

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département D'électronique et des Télécommunications



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Instrumentation
Domaine : Science et Technologie
Filière : Electronique
Spécialité : Instrumentation
Thème

AUTOMATISATION DU DIAGNOSTIC DE LA DEPRESSION PAR LES METHODES DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Présenté Par :

- 1) Melle MOULEBHAR Samia
- 2) Mr YAHLA Mohamed

Devant le jury composé de :

Dr BENZINA.A	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr BADIR.H	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr BENDIMERAD.M	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mme TAYBI NAIMA	psychologue	Tlemcen	Co-Encadrante

Année Universitaire 2021/2022

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

➤ *A Mes très chers parents*

Mon père, Ma mère pour votre amour, sacrifices, pensées et soutiens tout au long de mes années d'études et d'apprentissage. Que ce travail soit le témoignage de vos prières, vos encouragements et vos précieux conseils et de tous les efforts que vous n'avez cessé de déployer pour mon éducation et mon instruction. Aucune dédicace ne serait exprimer mon profond amour et l'admiration que je vous porte

➤ *A Mes très chères soeurs*

Je vous remercie pour vos soutiens, et je vous souhaite un très bon parcours et plein de succès. Aucun mot ne serait exprimer mon immense attachement, ma reconnaissance et mon profond amour et respect envers vous.

➤ *Mon bïnôme Mohamed*

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

➤ *A toute la Famille*

➤ *A tous Mes amies*

SAMIA

Dédicace

Tout d'abord je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ma formation et pourvoir réaliser ce travail de recherche.

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail a ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

à ma grand-mère

À la personne la plus idéale qui fut dans ce monde je dédie ce travail, c'est vrai qu'elle n'est pas avec nous pour récolter le fruit de ses sacrifices, mais, elle reste toujours la plus présente, Que Allah ait pitié d'une rire inoubliable et d'une sourire qui ne sera jamais oublié, que Allah ait pitié d'un visage qui rayonnait de lumière et de joie, que Allah ait pitié de toi, ma grand-mère.

A ma tante

pour tout le support qu'elle m'a apporté; en dépit des difficultés que nous vivons, qu'il en soit ainsi.

Éternellement béni.

A mes sœurs Orkiya et Fatouha, qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A mon cher ami, frère, Aymen CHILI pour son aide et son soutien dans les périodes difficiles.

Envers **Ibtissem** qui m'a donné l'amour et vivacité.

Sans oublier **mon binôme Samia** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

Mohamed

Remerciement

*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir de modeste travail*

*Notre remerciement, notre reconnaissance à notre encadreur **Mme Bendimerad Mansouria** pour leurs conseils et leurs aides durant toute la période du travail*

*Nous aimerions exprimer notre gratitude à le psychologue **Mme Taybi Naïma** qui nous a permis de mieux comprendre la psychologie, mais aussi qui nous a suivie, soutenue et réconfortée tout le long de notre travail. Et le psychologue **M. Sekkal Idriss** qui nous avoir fait l'honneur de nous aider à mettre en place les règles d'apprentissage.*

*Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements au tous les **psychologue** de la wilaya de Ain-Temouchent*

*Nous remercions **Tous les enseignants** du notre département, qui ont assurés notre formation durant tout cycle d'étude.*

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux les **membres de jury** d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.*

Résumé

La dépression est une maladie psychologique qui apparaît chez de nombreuses personnes à différents 'âge.

Dans le cadre de nos travaux, nous avons proposé deux méthodes intelligentes basées sur l'IA pour diagnostiquer automatiquement la dépression où nous avons automatisé deux tests internationaux (Beck, Résilience) et le diagnostic globale par les réseaux de neurones artificiels

Nous avons également réalisé des classifieurs neuronaux des images IRM pour la détection de la dépression.

Ensuite Nous avons utilisé des systèmes d'inférence floue pour conclure la différence de gravité des patients classés dans la même classe

Enfin, nous avons programmé des interfaces résumant notre diagnostic proposé.

Les résultats obtenus sont satisfaisants et mettent en évidence l'efficacité de nos méthodes.

Mots clés

Dépression, automatisation de diagnostic, Beck, Résilience, RNA, SIF, IRM

Abstract

Depression is a psychological illness that occurs in many people at different ages.

As part of our work, we proposed two intelligent methods based on AI to automatically diagnose depression where we automated two international tests (Beck, resilience test) and global diagnosis by artificial neural network

We also performed neural classifieds of MRI images for the detection of depression.

Then we used fuzzy inference systems to conclude the difference in severity of patients in the same class

Finally, we programmed interfaces summarizing our proposed diagnosis

The results obtained are satisfactory and demonstrate the effectiveness of our methods.

Keywords:

Depression, Diagnostic Automation, Beck, Resilience, RNA, SIF, MRI

ملخص

الاكتئاب هو مرض نفسي يظهر عند الكثير من الأشخاص بدرجات متفاوتة من اعمار مختلفة في سياق عملنا اقترحنا طريقتين ذكيتين تعتمدان على الذكاء الاصطناعي لتشخيص الاكتئاب أوتوماتيكيا حيث قمنا باتممة اختباري (بيك، اختبار الصمود) ثم التشخيص العام بواسطة الشبكات العصبية الاصطناعية. قمنا أيضا باجراء تصنيفات عصبية لصور التصوير بالرنين المغناطيسي للكشف عن الاكتئاب. كذلك استخدمنا أنظمة الاستدلال الضبابي لاستنتاج الفرق في درجة تفاوت الشدة للمرضى المصنفين في نفس الفئة أخيرا قمنا ببرمجة واجهات تلخص تشخيصنا المقترح.

النتائج التي تما الحصول عنها مرضية و تظهر فعالية اساليبنا

الكلمات المفتاحية

الاكتئاب، أتمتة التشخيص، بيك، اختبار الصمود، الشبكة العصبية الاصطناعية، أنظمة التدخل الضبابي، ماسح التصوير بالرنين المغناطيسي .

