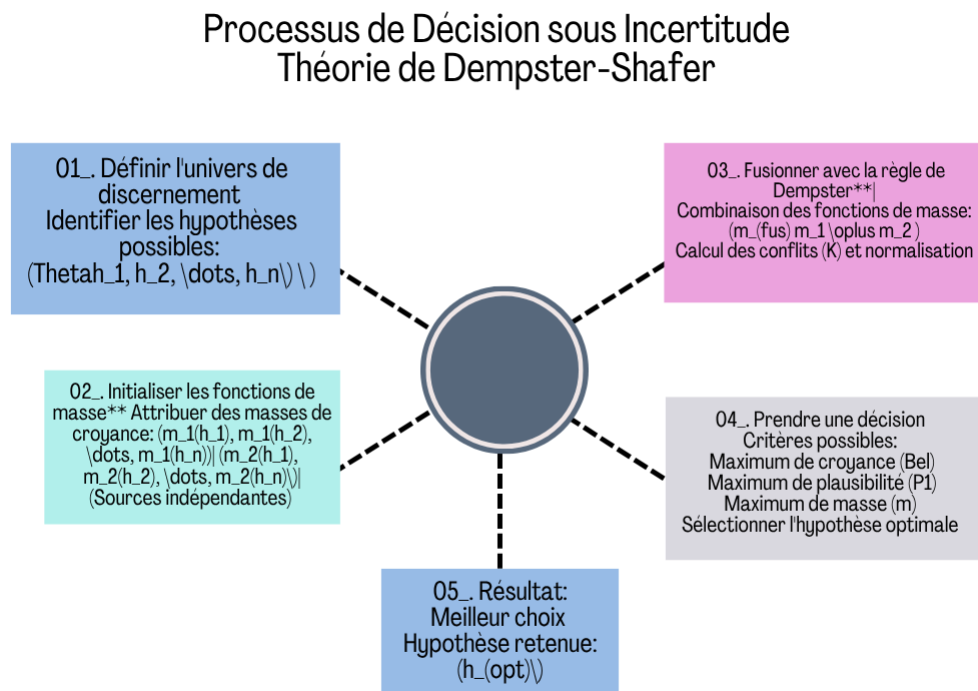


FIGURE 3.2: Enchainmenet des étapes de théorie de l'évidence [5].

3.2.3 Combinaison d'informations avec la TDS :

La combinaison d'informations provenant de sources distinctes est essentielle pour prendre des décisions éclairées. Pour ce faire, plusieurs règles de combinaison sont utilisées, notamment :

- **Règle de combinaison de Dempster :** La règle de combinaison de Dempster est la méthode la plus courante. Elle combine les sources d'informations en utilisant l'opérateur de conjonction de Dempster, symbolisé par $\oplus$. Cette méthode permet de fusionner deux sources d'informations en fonction de leurs jeux de masses respectifs, exprimant des degrés de confiance sur un ensemble d'hypothèses [46].
- **Méthodes alternatives :** La théorie de l'évidence fait appel à divers opérateurs de combinaison documentés dans la littérature, notamment :
 - Méthode de Yager [47], qui propose un opérateur de combinaison différent.

- Méthode de Dubois et Prade [48], basée sur des opérateurs disjonctifs.
- Méthode d'Inagaki [49].
- Méthode de Smets basée sur la Théorie des ensembles de Dempster (TDS) en monde ouvert[50].
- Un opérateur de Combinaison Matricielle de Boualem, Dahmani et Maatoug [51],

• **Combinaison des sources d'information :**

La combinaison de deux sources d'informations, notées A_1 et A_2 , s'effectue en multipliant les masses associées à leurs intersections. Si ces sources sont disjointes, leur intersection est vide et un facteur de normalisation, λ_c , est utilisé pour ajuster le résultat (eq. 3.6).

$$m_1 \oplus m_2(A) = \begin{cases} 0 & \text{si } A = \emptyset, \\ \frac{\sum_{A_1 \cap A_2 = A} m_1(A_1) \times m_2(A_2)}{1 - \lambda_c} & \text{si } A \neq \emptyset, \end{cases} \quad (3.6)$$

où $\lambda_c = \sum_{A_1 \cap A_2 = \emptyset} m_1(A_1) \times m_2(A_2)$ représente le conflit entre les sources, appelé aussi ignorance, et il est utilisé comme facteur de normalisation.

Remarque : Étant donné que la décision finale est primordiale dans la théorie de l'évidence — malgré l'existence de plusieurs opérateurs de combinaison — nous avons opté, dans notre application développée, pour une normalisation à l'unité en remplacement du facteur d'ignorance k , afin de simplifier les calculs.

3.2.4 Prise de décision par la TDS :

La prise de décision dans la théorie des systèmes de croyance (TDS) repose sur des critères différents de ceux utilisés dans le cadre bayésien, où la règle principale est le maximum a posteriori (MAP). En TDS, deux grandeurs sont disponibles : la **crédibilité** et la **plausibilité**. Plusieurs règles de décision sont proposées, notamment :

- Maximum de crédibilité, tel que $Pl(A) = \sum_{A \cap B_i \neq \emptyset} m(B_i)$
- Maximum de plausibilité, tel que $Cr(A) = Bel(A) = \sum_{A \in B} m(B)$
- Règles basées sur l'intervalle de confiance (Voir la section "l'intervalle de Confiance"),
- Probabilité pignistique (Voir la section "Probabilité Pignistique").

La règle de maximum de crédibilité est considérée comme non risquée mais sous-estime l'incertitude, tandis que celle de maximum de plausibilité peut être trop risquée. L'idéal est de se situer dans l'intervalle entre crédibilité et plausibilité, mais le choix de la règle de décision dépend du problème spécifique.

3.2.5 Intervalle de Confiance (IC) :

L'intervalle de confiance n'est pas défini comme dans la statistique classique (où l'on utilise des distributions de probabilité). À la place, on définit un intervalle de croyance, qui est déterminé par les fonctions de croyance (Bel) et de plausibilité (Pl). Il est donnée par la eq. 3.7:

$$IC = [Bel, Pl] \quad (3.7)$$

Où :

$Bel(A)$ (fonction de croyance) représente le degré minimal de support en faveur de A , c'est-à-dire la somme des masses de croyance qui soutiennent entièrement A . $Pl(A)$ (fonction de plausibilité) représente le degré maximal auquel A peut être vrai, c'est-à-dire la somme des masses qui ne contredisent pas A . Ainsi, l'intervalle définie par (eq. 3.7) encadre la probabilité réelle de A , mais sans la connaître exactement.

Remarque:

- Si l'intervalle est étroit ($Bel(A) \approx Pl(A)$), cela signifie que l'incertitude est faible et que notre confiance en A est élevée.
- Si l'intervalle est large, cela indique une forte incertitude sur A, ce qui reflète un manque d'information ou des sources conflictuelles.

3.2.6 Probabilité Pignistique :

La probabilité pignistique est une mesure subjective entre crédibilité et plausibilité, définie par la relation suivante (eq. 3.8) :

$$P(A) = \sum_{X \in 2^\Omega} \frac{|X \cap A|}{|X|} m(X) \quad (3.8)$$

Où $|X|$ représente le nombre d'hypothèses formant la proposition X, et $m(B)$ est la fonction de masse de la proposition B.

3.2.7 Applications :

La théorie des évidences est appliquée dans plusieurs domaines :

- **Diagnostic médical** : Combinaison des résultats d'examens pour diagnostiquer des maladies.
- **Fusion de capteurs** : Intégration des données provenant de plusieurs capteurs en robotique et dans les véhicules autonomes.
- **Évaluation des risques** : Gestion de l'incertitude dans les systèmes financiers et d'ingénierie.

3.2.8 Exemple de Déroulement de Théorie de L'évidence :**Description du Problème :**

Un patient est atteint d'une maladie chronique pouvant résulter de trois causes distinctes : A, B ou la combinaison entre A et B; ($A \cup B$).

- Le **médecin 1** estime que la cause est très probablement A avec une croyance $m(A) = 0.85$, mais considère également B comme possible mais peu probable, $m(B) = 0.05$. La croyance de la cause A ou B est $m(A \cup B) = 0.10$ (eq. 3.9).
- Le **médecin 2** estime que la cause est très probablement C avec une probabilité $m(A \cup B) = 0.15$, mais considère également A et B comme possible mais peu probable respectivement, $m(A) = 0.70$, $m(B) = 0.15$ (eq. 3.11).

• **Initialisation des fonctions de masses des M1 et M2 :**

$$M1 : \begin{cases} m_1(A) = 0.85, \\ m_1(B) = 0.05 \\ m_1(A \cup B) = 0.10 \end{cases} \quad (3.9)$$

$$M2 : \begin{cases} m_2(A) = 0.70, \\ m_2(B) = 0.15, \\ m_2(A \cup B) = 0.15 \end{cases} \quad (3.10)$$

Remarque: nous avons considéré que l'hypothèse de "ignorance" dans ce type d'étude n'existe pas.

• **Combinaison des masses:**

Dans ce cas, l'équation eq. 3.11, illustre l'application de la règle de fusion de TDS:

$$M12 : \begin{cases} m_{12}(A) = \frac{m_1(A) \times m_2(A) + m_2(A) \times m_1(A \cup B) + m_1(A) \times m_2(A \cup B)}{1 - [m_1(A) \times m_2(B) + m_1(B) \times m_2(A)]} \\ m_{12}(B) = \frac{m_1(B) \cdot m_2(B) + m_2(B) \cdot m_1(A \cup B) + m_1(B) \cdot m_2(A \cup B)}{1 - [m_1(A) \cdot m_2(B) + m_1(B) \cdot m_2(A)]} \\ m_{12}(A \cup B) = \frac{m_1(A \cup B) \cdot m_2(A \cup B)}{1 - [m_1(A) \cdot m_2(B) + m_1(B) \cdot m_2(A)]} \end{cases} \quad (3.11)$$

Les résultats trouvés sont définis par la eq. 3.12.

$$M12 : \begin{cases} m_{12}(A) = \frac{0.595+0.07+0.1275}{1-[0.1275+0.035]} = 0.9463 \\ m_{12}(B) = \frac{0.0075+0.015+0.0075}{1-(0.1275+0.035)} = 0.0358 \\ m_{12}(A \cup B) = \frac{0.10 \times 0.15}{1-(0.1275+0.035)} = 0.0179 \end{cases} \quad (3.12)$$

- **Normalisation :** Cette étape consiste à s'assurer que la somme des fonctions de croyance est égale à l'unité (1). Ainsi, la condition à vérifier est $m(A) + m(B) + m(A \cup B) = 1$ Donc, les résultats obtenus sont (eq. 3.13):

$$\begin{cases} m_{12}(A) = 0.9463, \\ m_{12}(B) = 0.0358, \\ m_{12}(A \cup B) = 0.0179. \end{cases} \quad (3.13)$$

- **Décision :**

- Décision par maximum de fonctions de Croyance (eq. 3.14):

$$\begin{cases} Cr(A) = Bel(A) = m(A) = 0.9463, \\ Cr(B) = Bel(B) = m(B) = 0.0358, \\ Cr(A \cup B) = Bel(A \cup B) = m(A) + m(B) + m(A \cap B) \\ = 0.9463 + 0.0358 + 0.0179 = 1. \end{cases} \quad (3.14)$$

Puisque $Cr(A) = 0.9463 > 0.0358 > 0.0179$, donc A est la cause de la maladie.

- Décision par Fonction de Plausibilité

La fonction de plausibilité est définie par la eq. 3.16, comme nous pouvons utiliser la eq. 3.15.

$$Pl(A) = 1 - Bel(\neg A) \quad (3.15)$$

Dans notre cas, nous avons (eq. 3.16):

$$\begin{cases} Pl(A) &= 1 - Bel(\bar{A}) = 1 - Bel(B) = 1 - 0.0358 = 0.9642, \\ Pl(B) &= 1 - Bel(\bar{B}) = 1 - Bel(A) = 1 - 0.9463 = 0.0537, \\ Pl(A \cup B) &= 1 - Bel(A \cup B) = 1 - 1 = 0. \end{cases} \quad (3.16)$$

Puisque $Pl(A) = 0.9642 > 0.0537 > 0$, donc A est la cause de la maladie.

- Décision par Intervalle de Confiance Alors, dans cet exemple est donnée par la eq. 3.17:

$$IC = [0.9463, 0.9642] \quad (3.17)$$

L'object détecté est "cause A", car la probabilité réelle d'identification du cause A se situe entre 94.63% et 96.42%.

3.3 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exploré une théorie de l'incertain (la théorie de l'évidence). Issue des mathématiques probabilistes, cette théorie constitue un cadre formel permettant de raisonner en présence d'informations imparfaites et incomplètes. Elle offre un modèle de représentation des connaissances basé sur les fonctions de croyance, qui mesurent la probabilité subjective et permettent d'évaluer le degré de fiabilité d'une affirmation ou d'un avis d'expert. Grâce à l'introduction des masses d'évidence et à l'application de règles de combinaison, cette approche permet un traitement efficace de l'information, facilitant ainsi la prise de décision en contexte incertain.

Le prochain chapitre sera consacré à la présentation de notre solution basée sur la théorie de l'évidence. Nous y détaillerons la méthodologie adoptée, la conception du modèle ainsi que son processus de modélisation. Enfin, nous conclurons par une section dédiée aux simulations et à l'analyse des résultats obtenus.

CHAPITRE 4

MÉTHODOLOGIE, CONCEPTION ET RÉALISATION

Introduction

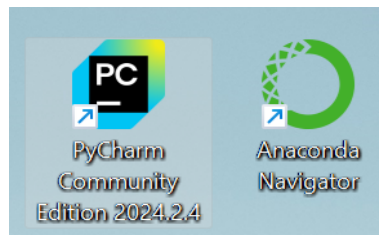
Dans cette section, nous allons définir, dans la partie 1, les métriques nécessaires pour les différents diagnostics de diabète de type 2. Dans la partie 2, nous allons présenter la modélisation de notre stratégie basée sur la théorie de l'évidence.

Dans ce chapitre, nous présentons la méthodologie adoptée, suivie d'une conception simplifiée et d'une description de notre application. Enfin, nous concluons par une analyse des résultats obtenus et un résumé des principaux éléments abordés.

4.1 Choix du langage de programmation

PyCharm est un IDE qui s'intègre à IPython Notebook, dispose d'une console Python interactive et prend en charge Anaconda ainsi que plusieurs packages scientifiques. PyCharm permet également de créer des environnements virtuels pour Python avec Anaconda.

Nous avons utilisé Anaconda avec le langage Python comme environnement de développement, et PyCharm Community Edition 2024.2.4 comme éditeur de code source pour implémenter et évaluer notre modèle (FIGURE [4.1](#)).

FIGURE 4.1: *PyCharm Community Edition 2024.2.4.*

Développement intégré (IDE) performant, capable de gérer efficacement plusieurs fichiers Python, des fichiers de données multiples, différentes versions du projet, ainsi que des fonctionnalités avancées de débogage et d'organisation du code.

Parmi les nombreux IDE disponibles pour le langage Python, notre choix s'est porté sur PyCharm Community Edition. Cette version gratuite, bien que plus légère que la version professionnelle, offre une large gamme de fonctionnalités essentielles telles que :

- la gestion de projets multi-fichiers,
- l'autocomplétion intelligente du code,
- l'intégration Git,
- la gestion des environnements virtuels,
- et une interface conviviale.

Ces caractéristiques en font un outil robuste et adapté au contexte d'un projet de notre PFE.

4.2 La Méthodologie :

La FIGURE 4.2 présente les méthodes utilisées pour le diagnostic et la détection du diabète de type 2, tout en mettant en avant l'objectif principal de notre contribution.

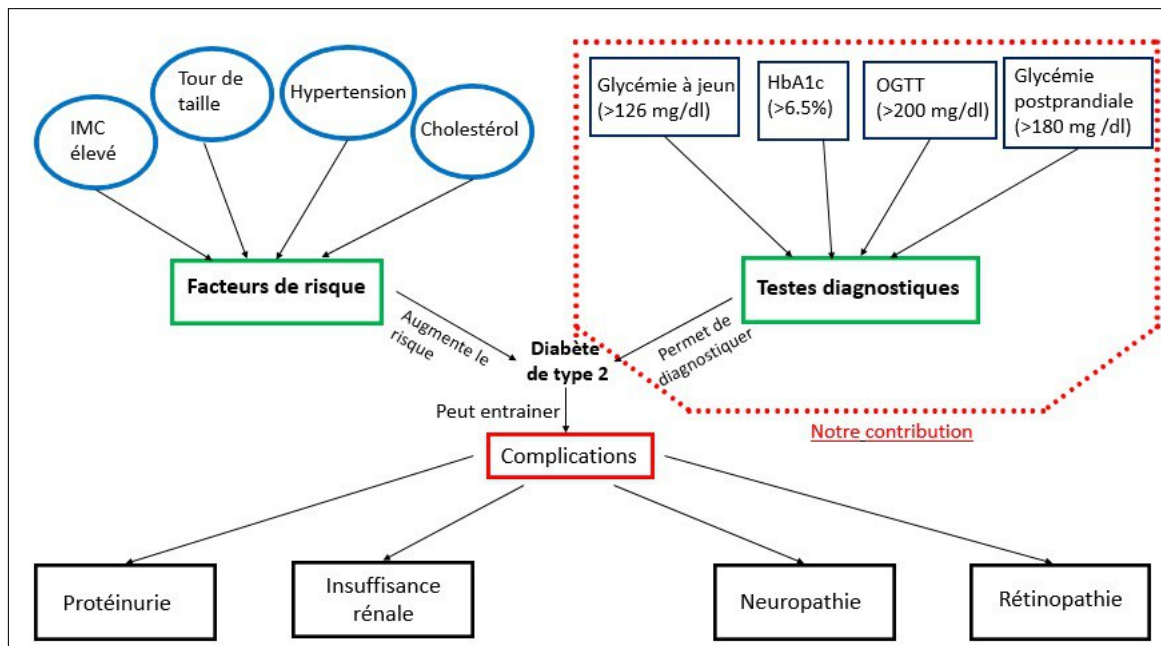


FIGURE 4.2: La fusion à base Théorie de l'évidence (Notre Contribution).