Table Des Matières

Dédicace (Samia)	i
Dédicace (Mohamed)	ii
Remerciement	iii
Résumé	iv
Abstract.....	v
ملخص	vi
Table des matières.....	vii
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xii
Liste des notations	xiii
Introduction général.....	1

Chapitre I : La Dépression

I.1. Introduction.....	4
I.2. La Dépression	4
I.2.1. Définition	4
I.2.2. Les cause	5
I.2.3. Les symptômes de la dépression	6
I.3. diagnostic	7
I.4. Les Formes cliniques de dépression.....	9
I.5. Le mécanisme de la dépression.....	10
I.6. La Mesure de la dépression.....	11
I.6.1. Inventaire de Dépression de Beck.....	12
I.6.2. La résilience	12
I.7. Traitement de la dépression	12
I.7.1. Les traitements médicamenteux	12
I.7.2. La psychothérapie	12
I.7.3. L'électro-convulsivothérapie	12
I.7.4. Médecine alternative	13
I.7.5. Auto-assistance	13

Table Des Matières

I.8. Conclusion	13
Chapitre II: Les Réseaux De Neurones Artificiels	
II.1. Introduction.....	14
II.2. Neurones et réseaux neurones.....	14
II.2.1. Historique	14
II.2.2. Neurones biologique.....	15
II.2.3. Du neurone biologique au neurone artificiel	16
II.2.4. Réseaux neurones artificiels	16
II.3. Architecture de réseaux de neurones	17
II.3.1. Réseaux récurrents "Feed-Back"	17
II.3.2 Réseaux statiques « «feed-forward »	18
II.4. Structure du perceptron multicouche.....	20
II.5. Les inconvénients du perceptron	21
II.6. L'apprentissage.....	21
II.6.1. L'apprentissage supervisé.....	21
II.6.2. L'Apprentissage non supervisé (unsupervised Learning).....	23
II.6. Domaine d'application.....	24
II.7. Conclusion.....	24
Chapitre III: La Logique Floue	
III.1. Introduction	25
III.2. La logique floue.....	25
III.2.1. Historique	25
III.2.2. Variables floues.....	26
III.2.3. Les sous-ensembles floues.....	27
III.2.4. La fonction D'appartenance	29
III.2.5. Cractéristique d'un ensemble floue	29
III.2.6. Les opérateurs floues.....	30
III.2.7 .Le raisonnement floue	32
III.3. Système D'inférence floue	32
III.4. Conclusion.....	35
Chapitre IV: Résultats Et Interprétation	
IV.1. Introduction.....	36
IV.2. Présentation de l'outil de programmation Matlab.....	36
IV.3. Mécanisme et méthodologie de la collecte de la base de données.....	36

Table Des Matières

IV.3.1.Choix des tests psychologiques.....	36
IV.3.2. Préparation de la base de données.....	37
IV.4. Travail Réalisé	38
IV.4.1. Automatisation de diagnostic par réseaux de neurones artificiels.....	38
IV.4.1.1. Automatisation de Beck par RNA	38
IV.4.1.2. Automatisation de La Résilience par RNA	41
IV.4.1.3. Automatisation Globale Par RNA.....	42
IV.4.1.4. Classification d'un image IRM Par RNA.....	43
IV.4.2. Automatisation de diagnostic par les systèmes d'interférence floue (SIF)	45
IV.4.3. Réalisation des interfaces	52
IV.5. Interprétation des résultats	55
IV.6. Conclusion.....	55
Conclusion générale.....	56
Bibliographie	
Annexe	

Liste Des Figures

Figure I.1 :Le mécanisme biologique de la dépression.....	11
Figure II.1 : Neurone biologique.....	15
Figure II.2: (a) neurone biologique. (b) neurone formel.....	16
Figure II.3: réseau neurone artificiel.....	17
Figure II.4 : le modèle de kohonen.....	18
Figure II.5: Exemple d'un réseau de neurones non bouclé.....	18
Figure II.6 : Architecture générale d'un réseau RBF.....	19
Figure II.7 : le réseau monocouche.....	19
Figure II.8 : le réseau multicouche.....	20
Figure II.9 Architecture du perceptron multicouche.....	20
Figure III.1 : Exemple d'une variable linguistique.....	27
Figure III.2 : Schéma représentative de la logique floue et la logique binaire.....	27
Figure III.3 : sous-ensembles floues.....	28
Figure III.4 : Les fonctions d'appartenance les plus utilisées.....	29
Figure III.5: Présentation des caractéristiques d'un sous-ensemble floue.....	30
Figure III.6 :L'opérateur NON.....	31
Figure III.7 : L'opérateur OU.....	31
Figure III.8 :L'opérateur ET.....	34
Figure III.9: Schéma d'un système d'inférence MAMDANI	38
Figure III.10 : Système d'inférence floue.....	39
Figure IV.1 : représentation graphique de l'échantillon étudié.....	39
Figure IV.2 : perceptron multicouche.....	40
Figure IV.3 : Représentation de la fonction TANGENTE-SIGMOÏDE.....	44
Figure IV.4 : Représentation de la fonction PURELIN.....	45
Figure IV.5 : IRM d'un sujet Normal et autre Déprimé.....	46

Liste Des Figures

Figure IV.6 : fonctionnements d'un système flou (SIF).....	47
Figure IV.7 : Système d'interférence flou utilisé.....	48
Figure IV.8 : fonction d'appartenance input 1 (test de Beck).....	48
Figure IV.9 : fonction d'appartenance input 2 (test de Résilience).....	50
Figure IV.10 : fonction d'appartenance output.....	50
Figure IV.11 : Les règles de décision	50
Figure IV.12 : interférence de notre système (agrégation des règles).....	51
Figure IV.13 : surface des outputs en fonction des inputs de notre système	51
Figure IV.14 : Interface mot de passe.....	53
Figure IV.15 : Interface menu.....	53
Figure IV.16 : Interface test Beck.....	54
Figure IV.17 : Interface Diangnostic.....	54