4.2.1 Les Paramètres Nécessaires pour les Diagnostiques :

En plus de la Glycémie à jeun, voici d'autres critères importants pour la détection du diabète de type 2 :

- **Hémoglobine glyquée (HbA1c)** : Reflète la moyenne des niveaux de sucre dans le sang sur les 2-3 derniers mois.
Un taux supérieur à 6,5% est un indicateur de diabète.
- **Test de tolérance au glucose (OGTT)** : Mesure la glycémie 2 heures après avoir consommé une solution sucrée.
Un taux supérieur à 200 mg/dL est un signe de diabète.
- **Glycémie postprandiale** : Mesure du niveau de sucre dans le sang après un repas (souvent 2 heures après).
Un taux supérieur à 180 mg/dL est indicatif de diabète.
- **Pression artérielle** : Une pression artérielle élevée (hypertension) est souvent associée à un risque accru de diabète.

Ces critères peuvent être combinés à l'aide de la Théorie de l'Évidence pour une détection plus précise du diabète de type 2.

4.2.2 Modèle d'incertitude basé sur la théorie de l'évidence :

La formalisation des croyances pour chaque critère utilisé pour détecter le diabète de type 2 en utilisant la théorie de l'évidence, en attribuant des croyances aux hypothèses. Pour notre approche, nous considérons les médecins comme des sources d'information fiables, en leur attribuant des fonctions de masse reflétant leur expertise diagnostique. L'ignorance, quant à elle, est représentée par une masse allouée à l'ensemble de discernement complet, traduisant l'incapacité à identifier précisément la cause d'une maladie. Cette modélisation permet de prendre en compte l'incertitude inhérente au processus diagnostique, en intégrant à la fois la fiabilité des sources et le manque de connaissances spécifiques sur certaines pathologies.

- a. **L'univers de discernement:** Soit D est l'état diabétique, N est l'état Normal, et l'état Prédiabète est représenté par P (eq. 4.1)

$$\Omega = \{D, N, P\} \quad (4.1)$$

- b. **Initialisation des fonctions de masse:** Nous utilisant les croyances selon les espères (les médecins)

1. HbA1c (Hémoglobine glyquée)

- * Si $HbA1c > 6.5\%$, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse " Diabétique " de $m(Diabetique) = 0.85$.
- * Si $HbA1c < 5.7\%$, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse "Normal" de $m(Normal) = 0.85$
- * Si $HbA1c$ est entre 5.7% et 6.5% , une croyance partielle est attribuée aux deux hypothèses en raison de la prédiabète de $m(Prediabete) = 0.2$

Les seuils de classification de HbA1c sont définies par (eq. 4.2):

$$Sd_{HbA1c} = \begin{cases} Normal & : < 5.7\%, \\ Prediabete & : \in [5.7 : 6.4] \%, \\ Diabete & : \geq 6.5\% \end{cases} \quad (4.2)$$

Alors, les fonctions de masses pour HbA1c sont définies par (eq. 4.3):

$$\begin{cases} m(Diabete) = 0.85, & \text{si } HbA1c > 6.5\% \\ m(Normal) = 0.85, & \text{si } HbA1c < 5.7\% \\ m(\{Prediabet\}) = 0.2, & \text{si } 5.7\% \leq HbA1c \leq 6.5\% \end{cases} \quad (4.3)$$

2. Glycémie à jeun

- * Si glycémie > 126 mg/dL, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse "Diabétique" de $m(\{Diabétique\}) = 0.9$
- * Si glycémie < 100 mg/dL, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse "Normal" de $m(\{Normal\}) = 0.9$
- * Si glycémie entre 100 et 126 mg/dL (pré-diabète), une croyance partielle est attribuée aux deux hypothèses de $m(\{Prediabete\}) = 0.15$

Le seuil diagnostiques (Sd) est définie par (eq. 4.4):

$$Sd_{FBG} = \begin{cases} Normal & : \in [70 : 99] \text{ mg/dL}, \\ Prediabete & : \in [100 : 125] \text{ mg/dL}, \\ Diabete & : \geq 126 \text{ mg/dL} \end{cases} \quad (4.4)$$

Dons, Les fonctions de masses sont (eq. 4.5):

$$\begin{cases} m(Diabete) = 0.9, & \text{si glycémie} > 126 \text{ mg/dL} \\ m(Normal) = 0.9, & \text{si glycémie} < 100 \text{ mg/dL} \\ m(\{Prediabet\}) = 0.15, & \text{si } 100 \leq \text{glycémie} \leq 126 \text{ mg/dL} \end{cases} \quad (4.5)$$

3. Indice de masse corporelle (IMC)

- * Si $IMC > 30$, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse "Diabétique", car l'obésité est un facteur de risque majeur de $m(\{Diabétique\}) = 0.8$
- * Si $IMC < 25$, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse "Normal" de $m(\{Normal\}) = 0.85$
- * Si IMC est entre 25 et 30, une croyance partielle est attribuée aux deux hypothèses de $m(\{Prediabete\}) = 0.2$

Seuils de classification de IMC sont définies par (eq. 4.6):

$$Sd_{IMC} = \begin{cases} Normal : \in [18.5 : 24.9], \\ Prediabete : \in [25 : 29.9], \\ Diabete : \geq 30 \end{cases} \quad (4.6)$$

Les fonctions de masses sont (eq. 4.7):

$$\begin{cases} m(Diabete) = 0.8, & \text{si } IMC > 30 \\ m(Normal) = 0.85, & \text{si } IMC < 25 \\ m(\{Prediabete\}) = 0.2, & \text{si } 25 \leq IMC \leq 30 \end{cases} \quad (4.7)$$

4. Cholestérol et triglycérides :

Les lipides sanguins considérés dans le diagnostic et le suivi du diabète de type 2 (DT2) incluent :

- Cholestérol Total (TC) : Cholestérol total (mg/dL)

Indicateur global des lipides sanguins.

- HDL Cholestérol (Bon cholestérol) : HDL (mg/dL)

rotecteur cardiovasculaire, souvent diminué chez les patients diabétiques.

- LDL Cholestérol (Mauvais cholestérol) : LDL (mg/dL)

Facteur clé dans le risque cardiovasculaire.

- * Si les triglycérides $TC > 150 \text{ mg/dL}$, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse « Diabétique », car une dyslipidémie est souvent associée au diabète de $m(\{\text{Diabétique}\}) = 0.8$
- * Si les triglycérides $< 150 \text{ mg/dL}$, une forte croyance est attribuée à l'hypothèse "Normal" de $m(\{\text{Normal}\}) = 0.8$
- * Si les HDL (bon cholestérol) $< 40 \text{ mg/dL}$ (hommes) ou $< 50 \text{ mg/dL}$ (femmes), cela augmente la croyance pour l'hypothèse "Diabétique" de $m(\{\text{Diabétique}\}) = 0.75$

Les seuils de classification de CT sont définies par (eq. 4.8):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Normal : } \left\{ \begin{array}{l} CT < 200 \text{ mg/dL} \\ LDL < 100 \text{ mg/dL} \\ HDL > 40 \text{ mg/dL (hommes), } > 50 \text{ mg/dL (femmes)} \end{array} \right. \\ \text{Prediabète : } \left\{ \begin{array}{l} 200 \leq CT < 240 \text{ mg/dL} \\ 100 \leq LDL < 160 \text{ mg/dL} \\ HDL \leq 40 \text{ mg/dL (hommes), } \leq 50 \text{ mg/dL (femmes)} \end{array} \right. \\ \text{Diabète : } \left\{ \begin{array}{l} CT \geq 240 \text{ mg/dL} \\ LDL \geq 160 \text{ mg/dL} \\ HDL < 35 \text{ mg/dL} \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (4.8)$$

Les fonctions de masse sont (eq. 4.9)

$$\left\{ \begin{array}{l} m(\text{Diabète}) = 0.8, \quad \text{si } Tc > 150 \text{ mg/dL} \\ m(\text{Normal}) = 0.8, \quad \text{si } Tc < 150 \text{ mg/dL} \\ m(\text{Prediabète}) = 0.75, \quad \text{si HDL} < 40 \text{ mg/dL (hommes) ou } < 50 \text{ mg/dL (femmes)} \end{array} \right. \quad (4.9)$$

Les métriques standards de la diagnostique de Diabète Type 2 (DT2) sont définies dans TABLE 4.1.

Critères	Prédiabète	Diabète de type 2
Glycémie à jeun (glycémie AC)	Entre 6,1 et 6,9 mmol/L (anomalie de la glycémie à jeun)	7,0 mmol/L et plus
Hémoglobine glyquée (HbA1c ou A1c)	Entre 6,0 et 6,4 %	6,5 % et plus
Glycémie 2 heures après avoir bu un liquide contenant 75 g de glucose (hyperglycémie provoquée par voie orale ou HGPO)	Entre 7,8 et 11,0 mmol/L (intolérance au glucose)	11,1 mmol/L et plus
Glycémie mesurée à tout moment de la journée	-	11,1 mmol/L et plus, avec les symptômes classiques

TABLE 4.1: Critères de diagnostic pour le prédiabète et le diabète de type 2 [6]

c. **Combinaison** : Ces croyances peuvent être fusionnées à l'aide de la règle de combinaison de Dempster (définie dans le chapitre 3) pour obtenir une croyance globale sur le diagnostic de diabète. Chaque critère apporte une fonction de masse qui, une fois combinée avec d'autres critères, permet de déterminer la probabilité que le patient soit diabétique ou non, tout en prenant en compte l'incertitude des données.

D. **Décision** : Dans notre étude, la décision est prise en se basant sur le maximum de la fonction de croyance pour classifier le patient comme "Affecté par le DT2", "Normal (Non-diabétique)" ou "Atteint de prédiabète".

4.3 Conception & Réalisation :

Notre stratégie à base de théorie de l'évidence est illustré par FIGURE 4.3.

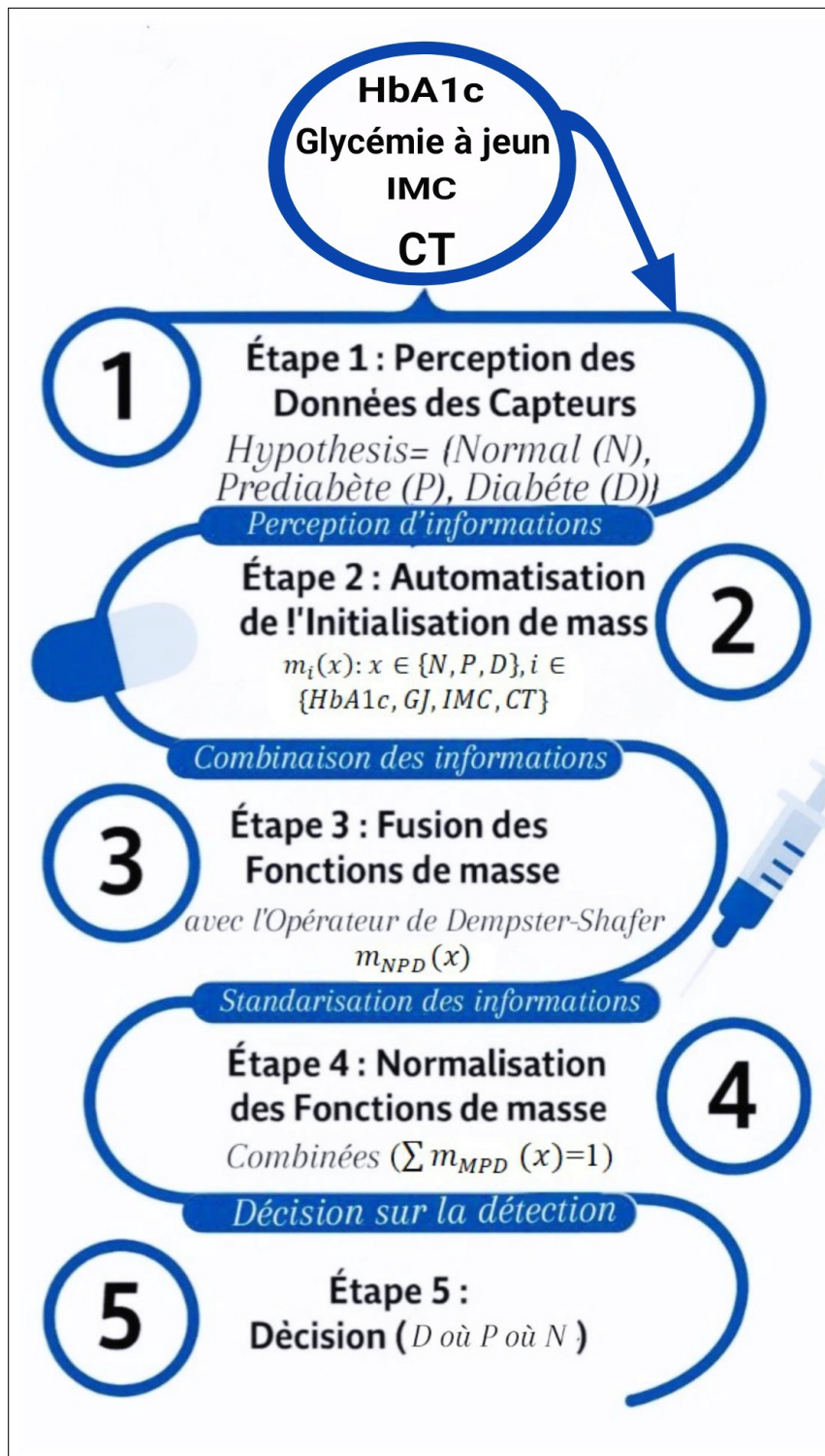


FIGURE 4.3: Notre Modèle de fusion de données de perception à base Théorie de l'évidence.

4.4 Modélisation :

La modélisation conceptuelle de notre système repose sur deux représentations complémentaires : le diagramme de classes et le diagramme d'activités. Ces deux outils UML nous permettent de structurer et de visualiser les différentes composantes du système ainsi que le déroulement logique des interactions.

Le diagramme de classes (FIGURE 4.4) met en évidence la structure statique du système autonome. Il définit les principales entités impliquées (comme les véhicules, les RSU, les messages, etc.), leurs attributs, et les relations qui les lient. Ce type de diagramme est particulièrement utile pour la conception orientée objet, car il facilite la compréhension des dépendances entre les objets et favorise une organisation claire du code source.

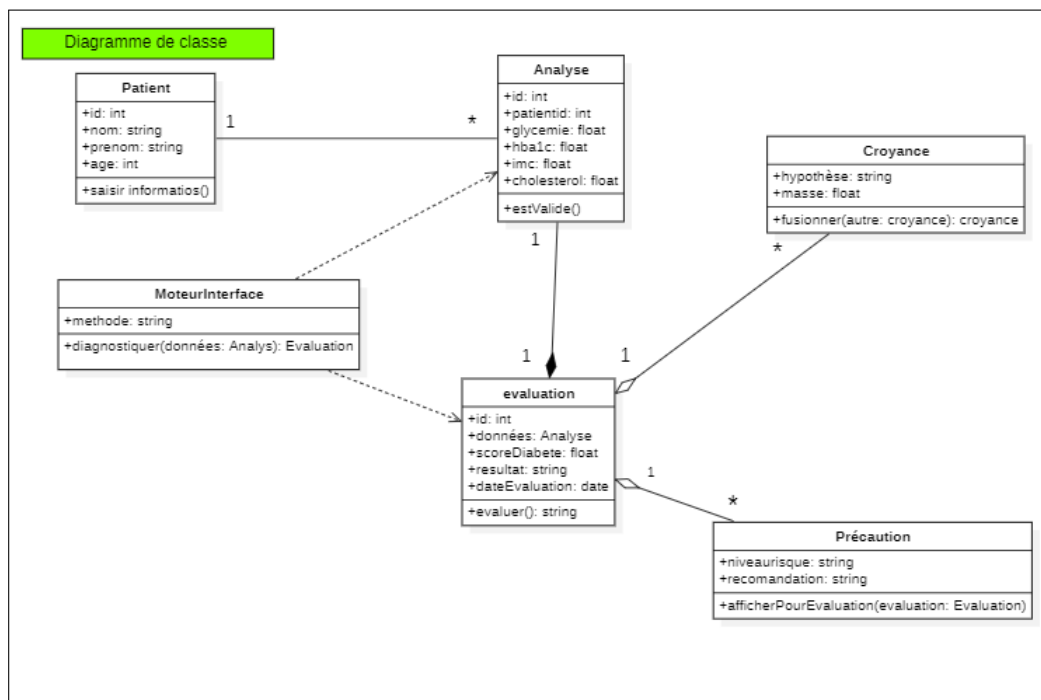


FIGURE 4.4: Le Diagramme de Classes.

En parallèle, le diagramme d'activités (FIGURE 4.5) illustre le flux dynamique des opérations. Il décrit les différentes étapes de vérification et de traitement des messages dans le système, de la

réception jusqu'à la délivrance du service. Grâce à ce diagramme, il est possible de visualiser les décisions conditionnelles (comme la fiabilité du message ou la validité du demandeur), les traitements cryptographiques (chiffrement/déchiffrement), et les actions à entreprendre selon les cas. Il permet donc de clarifier la logique opérationnelle du système et de repérer d'éventuelles failles ou redondances.