Liste Des Tableaux

Tableau II.1: la modélisation du neurone formel à partir du neurone biologique.....	16
Tableau III.1 : Opérateurs logiques flous les plus utilisés.....	32
Tableau IV.1 : les performances des classifieurs de Beck.....	41
Tableau IV.2 : les performances des classifieurs de Résilience.....	42
Tableau IV.3 : les performances des classifieurs de Diagnostic globale.....	43
Tableau IV.4 : les performances des classifieurs de IRM.....	45
Tableau IV.5 : Représentation des variables de sortie et d'entrée.....	47
Tableau IV.6 : la sortie du SIF pour tous les cas traités dans notre étude.....	51

Liste Des Notations

TDP : Trouble dysphorique prémenstruel

TAS : Trouble affectif saisonnier

IDB : Inventaire de Dépression de Beck

RNA : Réseaux de neurones artificiels

RBF : Réseau à fonction de base radiale

PMC : Le perceptron multicouche

SIF : Systèmes d'inférence floue

IRM : Imagerie par résonance magnétique

CLSB : Classifieur Beck

CLSR : Classifieur résilience

CLSG : Classifieur globale

CLSI : Classifieur IRM

Introduction Générale

La société nous pousse à aller bien ou, plus précisément, à montrer que nous allons bien, c'est-à-dire à construire une image de nous positive, active et forte. Nous essayons de croire à cette image, d'y coller, mais aussi de la donner aux autres. Ainsi, nous faisons de nous une machine qui doit marcher à tout prix et, parfois le prix est très élevé car nous exigeons beaucoup de nous-mêmes pour répondre aux exigences des autres et aux nôtres dans notre vie professionnelle ou familiale

Dans cette façon de vivre, il faut donc être en forme, rester jeune ; il n'y a pas de place pour la souffrance, la dépression ni d'ailleurs pour la vieillesse ou la mort.

Cela nous invite, de plus en plus, à être ou à rester dans la dépression, c'est-à-dire à tout faire consciemment ou inconsciemment - pour ne pas la sentir [1].

A cet effet, notre projet s'inscrit dans le développement d'un cadre technique Diagnostic automatique de la dépression, à partir d'un système intelligent basé sur deux Technologies notables dans le domaine de l'intelligence artificielle : Réseaux de neurones artificiels (RNA) et Système d'interférence floue (SIF)

Problématique

La dépression est l'une des pathologies mentales dont la prévalence est en augmentation dans la société algérienne et mondiale.

Selon l'OMS (organisation mondiale de la santé) 350 millions de personnes souffrent de la dépression, soit 5% de la population mondiale

En Algérie une enquête menée dans le cadre du Programme National de Santé Mentale par le département de la santé estime à 6,76% la prédominance de la dépression.

Le manque de culture des individus sur les symptômes de cette maladie psychique et comment s'en débarrasser est ce qui la fait développer.

Nous intéressons à ce travail d'aider les spécialistes à évaluer et connaître la classe de la dépression dont une personne souffre, et sa capacité de résistance contre cette dernière, par l'implémentation de l'intelligence artificielle pour l'automatisation de diagnostic de la dépression.

Introduction Générale

Objectif et Contribution

Dans ce mémoire, nous avons travaillé sur quatre contribution différents afin d'obtenir un diagnostic finale de la dépression.

La première repose est sur la classification basée sur deux tests internationaux de la dépression par l'apprentissage en utilisant les réseaux neurones artificiels

Dans la deuxième contribution nous avons faire une classification globale des deux tests précédents

La troisième contribution consiste à classifier image IRM pour la détection de la dépression

La Quatrième contribution nous avons utilisé un système d'inférence flou dans le but déterminer les différents degrés de gravité pour chaque classe en utilisant la méthode de