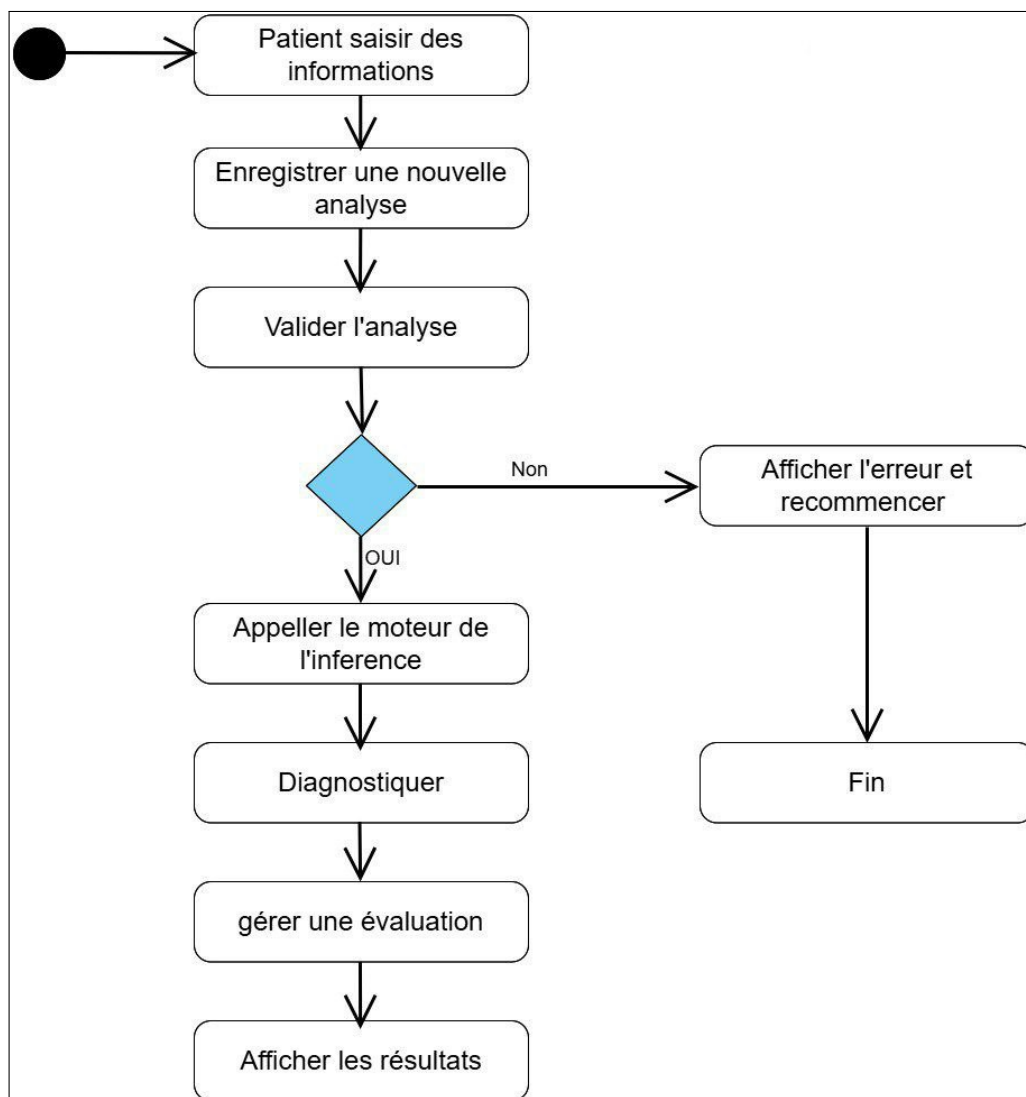


FIGURE 4.5: Le Diagramme d'activités.

En combinant ces deux modélisations (diagrammes), on obtient une vue d'ensemble cohérente et détaillée, à la fois structurelle et comportementale, ce qui facilite le flux d'information entre les acteurs, ainsi que le passage à l'implémentation de l'application d'évaluation

de la stratégie proposée (Théorie de l'évidence dans la diagnostique de DT2).

4.4.1 Réalisation :

Nous avons supposé que le médecin est en mesure d'estimer, sur la base de son expérience professionnelle, les croyances comme des pourcentages associés aux hypothèses suivantes : "le patient est atteint de diabète de type 2", "le patient est dans un état normal" et "le patient est en situation de prédiabète".

4.4.2 Interfaces d'exécution et leurs descriptions:

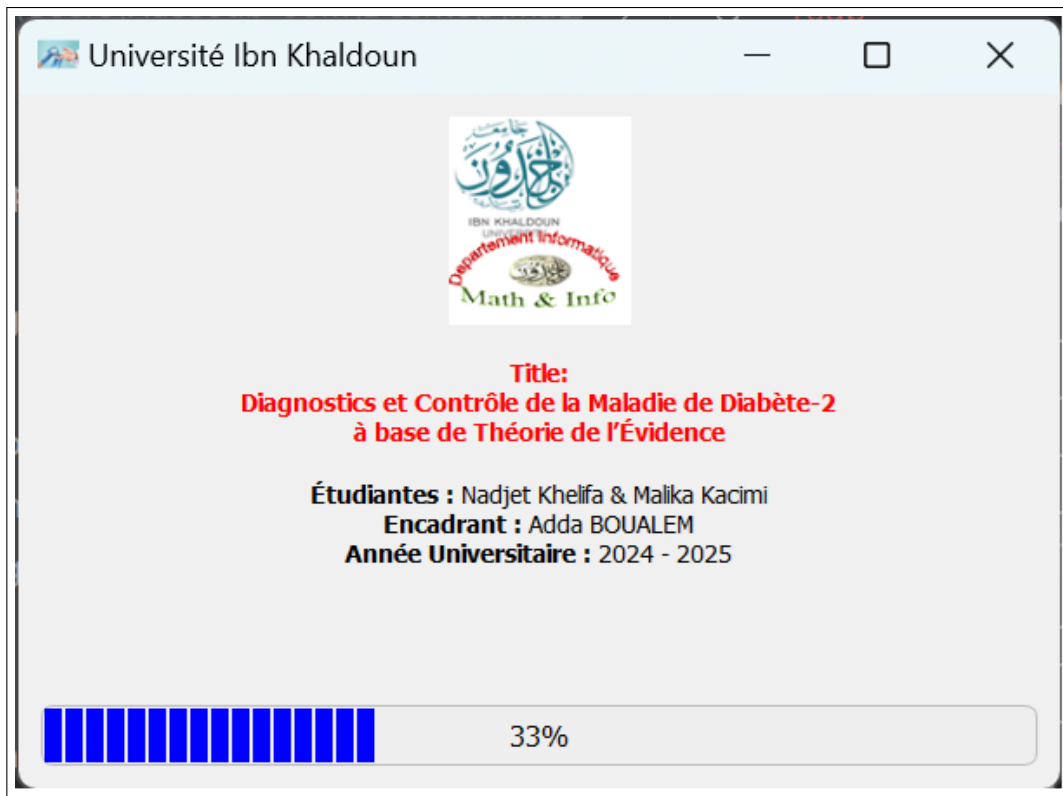


FIGURE 4.6: Menu principal (Apropos).

Pour évaluer les différentes étapes de notre modèle, nous avons développé une application dédiée, illustrée à la FIGURE 4.6. Cette figure montre la fenêtre "Apropos" de notre application développée. Cette Fenêtre montre notre université et le département informatique, le titre de notre PFE, l'année universitaire et l'encadrant.

La FIGURE 4.7 illustre le menu principal de notre application. Cette interface propose plusieurs boutons permettant d'accéder aux différentes fonctionnalités suivantes : la saisie des données et des croyances du patient concerné, l'évaluation de son état de santé basée sur la fusion d'informations selon la théorie de l'évidence, l'affichage des conseils et précautions à suivre pour un patient diabétique, ainsi que l'accès aux états de sortie tels que le certificat médical et les statistiques.

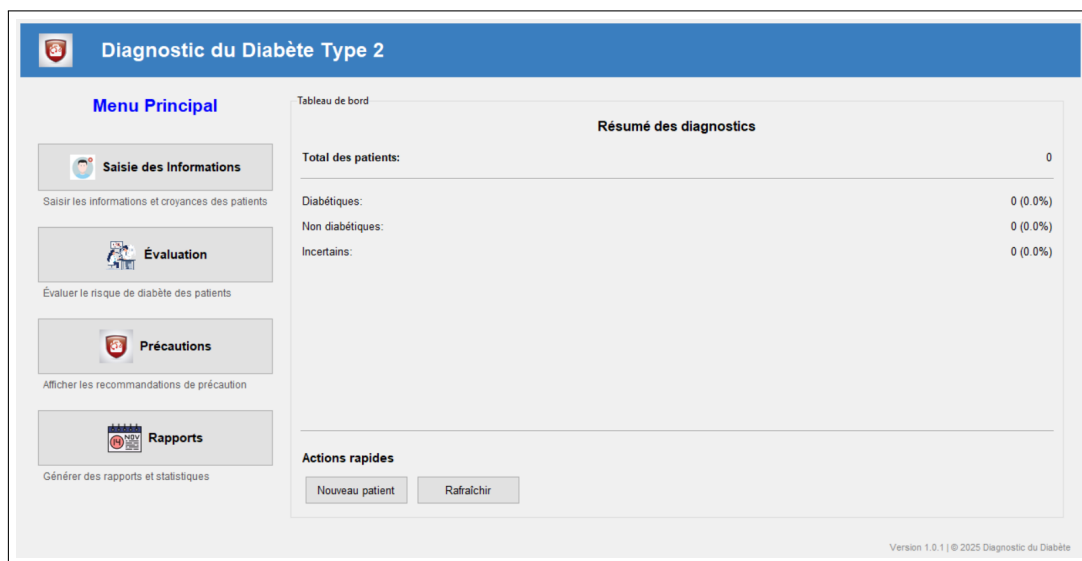


FIGURE 4.7: Menu principal.