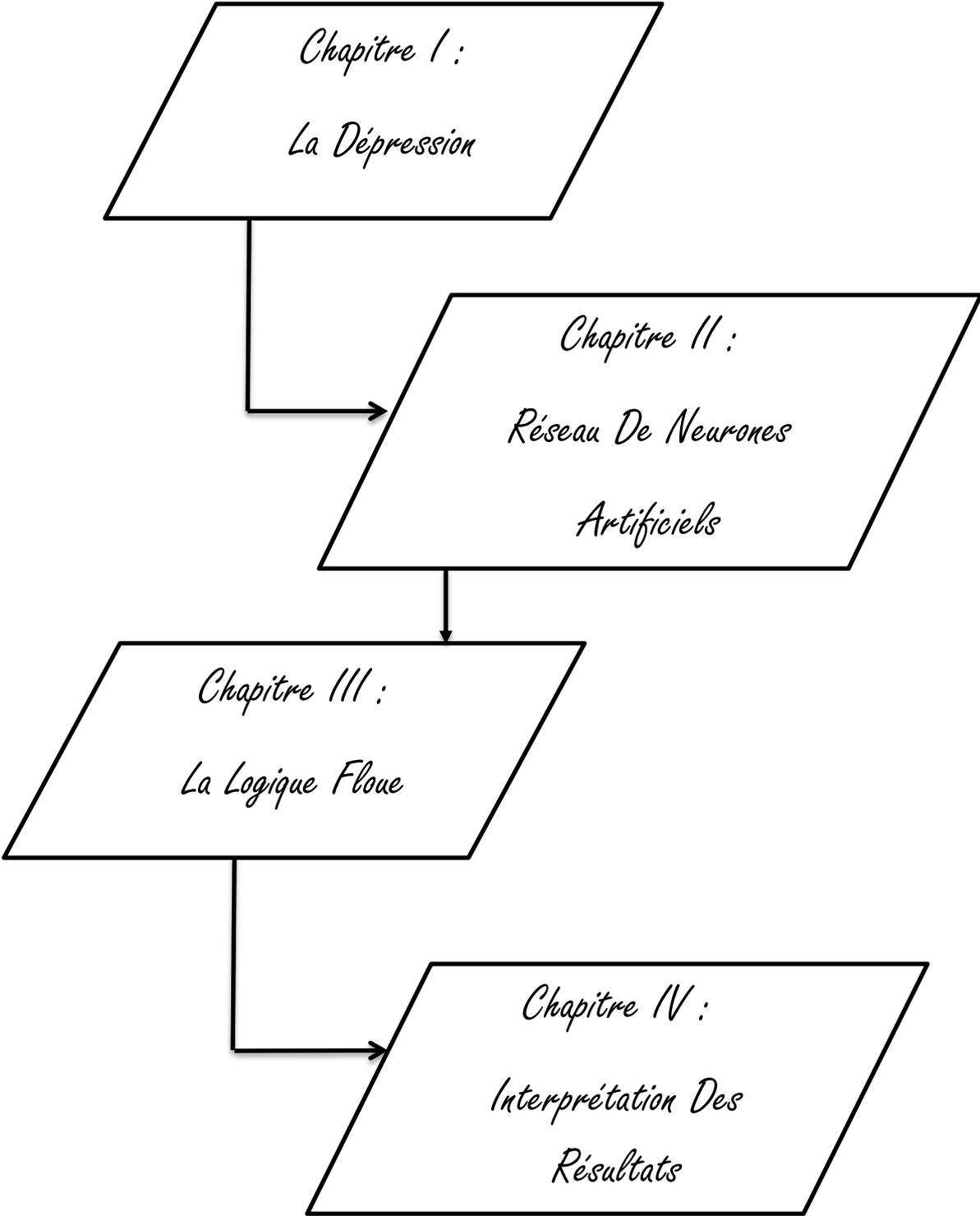
Mamdani

Organisation du manuscrit

Le présent manuscrit est organisé comme suit :

- Le premier chapitre est dédié à une présentation globale la dépression: ses cause, ses symptômes, ses types et les diagnostics.
- Le chapitre suivant sera consacré à la présentation des réseaux de neurones artificiels, d'où nous allons citer les différents types, topologies des RNA et les méthodes d'apprentissage, puis nous allons détailler le model utilisé dans notre travail« le perceptron multicouches ».
- Dans le troisième chapitre, nous allons traiter la logique floue en indiquant ces propriétés et ses applications dans le domaine de l'intelligence artificielle.
- Enfin , dans un quatrième chapitre, nous allons présenter notre travail et discuter les résultats obtenus.

Nous terminons notre mémoire avec une conclusion générale et des perceptives



Chapitre I

La Dépression

I.1. Introduction

De plus en plus, nous vivons dans une société où la *dépression* a mauvaise presse. Elle n'a pas sa place dans notre mode de vie collectif. Paradoxalement, il y a sans doute de plus en plus de gens déprimés ou qui vont mal. Or, il est de bon ton d'aller toujours bien, d'être toujours en forme, d'être dynamique, performant, de se dépasser, d'exiger toujours plus de soi. Nous développons le culte de l'excellence, de la performance, du bien-être total et permanent. Nous faisons la chasse aux émotions injustement appelées négatives : la peur, la colère, la tristesse, la douleur. Or, ces émotions sont naturelles et les ressentir à certains moments, dans certaines situations, c'est être humain, vivant, en contact avec soi. La vie, en effet, nous apporte des épreuves, des événements douloureux, des deuils, des temps de passage et de transformation. C'est pourquoi, il est très important alors de faire sa place à la souffrance, à la difficulté d'exister, à la dépression [1].

Dans ce chapitre, nous allons nous baser sur la dépression comme étant une pathologie du point de vue psychologique, les différents critères du diagnostic de la dépression.

I.2. La Dépression

I.2.1. Définition

La dépression est une maladie qui se caractérise notamment par une grande tristesse, un sentiment de désespoir (humeur dépressive), une perte de motivation et de facultés de décision, une diminution du sentiment de plaisir, des troubles alimentaires et du sommeil, des pensées morbides et l'impression de ne pas avoir de valeur en tant qu'individu [2].

La dépression se définit comme un trouble affectif qui se manifeste par un syndrome clinique dominé par l'humeur déprimée. la dépression se traduit par l'expression verbale et non verbale de sentiments tristes ou agressifs. Mais il s'agit du reflet superficiel de l'altération de plusieurs fonctions et qui traduit leur perturbation par une série de troubles qui vont constituer le syndrome dépressif [3].

Dans le milieu médical, le terme dépression majeure est souvent employé pour désigner cette maladie. La dépression survient généralement sous forme de périodes dépressives qui peuvent durer des semaines, des mois voire des années. Selon l'intensité des symptômes, la dépression sera qualifiée de légère, modérée ou majeure (grave). Dans les cas les plus graves, la dépression peut conduire au suicide [2].

I.2.2. Les cause

On ne sait pas avec précision ce qui cause la dépression, mais il s'agit probablement d'une maladie complexe faisant intervenir plusieurs facteurs liés à l'hérédité, à la biologie, aux événements de la vie ainsi qu'au milieu et aux habitudes de vie.

➤ Facteur Génétique

À la suite d'études réalisées à long terme sur des familles ainsi que sur des jumeaux (séparés ou non à la naissance), on a pu démontrer que la dépression comporte une certaine composante génétique, bien que l'on n'ait pas identifié de gènes précis impliqués dans cette maladie. Ainsi, des antécédents de dépression dans la famille peuvent être un facteur de risque [2].

➤ Facteur Biologique

Bien que la biologie du cerveau soit complexe, on observe chez les personnes dépressives un déficit ou un déséquilibre de certains neurotransmetteurs comme la sérotonine. Ces déséquilibres perturbent la communication entre les neurones. D'autres problèmes, comme une perturbation hormonale (hypothyroïdie, prise de pilule contraceptive par exemple), peuvent aussi contribuer à la dépression [2].

➤ Milieu et habitudes de vie

Les mauvaises habitudes de vie (tabagisme, alcoolisme, peu d'activité physique, excès de télévision ou de jeux vidéo, etc.) et les conditions de vie (conditions économiques précaires, stress, isolement social) sont susceptibles de nuire profondément à l'état psychologique. Par exemple, l'accumulation de stress au travail peut mener à l'épuisement professionnel et, à terme, à la dépression [2].

Il y'a d'autre problèmes qui surviennent dans la vie, peux aussi causer une dépression tels que :

- Divorce
- Mort d'un être aimé
- Rupture amoureuse
- Maladie physique

- Chômage
- Pauvreté
- Départ à la retraite
- Problème de logement
- Vieillesse
- Fait de devenir adulte
- Addiction
- Problème d'ordre spirituel
- Départ de proches
- Déménagement
- Travail physique et pénible, Mauvaises conditions de travail
- Excès de responsabilités (en particulier chez une jeune personne)
- Insatisfaction de son apparence [3].

I.2.3. Les symptômes de la dépression

➤ Les troubles des fonctions végétatives

Le sommeil est augmenté ou diminué :

- Il est souvent de mauvaise qualité, moins profond, très court et peu réparateur.
- Il n'est pas rare de souffrir d'insomnie en cas de dépression.
- Les matins sont souvent marqués par des réveils très tôt, avec impossibilité de se rendormir.

Dans d'autres cas, au contraire, la personne malade a un besoin excessif de sommeil (envie permanente de dormir). Mais ce "trop-plein" de sommeil est insatisfaisant et plutôt abrutissant.

L'appétit augmenté ou diminué.

➤ Les troubles des fonctions motivationnelles

Le déficit de l'activité et l'anhédonie qui se manifeste par la perte d'intérêt et du plaisir coexistent souvent avec le désir de s'évader par le suicide. Les contacts sociaux sont souvent diminués, voire inexistants, mais, à l'opposé, il peut parfois exister une dépendance vis-à-vis des autres qui se traduit par une exigence de présence constante qui lasse l'entourage [4].

➤ Les troubles des fonctions cognitives

Ils apparaissent à travers la perte de l'estime de soi, l'indécision, le pessimisme et le désespoir, sans raison objective. Les rêves lugubres traduisent une attitude psychologique globalement négative [4].

➤ Les troubles comportementaux

Le ralentissement psychique et moteur, ou l'agitation, sont souvent visibles dès l'entrée du patient en consultation. La diminution des comportements actifs et productifs, alors que les comportements passifs et improductifs sont accrus, est souvent subtilement masquée et difficile à mettre en évidence [4].

➤ L'anxiété

Un certain degré d'anxiété, psychique ou somatique, qui n'est cependant pas au premier plan, est compatible avec le diagnostic de dépression [4].

➤ Culpabilité

Nécessaire à toute vie sociale mais parfois douloureux et contraignant, le sentiment de culpabilité est l'impression de ne pas être juste, d'avoir, en fantasme ou réellement, enfreint un tabou, de nourrir un désir défendu, d'avoir eu un comportement coupable face à telle personne ou telle situation. Il en naît une forte angoisse et une tendance à l'autoaccusation. Ce signe n'est pas toujours présent, il est par contre très singulier de la dépression quand il existe. Nous sommes tous sujets à la culpabilité [5].

I.3. diagnostic

Selon le DSM –IV la dépression peut se présenter selon des critères

➤ Le critère A :

Au moins cinq des neuf symptômes suivants doivent avoir été présents pendant une même période d'une durée de 2 semaines et avoir représenté un changement par rapport au fonctionnement antérieur; au moins un des symptômes est soit une humeur dépressive, soit une perte d'intérêt ou de plaisir.

1. Une humeur dépressive présente pratiquement toute la journée, presque tous les jours, signalée par le sujet (par exemple il ou elle pleure). **N. B.** Éventuelle ment irritabilité chez l'enfant et l'adolescent.
2. Une diminution marquée de l'intérêt et du plaisir pour toutes ou presque toutes les activités pratiquement toute la journée, presque tous les jours (signalée par le sujet ou observée par les autres).
3. Perte ou gain de poids significatif en l'absence de régime (p. ex. modification du poids corporel en 1 mois excédant 5%), ou diminution ou augmentation d'appétit presque tous les jours. **N. B.** Chez l'enfant, prendre en compte l'absence de l'augmentation de poids attendue.
4. Insomnie ou hypersomnie presque tous les jours.
5. Agitation ou ralentissement psychomoteur presque tous les jours (constatés par les autres, non limités à un sentiment subjectif de fébrilité ou de ralentissement intérieur).
6. Fatigue ou perte d'énergie presque tous les jours.
7. Sentiment de dévalorisation ou de culpabilité excessive ou inappropriée (qui peut être délirante) presque tous les jours (ne pas seulement se faire grief ou se sentir coupable d'être malade).
8. Diminution de l'aptitude à penser ou à se concentrer ou indécision presque tous les jours (signalée par le sujet ou observée par les autres).
9. Pensées de mort récurrentes (pas seulement une peur de mourir), idées suicidaires récurrentes sans plan précis ou tentative de suicide ou plan précis pour se suicider.

➤ **Le critère B :**

Les symptômes ne répondent pas aux critères d'épisode mixte.

➤ **Le critère C :**

Les symptômes traduisent une souffrance cliniquement significative ou une altération du fonctionnement social, professionnel, ou dans d'autres domaines importants.

➤ Le critère D

Les symptômes ne sont pas imputables aux effets physiologiques directs d'une substance (par exemple, une substance donnant lieu à abus, un médicament), ou d'une affection médicale générale (par exemple hypothyroïdie).

➤ Le critère E

Les symptômes ne sont pas consécutifs à un deuil, c'est-à-dire qu'après la mort d'un être cher, les symptômes persistent pendant plus de 2 mois ou s'accompagnent d'une altération marquée du fonctionnement, de préoccupations morbides, de dévalorisation, d'idées suicidaires, de symptômes psychotiques ou d'un ralentissement psychomoteur [6].

I.4. Les Formes cliniques de dépression

La dépression peut se présenter sous des formes soit purement dépressives (formes unipolaires), soit alternant ou associant un état de dépression et d'excitation maniaque (formes bipolaires)

- **La forme unipolaire mineure**

Encore appelée dysthymie, nécessite la présence d'une humeur triste et d'au moins deux symptômes dépressifs présents de façon quasi constante durant deux ans [4]

- **La forme unipolaire majeure**

Se traduit par un épisode isolé plus ou moins intense ou des épisodes récurrents [4]

- **Les troubles bipolaires**

Présentent en alternance, et parfois en association, des épisodes d'excitation maniaque (avec euphorie, insomnie) et des épisodes dépressifs, ou combinent les deux séries de symptômes [4].