La FIGURE 4.8 présente l'interface de saisie des informations personnelles du patient diabétique, ainsi que les croyances exprimées par le médecin. On y renseigne notamment le nom, le prénom, l'âge du patient, ainsi que les croyances associées aux différentes métriques impliquées dans le processus décisionnel. Ces informations doivent être enregistrées afin de permettre l'évaluation et la génération des états d'impression.

Informations Patient

Nom et prénom:

Ex: Martin Jean

Âge:

ans

Entre 0 et 120 ans

Glycémie (g/L)

Référence: Normal: <1.10, Prédiabète: 1.10-1.26, Diabète: >1.26

Diabétique

0.2

20.0%

Non diabétique

0.7

70.0%

Prédiabète

0.1

10.0%

Somme: 1.000 (100.0%)

Normaliser (somme = 1)

HbA1c (%)

Référence: Normal: <5.7, Prédiabète: 5.7-6.4, Diabète: >6.5

Diabétique

0.2

20.0%

Non diabétique

0.7

70.0%

Prédiabète

0.1

10.0%

Somme: 1.000 (100.0%)

Normaliser (somme = 1)

IMC (kg/m²)

Référence: Normal: 18.5-24.9, Surpoids: 25-29.9, Obésité: >30

Diabétique

0.1

10.0%

Non diabétique

0.8

80.0%

Prédiabète

0.1

10.0%

Somme: 1.000 (100.0%)

Normaliser (somme = 1)

Cholestérol (g/L)

Référence: Normal: <2.0, Limite: 2.0-2.4, Élevé: >2.4

Diabétique

0.1

10.0%

Non diabétique

0.8

80.0%

Prédiabète

0.1

10.0%

Somme: 1.000 (100.0%)

Normaliser (somme = 1)

Sauvegarder

Menu Principal

Aller à l'évaluation

FIGURE 4.8: Saisir les informations du patient.

La FIGURE 4.9 présente la liste des patients. Lorsqu'on sélectionne un patient et que l'on appuie sur le bouton d'évaluation, les diagnostics correspondants s'affichent.

Back to Menu

évaluation des patients

Select a Patient

ID	Name	Age
1	Adda Boualem	23
2	KHELIFA GACIMI	20
6	Kacimi Khelifa	24
4	Surv lval	22
5	nad	55
3	surv	22

Diagnostic Results

Patient: Kacimi Khelifa (24 ans)

Résultat du diagnostic: Diabétique

Détail des valeurs:

- Glycémie: D=0.85, ND=0.10, I=0.05

- HbA1c: D=0.80, ND=0.15, I=0.05

- IMC: D=0.75, ND=0.20, I=0.05

- Cholestérol: D=0.75, ND=0.17, I=0.05

Résultat final après fusion: D=1.00, ND=0.00, I=0.00

Evaluate Patient

FIGURE 4.9: Étape d'évaluation et de diagnostic Final.

Après l'établissement des diagnostics, une liste de précautions doit être imprimée pour chaque patient (FIGURE 4.10a,4.10b, 4.10c, 4.10).



(A) Précautions générales



(B) Précautions diabétiques



(c) Précautions non diabétiques

FIGURE 4.10: Les précautions à respecter selon les différents profils de patients.

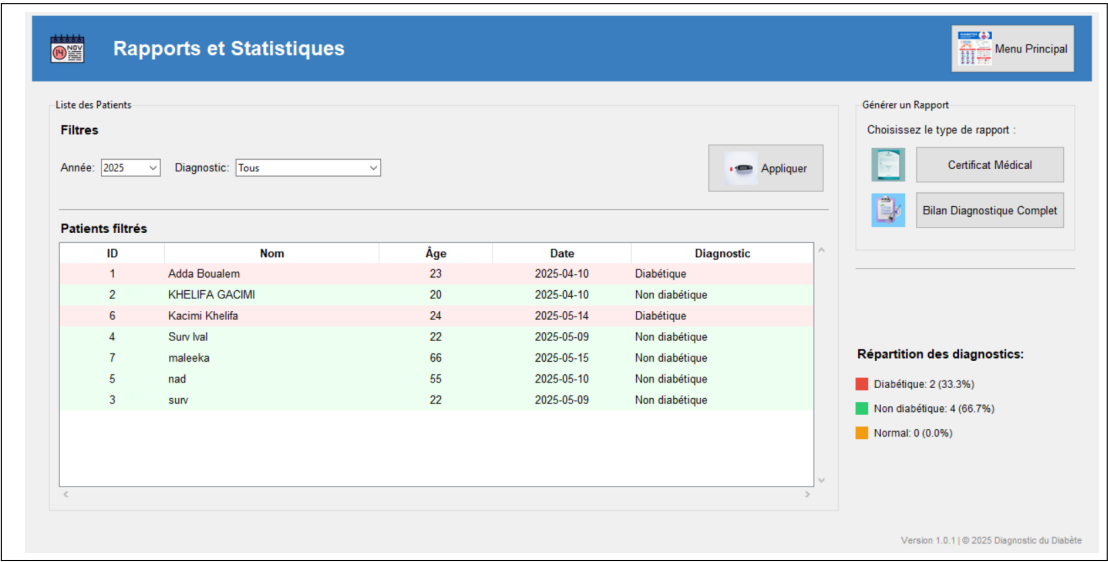


FIGURE 4.11: *Rapports et Statistiques.*

Les différents états de sortie requis sont illustrés dans la (FIGURE 4.12), qui présente le bilan diagnostique, suivi du certificat médical (FIGURE 4.13).

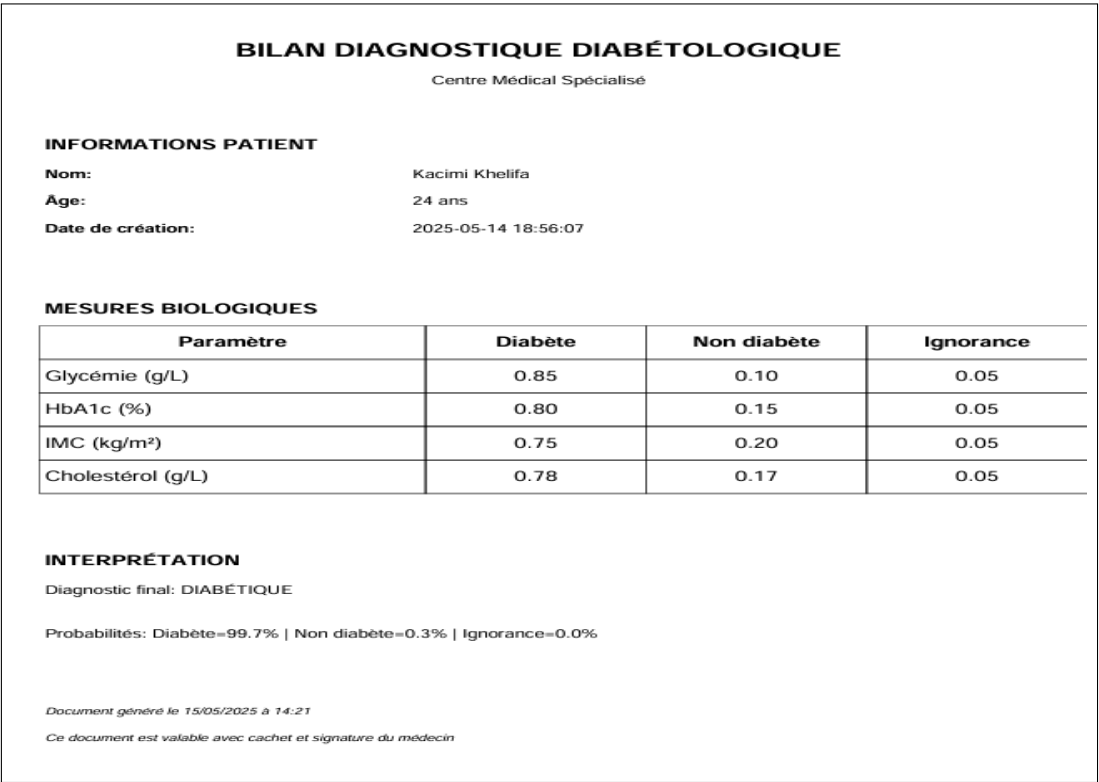


FIGURE 4.12: *Notre approche de fusion des données à base de la théorie de l'évidence*

Ce certificat médical constitue une justification de l'état de santé du patients: Normal, Diabétique ou Prédiabétique.

CERTIFICAT MEDICAL	
Nom:	Kacimi Khelifa
Age:	24 ans
Diagnostic:	
Le patient est classé comme: Diabétique	
Fait le: 15/05/2025	
Signature et cachet du médecin:	

FIGURE 4.13: *Certificat médical.*

4.5 Conclusion :

Ce chapitre a permis de présenter de manière structurée et approfondie la méthodologie adoptée pour le diagnostic du diabète de type 2, en s'appuyant sur la théorie de l'évidence. En identifiant les principales métriques cliniques (HbA1c, glycémie, IMC, cholestérol) pour notre cas d'étude, nous avons construit un modèle d'incertitude capable de représenter les différents états du patient : diabétique, prédiabétique ou normal. La combinaison des fonctions de masse, issue des connaissances médicales, a permis de renforcer la fiabilité de la décision dans des situations où les données sont partielles ou incertaines.