- **La forme mélancolique**

En effet, certains épisodes dépressifs très sévères peuvent présenter des caractéristiques psychotiques (délire) et/ou mélancoliques. Dans la mélancolie, les troubles des fonctions végétatives sont au premier plan, ainsi que le risque suicidaire souvent lié à des idées

délirantes d'indignité et de culpabilité qui peuvent aller jusqu'au sentiment de damnation éternelle [4].

- **Dépression périnatale et postnatale**

« Périnatale » signifie la naissance. Beaucoup de gens appellent ce type de dépression postnatale. La dépression périnatale peut survenir pendant la grossesse et jusqu'à un an après avoir eu un bébé. Les symptômes vont au-delà du « baby blues », qui cause de la tristesse, de l'inquiétude ou du stress mineurs.

- **Trouble dépressif persistant (PDD)**

Le PDD est aussi connu sous le nom de dysthymie. Les symptômes du PDD sont moins graves que la dépression majeure. Mais les gens éprouvent des symptômes de PDD pendant deux ans ou plus [7].

- **Trouble dysphorique prémenstruel (TDP)**

Le trouble dysphorique prémenstruel est une forme grave de trouble prémenstruel. Elle affecte les femmes dans les jours ou les semaines précédant leurs règles [7].

- **Dépression psychotique**

Les personnes atteintes de dépression psychotique présentent des symptômes dépressifs graves et des délires ou des hallucinations. Les illusions sont des croyances dans des choses qui ne sont pas basées sur la réalité, tandis que les hallucinations impliquent voir, entendre ou se sentir touché par des choses qui ne sont pas réellement là [7].

- **Trouble affectif saisonnier (TAS)**

La dépression saisonnière, ou trouble affectif saisonnier, commence habituellement à la fin de l'automne et au début de l'hiver. Elle disparaît souvent au printemps et en été [7].

I.5. Le mécanisme de la dépression

La dépression résulte d'un dysfonctionnement de la transmission de l'information d'un neurone à un autre au niveau du cerveau. Entre deux neurones, il existe un intervalle, appelé synapse, dans lequel le neurone qui transmet l'information rejette des molécules, les neurotransmetteurs, qui sont captés par le neurone qui reçoit l'information. La capture des

neurotransmetteurs par un neurone entraîne la génération d'un courant électrique, l'influx nerveux, qui transite par l'axone, le prolongement du neurone, jusqu'à la synapse suivante et déclenche la sécrétion des neurotransmetteurs.

Un dérèglement de la production et de la capture de 3 neurotransmetteurs majeurs est à l'origine du développement de l'épisode dépressif majeur.

- ✚ La **sérotonine** qui a pour fonction d'équilibrer le sommeil, l'appétit et l'humeur
- ✚ La **dopamine**, responsable de la régulation de l'humeur et de la motivation
- ✚ La **noradrénaline** qui gère l'attention et le sommeil [3]

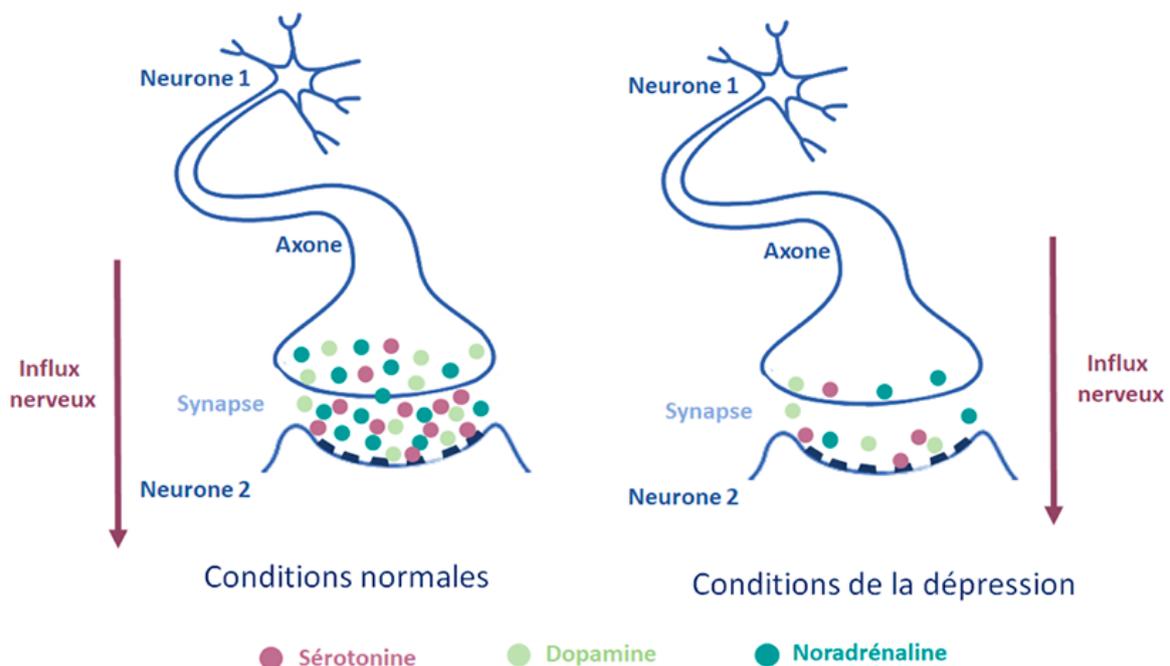


Figure I.1 : Le mécanisme biologique de la dépression [3]

I.6. La Mesure de la dépression

Il est important de déterminer la procédure de la mesure de la dépression pathologique, cela peut se faire par l'intermédiaire de différents outils communs aux sciences de gestion et aux sciences humaines : les interviews, l'observation, les questionnaires, le recueil de données organisationnelles, le recueil de données psychophysiologiques individuelles

Pour notre mémoire, nous avons choisi la méthode des tests sous forme un questionnaire, voici les exemples que nous avons utilisé

I.6.1. Inventaire de Dépression de Beck

L'Inventaire de dépression de Beck (IDB) est un des instruments de dépistage les plus largement utilisés pour mesurer la sévérité de la dépression chez les adultes ainsi que chez les adolescents de plus de 13 ans [8].

I.6.2. La résilience

La résilience est un terme de physique qui définit la capacité de résistance d'un corps ou d'un matériau à un choc ou à une déformation. Le test d'évaluation est composé à chaque question de quatre assertions affectées aux sept clés de la résilience [9]

I.7. Traitement de la dépression

Les traitements disponibles La dépression est une maladie pour laquelle il existe actuellement plusieurs traitements

I.7.1. Les traitements médicamenteux

Les traitements médicamenteux indiqués pour les dépressions sont les antidépresseurs et les sels de lithium. La découverte des antidépresseurs (aussi appelés thymoanaleptiques) est assez récente (1957) mais depuis lors un bon nombre de traitements existent pour traiter la dépression [10].

I.7.2. La psychothérapie

Le principe de la psychothérapie est que le professionnel essaie d'atténuer le problème de la douleur psychique du patient par des moyens psychologiques, en combattant les sentiments négatifs [10].

I.7.3. L'électro-convulsivothérapie

Ce traitement consiste à provoquer une crise d'épilepsie générale en délivrant une impulsion électrique au niveau de la boîte crânienne. Ce traitement est indiqué en première intention surtout lorsque la dépression est sévère, présentant un risque pour la vie de la personne malade (risque suicidaire, refus alimentaire) ou à la demande du patient ayant bien répondu à ce traitement dans le passé. Le traitement se compose de 2 à 3 séances par semaine pendant un mois et est réalisé en milieu hospitalier, sans anesthésie. Il s'agit d'un traitement qui n'est pas d'application très fréquent [10].

I.7.4. Médecine alternative

les personnes souffrant de dépression légère ou de symptômes persistants peuvent améliorer leur bien-être grâce à une thérapie complémentaire. La thérapie peut inclure massage, acupuncture, hypnose et biofeedback [11].

I.7.5. Auto-assistance

Faire régulièrement de l'exercice, dormir suffisamment et passer du temps avec les personnes qui vous tiennent à cœur peuvent améliorer les symptômes de dépression [11].

I.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les cause, les symptômes et le diagnostic de la dépression, Ces notions sont indispensables pour la bonne compréhension de notre étude par la suite. Dans le chapitre suivant, nous relatent des nouvelles technologies basées sur des systèmes intelligents pour nous aider de diagnostiqués la dépression.

Chapitre II

Les Réseaux

Neurones Artificiels

II.1. Introduction

Les réseaux de neurones artificiels constituent l'une des approches d'intelligence artificielle dont le développement se fait à travers les méthodes par lesquelles l'homme essaye toujours d'imiter la nature et de reproduire des modes de comportement et de raisonnement qui lui sont propres.

La modélisation d'un neurone artificiel peut être utilisée pour applications en neuroscience, ainsi que dans l'intelligence artificielle.

Nous présentons donc dans ce premier chapitre des notions sur les neurones et réseaux de neurones, et sur l'apprentissage.

II.2. Neurones et réseaux neurones

II.2.1. Historique

Le champ des réseaux neuronaux va démarrer par la présentation en 1943 par W. McCulloch et W. Pitts du **neurone formel** qui est une abstraction du neurone physiologique. Le retentissement va être énorme. Par cette présentation, ils veulent démontrer que le cerveau est équivalent à une machine de Turing, la pensée devient alors purement des mécanismes matériels et logiques.

En 1949, D. Hebb présente dans son ouvrage "**The Organization of Behavior**" une règle d'apprentissage. De nombreux modèles de réseaux aujourd'hui s'inspirent encore de la règle de Hebb.

En 1958, F. Rosenblatt développe le modèle du Perceptron. C'est un réseau de neurones inspiré du système visuel. Il possède deux couches de neurones : une couche de perception et une couche liée à la prise de décision. C'est le premier système artificiel capable d'apprendre par expérience.

Dans la même période, Le modèle de L'Adaline (ADaptive LINar Element) a été présenté par B. Widrow, chercheur américain à Stanford. Ce modèle sera par la suite le modèle de base des réseaux multicouches.

En 1969, M. Minsky et S. Papert publient une critique des propriétés du Perceptron. Cela va avoir une grande incidence sur la recherche dans ce domaine. Elle va fortement diminuer jusqu'en 1972, où T. Kohonen présente ses travaux sur les mémoires associatives et propose des applications à la reconnaissance de formes.

C'est en 1982 que J. Hopfield présente son étude d'un réseau complètement rebouclé, dont il analyse la dynamique.

Aujourd'hui, les réseaux neuronaux sont utilisés dans de nombreux domaines (entre autres, vie artificielle et intelligence artificielle) à cause de leur propriété en particulier, leur capacité d'apprentissage, et qu'ils soient des systèmes dynamiques. [12]

L'histoire des RNA débute il y a 120 ans. Certaines des applications envisagées par les informaticiens des années 1960 sont devenues réalités 50 ans plus tard.

Pour les autres «rêves» comme l'intelligence ou la conscience artificielle, un peu de travail est encore nécessaire. [13]

II.2.2. Neurones biologique

Un neurone est une cellule nerveuse constituant la base du système nerveux spécialisée dans le traitement des signaux électriques. En biologie, le cerveau humain contient un grand nombre de neurones fortement interconnectés constituant des réseaux de neurones.