Nous avons également traduit cette approche en une modélisation conceptuelle, à travers des diagrammes UML (diagramme de classes et

d'activités), facilitant ainsi la visualisation de l'architecture du système et sa logique fonctionnelle. En complément, une application mobile Android a été développée, avec des interfaces claires et ergonomiques, conçues pour offrir aux professionnels de santé un outil simple, interactif et efficace.

Les résultats obtenus soulignent l'intérêt et la pertinence d'un tel système d'aide à la décision, notamment dans le contexte des applications mobiles de santé, qui permettent un suivi régulier, rapide et fiable de l'état du patient.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Dans ce rapport de Projet de Fin d'Études (PFE), nous avons réalisé un état de l'art approfondi sur le diabète de type 2, en mettant particulièrement l'accent sur ses classifications et ses spécificités. L'étude détaillée de cette pathologie, ainsi que l'exploration de stratégies adaptées, contribuent efficacement à une meilleure compréhension et prise en charge de cette maladie.

L'objectif principal de ce projet est d'examiner en profondeur les symptômes et les causes du diabète de type 2, ainsi que de concevoir un protocole réactif de routage en vue de l'application de méthodes de diagnostic établies sur les théories de l'incertain, notamment la théorie de l'évidence.

Ce travail a été valorisé par la proposition et l'acceptation de deux recherches scientifiques, dont les certificats de présentation sont joints en annexe :

- Adda Boualem, R. Mazouzi, A. Berrouachedi, N. Khelifa, M. Kacimi, and M. Rezaiguia, "Fever, blood pressure, and diabetes in patients admitted to the emergency medical department (EMD-diagnosis): Monitoring and diagnosing study," in *International Conference on Medical and Biosciences (ICMBS - 2025)*, Riyadh, Saudi Arabia, 13-14 Jul 2025, pp. 1–8. [39].

Cet article propose une stratégie visant à mesurer certains paramètres de santé (fièvre, tension artérielle et diabète) avant l'entrée à l'hôpital, afin de

limiter la propagation de maladies infectieuses parmi les visiteurs.

La stratégie consiste à intégrer des plaques équipées de réseaux de nano-capteurs dans les murs, le sol et le plafond. Ces capteurs sont capables de mesurer les signes vitaux et de transmettre les données vers une station de base installée au fond du couloir du service des urgences.

Cette station est en mesure de fusionner les données collectées et de déterminer si un visiteur présente l'un des symptômes associés à une maladie infectieuse. En cas de détection positive, une décision est prise pour réorienter la personne soit vers un service médical approprié, soit à l'extérieur de l'hôpital.

Par ailleurs, la station peut fournir des statistiques sur les visiteurs, telles que le nombre de personnes atteintes d'une ou plusieurs de ces maladies, le nombre de visiteurs sains, ainsi que le total des visiteurs. Ces informations sont utiles à des fins prédictives et de gestion sanitaire.

Dans la continuité de ce travail, plusieurs perspectives peuvent être explorées afin d'améliorer les méthodes proposées :

- Réaliser une étude comparative approfondie des applications de diagnostic basées sur les différentes théories de l'incertain.
- Développer des solutions mobiles afin d'optimiser l'efficacité des modèles d'incertitude dans le domaine médical.
- Proposer des stratégies hybrides combinant le clustering et diverses théories de l'incertain afin d'évaluer leur pertinence dans un contexte de diagnostic dynamique.

Ainsi, cette étude ouvre la voie à de nouvelles pistes d'investigation visant à améliorer les approches de diagnostic du diabète de type 2 et à renforcer leur efficacité clinique.

EVENT ACCEPTANCE LETTER

Paper Title: Fever, Blood Pressure, and Diabetes in Patients Admitted to the Emergency Medical Department (EMD-Diagnosis): Monitoring and Diagnosing Study

Author's Name: Adda Boualem

Co-author's Name: Elmehdi Berber, Rabah Mazouzi , Abdelkader Berrouachedi ,
Nadjat Khelifa, Malika Kacimi

Paper ID: RW-ICMBSRIYDH-130725-18089

We are happy to inform you that your Paper has been selected for **ICMBS** on **13th-14th Jul 2025** at **Riyadh, Saudi Arabia** after peer review process which will be organized by **Researchworld** and in association with **EVER LIFE HEALTH** for presentation (oral presentation) at the Conference. Conference Proceeding having ISBN (*International Standard Book Number*) and certificates of paper presentation will be given.

Kindly confirm your Registration and Event Participation by following links.

Official Page of event: <http://researchworld.org/Conference/22486/ICMBS/>

For Registration guidelines: <http://researchworld.org/Conference/22486/ICMBS/registration>

Register now Online by clicking below(By Using Credit Card/Debt Card/Net Banking)	
http://researchworld.org/PAYMENT/all_payment.php	
Bank Details(For Offline payment)	
OPTION	
Account name- IRAJ INTERNATIONAL - FZCO ACCOUNT NUMBER- 9838298704 IBAN- AE91086000009838298704 BIC/SWIFT CODE- WIOBAEADXXX BANK NAME- WIO BANK	

* After the payment via credit card or debit card Kindly mail us the transaction details along with the scan copy of the Identity proof of the card holder.

** For any query related to payment you can mail us to- info@researchworld.org

***The registration fee received by RESEARCH WORLD is not refundable. Registration fee includes charges for conference participation only (Day 01). Arrangements and costs of visa, travelling and accommodation are not the responsibility of our organization; they will be borne by the author him/herself.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Klein, S. Jupp, P. Moulos, M. Fernandez, B. Buffineyer, A. Casemayou, R. Chaaya, A. Charonis, J.-L. Bascands, R. Stevens, and J. P. Schanstra, "The kupkb: a novel web application to access multiomics data on kidney disease," *The FASEB Journal*, vol. 26, no. 5, pp. 2145–2153, Feb. 2012.
- [2] Admin, "Causes of diabetes," <http://www.kailashhealthblog.com/causes-of-diabetes/>, January 6 2018, accessed: 2025-01-27.
- [3] Macrovector, "Caractère de la femme avec des symptômes de diabète : maux de tête, vertiges, perte de poids fatale isolée," 2025, accessed: 2025-01-27. [Online]. Available: https://fr.freepik.com/vecteurs-libre/caractere-femme-symptomes-diabete-maux-tete-vertiges-perte-poids-fatale-isolee_13693392.htm
- [4] N. Sefraoui, S. Benyelles, and M. Saidi, "Évolution de l'incidence du diabète en service de pédiatrie," *Mémoire de fin d'études en médecine*, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, Faculté de Médecine, 2022, encadré par Pr. Latifa Henaoui.
- [5] X. Wu, Q. Ye, and Y. Chen, "Combination method for dempster-shafer evidence based on priority factors," in *2006 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*. IEEE, 2006, pp. 5205–5208.

- [6] A. Boualem, M. Ayaida, H. Fouchal, and M. Belarbi, "Intelligent nano sensor network framework for odor detection and diagnostics in nanomedicine," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. xx, no. xx, pp. 1–24, 2025.
- [7] A. Pharma, "Les différents types de diabète," <https://www.accespharma.ca/fr/votre-sante/maladies-chroniques/diabete/types-diabete>, 2025, accessed: 2025-04-29.
- [8] I. P. de Lille, "Diabète et obésité - thématiques de recherche," <https://pasteur-lille.fr/centre-de-recherche/thematiques-de-recherche/diabete-et-obesite/>, June 2025, accessed: 2025-04-28.
- [9] C. M. santé, "Les risques de la sédentarité et de l'inactivité physique sur la santé," <https://sport.cnrs.fr/les-risques-de-la-sedentarite-et-de-linactivite-physique-sur-la-sante/>, March 2025, accessed: 2025-04-30.
- [10] D. et Obésité, "Alimentation et précarité: effet sur la prise en charge du diabète sucré," <https://diabeteetobesite.fr/alimentation-et-precarite-effet-sur-la-prise-en-charge-du-diabete-sucre/>, 2025, accessed: 2025-04-30.
- [11] N. et Grandir, "Diabète de grossesse," <https://naitreetgrandir.com/fr/grossesse/trimestre2/diabete-grossesse/>, 2025, accessed: 2025-04-30.
- [12] M. Manuals, "Pancréatite chronique," <https://www.msdmanuals.com/fr/accueil/troubles-digestifs/pancr%C3%A9atite/pancr%C3%A9atite-chronique>, 2024, accessed: 2025-04-29.
- [13] M. Procopiou, "Dépistage et diagnostic du diabète de type 2 : quels tests ?" *Revue Médicale Suisse*, vol. 1, no. 22, pp. 1480–1484, 2005. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.53738/REVMED.2005.1.22.1480>

- [14] D. Masmoudi, S. Mungloo, A. Haddar, R. Kammoun, L. Triki, I. Kammoun, and K. Masmoudi, "Le dépistage du diabète gestationnel : à quel terme ?" *Annales d'Endocrinologie*, vol. 79, no. 4, p. 319, sep 2018.
- [15] A. Boualem, R. Mazouzi, A. Berrouachedi, N. Khelifa, M. Kacem, and M. Rezaiguia, "Fever, blood pressure, and diabetes in patients admitted to the emergency medical department (emd-diagnosis): Monitoring and diagnosing study," in *International Conference on Medical and Biosciences (ICMBS - 2025)*, Riyadh, Saudi Arabia, 13-14 Jul 2025, pp. 1–8.
- [16] B. Fève and J.-P. Sauvanet, "Nouvelle classification des diabètes de l'adulte : une avancée significative vers une médecine de précision," *Médecine des Maladies Métaboliques*, vol. 15, no. 7, pp. 701–708, nov 2021.
- [17] J. d. F. Maraschin, N. Murussi, V. Witter, and S. P. Silveiro, "Classificato do diabete melito," *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, vol. 95, no. 2, pp. 40–46, aug 2010.
- [18] M. Stedman, M. Lunt, M. Davies, M. Livingston, C. Duff, A. Fryer, S. G. Anderson, R. Gadsby, M. Gibson, G. Rayman, and A. Heald, "Cost of hospital treatment of type 1 diabetes (t1dm) and type 2 diabetes (t2dm) compared to the non-diabetes population: a detailed economic evaluation," *BMJ Open*, vol. 10, no. 5, pp. 1–10, may 2020.
- [19] S. Halimi, "Therapeutic strategies for type 2 diabetes." *La Revue du praticien*, vol. 53 10, pp. 1079–1085, 2003. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:42274822>
- [20] A. J. Scheen and N. Paquot, "[type ii diabetes: diagnostic approaches, glycemia objectives and therapeutic strategies]." *Revue medicale de Liege*, vol. 54 8, pp. 659–666, 1999. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:43623770>

- [21] M. Vettoretti, G. Cappon, A. Facchinetti, and G. Sparacino, "Advanced diabetes management using artificial intelligence and continuous glucose monitoring sensors," *Sensors*, vol. 20, no. 14, p. 3870, jul 2020.
- [22] S. Ellahham, "Artificial intelligence: The future for diabetes care," *The American Journal of Medicine*, vol. 133, no. 8, pp. 895–900, aug 2020.
- [23] H. K. Akturk and S. Garg, "Technological advances shaping diabetes care," *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes & Obesity*, vol. 26, no. 2, pp. 84–89, apr 2019.
- [24] H. Gonàlves, F. Silva, C. Rodrigues, and A. Godinho, "Navigating the digital landscape of diabetes care: Current state of the art and future directions," *Procedia Computer Science*, vol. 237, pp. 336–343, 2024.
- [25] V. Mohan and R. Unnikrishnan, "Precision diabetes: Where do we stand today?" *Indian Journal of Medical Research*, vol. 148, no. 5, pp. 472–475, Nov. 2018.
- [26] R. B. Prasad and L. Groop, "Precision medicine in type 2 diabetes," *Journal of Internal Medicine*, vol. 285, no. 1, pp. 40–48, Dec. 2018.
- [27] E. Jeon, "Precision medicine in type 2 diabetes," *The Journal of Korean Diabetes*, vol. 23, no. 2, pp. 77–82, Jun. 2022.
- [28] M. I. McCarthy, "Painting a new picture of personalised medicine for diabetes," *Diabetologia*, vol. 60, no. 5, pp. 793–799, Feb. 2017.
- [29] F. I. du Diabète, "Surveillance continue du glucose (cgm)," <https://idf.org/fr/about-diabetes/continuous-glucose-monitoring/>, 2025, accessed: 2025-04-30.
- [30] A. Boualem, H. Fouchal, M. Ayaida, and H. Kholidy, "Diagnose and classification of infectious diseases using nano sensors network in nanofluids: Theoretical and modeling study," *BioNanoScience*, May 2024.

- [31] N. de(s) Auteur(s), "Titre complet de l'article," *Nom du journal*, vol. à remplir, no. à remplir, p. à remplir, 2022, accessed: 2025-04-30. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1957255722001365>
- [32] S. Choudhary, S. Gaikwad, and S. Jadhav, "Transforming diabetes care: Latest advancements in treatment and technology," *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science*, vol. 6, no. 1, pp. 96–104, Jan. 2024.
- [33] C. Alope, C. O. Egwu, P. M. Aja, N. A. Obasi, J. Chukwu, B. O. Akumadu, P. N. Ogbu, and I. Achilonu, "Current advances in the management of diabetes mellitus," *Biomedicines*, vol. 10, no. 10, p. 2436, Sep. 2022.
- [34] S. S. Bhat, V. Selvam, G. A. Ansari, and M. Dilshad Ansari, "Hybrid prediction model for type-2 diabetes mellitus using machine learning approach," in *2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*. IEEE, Nov. 2022, pp. 150–155.
- [35] E.-J. Rhee, "The evolution and future of diagnostic criteria for diabetes mellitus," *Journal of the Korean Medical Association*, vol. 66, no. 7, pp. 409–413, Jul. 2023.
- [36] A. M. Khamis, "Pathophysiology, diagnostic criteria, and approaches to type 2 diabetes remission," *Cureus*, Jan. 2023.
- [37] J. Zhang, Z. Zhang, K. Zhang, X. Ge, R. Sun, and X. Zhai, "Early detection of type 2 diabetes risk: limitations of current diagnostic criteria," *Frontiers in Endocrinology*, vol. 14, Nov. 2023.
- [38] J. H. Baek, Y.-M. Park, K. D. Han, M. K. Moon, J. H. Choi, and S.-H. Ko, "Comparison of operational definition of type 2 diabetes mellitus based on data from korean national health insurance service and korea national health and nutrition examination survey," *Diabetes & Metabolism Journal*, vol. 47, no. 2, pp. 201–210, Mar. 2023.

- [39] E. Berber, A. Boualem, R. Mazouzi, A. Berrouachedi, N. Khelifa, and M. Kacimi, "Fever, blood pressure, and diabetes in patients admitted to the emergency medical department (emd-diagnosis): Monitoring and diagnosing study," in *International Conference on Medical and Biosciences (ICMBS - 2025)*, 2025, pp. 1–8.
- [40] A. Boualem, M. Dehbi, M. A. B. Tiali, M. Ayaida, and N. Messai, "Evidence-based data fusion for robust autonomous vehicle perception," in *IEEE International Conference on Communications (ICC): Communication Software and Multimedia Symposium*, no. 1, Montreal, Canada, 8-12 June 2025, pp. 1–6.
- [41] A. Boualem, "Stratégies d'amélioration de la couverture dans les réseaux de capteurs sans fil," Thèse de doctorat en Informatique, école supérieur d'informatique, ESI, Alger, Algerien, 2021.
- [42] A. Boualem, Y. Dahmani, M. Ayaida, and C. D. Runz, "A new fuzzy/evidential approach to address the area coverage problem in mobile wireless sensor networks," in *The 34th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC'19)*, Limassol, Cyprus. ACM, New York, NY, USA, April 8–12 2019, pp. 2430–2433.
- [43] A. Boualem, C. D. Runz, and M. Ayaida, "An evidential approach for area coverage in mobile wireless sensor networks," *International Journal of Fuzzy System Applications (IJFSA)*, vol. 10, no. 3, pp. 121–133, March 2021.
- [44] A. Boualem, H. Boumediene, and S. dine Mehloul, "Deterministic and uncertainty-based coverage classification models in wsns: A survey," in *6th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems (C-AIRES2022)*, no. 6, Tamenrasset, Algeria, November, 20-22 2022, pp. 1–7.

- [45] A. Boualem, H. B. Douma, and S. dine Mehloul, "Deterministic and uncertainty-based coverage classification models in wsns: A survey," in *6th International Conference on Artificial Intelligence in Renewable Energetic Systems*, 2022, p. 1–6.
- [46] A. Boualem, "Théorie de l'évidence et de la logique floue: Application à l'appariement de données géographiques," Master's thesis, 2013, mémoire de master. [Online]. Available: <https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000839484000087>
- [47] R. R. Yager, "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 18, no. 1, pp. 183–190, 1988.
- [48] D. Dubois and H. Prade, "Representation and combination of uncertainty with belief functions and possibility measures," *Computational Intelligence*, vol. 4, pp. 244–264, 1988.
- [49] T. Inagaki, "Interdependence between safety-control policy and multiple-sensor schemes via Dempster-Shafer theory," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 40, no. 2, pp. 182–188, 1991.
- [50] P. Smets, "Imperfect information: Imprecision - uncertainty," in *Uncertainty Management in Information Systems: From Needs to Solutions*, A. Motro and P. Smets, Eds. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1997, pp. 225–254.
- [51] A. Boualem, Y. Dahmani, and A. Maatoug, "The combination operator of information sources by a new expressive matrix," *Journal of Geographic Information System*, vol. 07, no. 04, pp. 430–437, 2015.