Chaque neurone est une entité autonome au sein du cerveau. Un neurone comprend un corps cellulaire ou cellule somatique ou soma, centre de contrôle de celui-ci, qui fait la somme des informations qui lui parviennent. Il traite ensuite l'information et renvoie le résultat sous forme de signaux électriques, du corps cellulaire à l'entrée des autres neurones à travers son axone. Les axones reliant les neurones entre eux jouent donc un rôle important dans le comportement logique de l'ensemble. Le neurone est également constitué de plusieurs branches nommées dendrites, qui sont les récepteurs principaux du neurone, par lesquelles transite l'information venue de l'extérieur vers le corps cellulaire. Les synapses du neurone quant à eux reçoivent les informations des autres neurones via l'axone et permettent donc aux neurones de communiquer entre eux. [14]

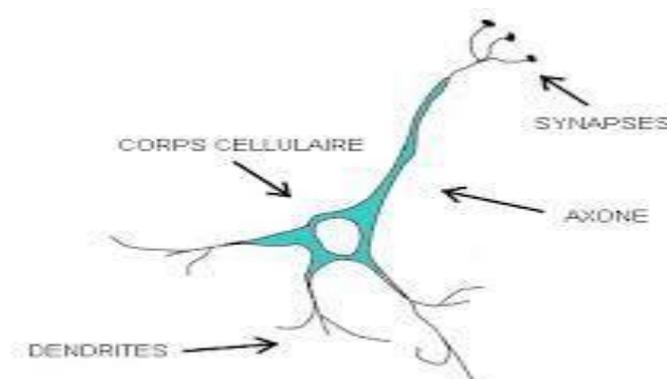


Figure II.1 : Neurone biologique [15]

II.2.3. Du neurone biologique au neurone artificiel

Les réseaux de neurones artificiels sont un moyen de modéliser le mécanisme d'apprentissage et de traitement de l'information qui se produit dans le cerveau humain.

Un neurone artificiel est une unité de traitement qui reçoit des données en entrée, sous la forme d'un vecteur, et produit une sortie réelle. Cette sortie est une fonction des entrées et des poids de connexions. [14]

On peut résumer la modélisation du neurone formel à partir du neurone biologique Par le tableau suivant :

Neurone biologique	Neurone artificiel
Axones	Signal de sortie
Dendrites	Signal d'entrée
Synapses	Poids de la connexion

Tableau II.1: la modélisation du neurone formel à partir du neurone biologique [14]

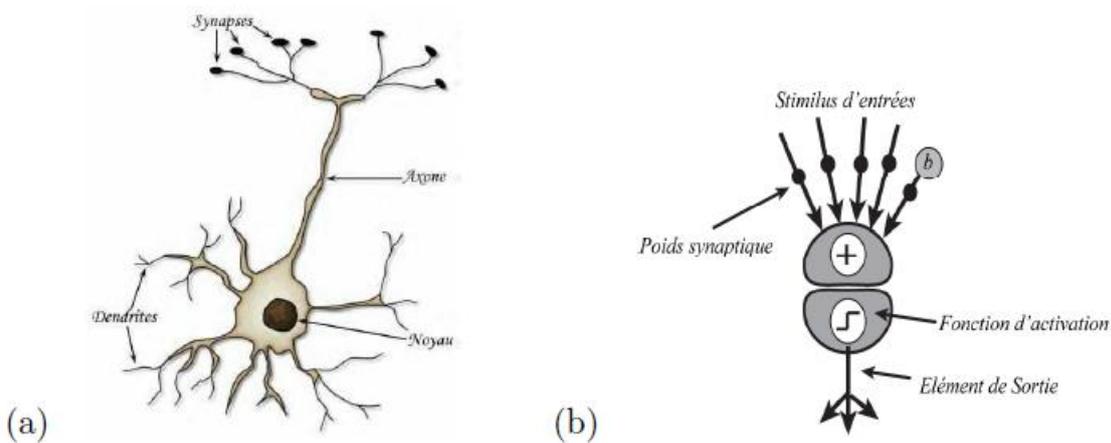


Figure II.2: (a) neurone biologique. (b) neurone formel [16].

II.2.4. Réseaux neurones artificiels

Les réseaux de neurones sont des modèles d'apprentissage automatique capables de représenter une relation entre des données d'un espace X et un espace de sortie Y . Ils sont utilisés dans de nombreux domaines, L'unité de calcul de base est le neurone. Celui-ci prend

en entrée plusieurs signaux et les interprète pour envoyer un nouveau signal vers d'autres neurones ou vers la sortie du réseau de neurones, c'est-à-dire la sortie du modèle. [17]

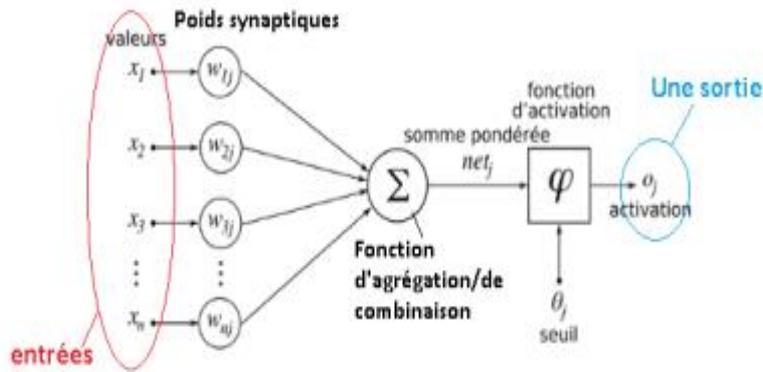


Figure II.3: réseau neurone artificiel [15]

II.3. Architecture de réseaux de neurones

Selon la topologie de connexion des neurones, on peut les classer en deux grandes catégories : réseaux non bouclés (statique ou feed-forward) et réseaux bouclés (dynamique, feed back ou récurrent).

II.3.1. Réseaux récurrents "Feed-Back"

Un réseau bouclé (récurrent), régi par une ou plusieurs équations différentielles, résulte de la composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions. Ces réseaux sont utilisés pour effectuer des tâches de modélisation des systèmes dynamiques, de commande de processus ou de filtrage [14]

On distingue plusieurs types d'architecture :

➤ **Les cartes auto-organisatrices de Kohonen**

Ce type de réseaux utilise un apprentissage non-supervisé qui ajuste une carte discrète et ordonnée en fonction de patterns d'entrée. [18]

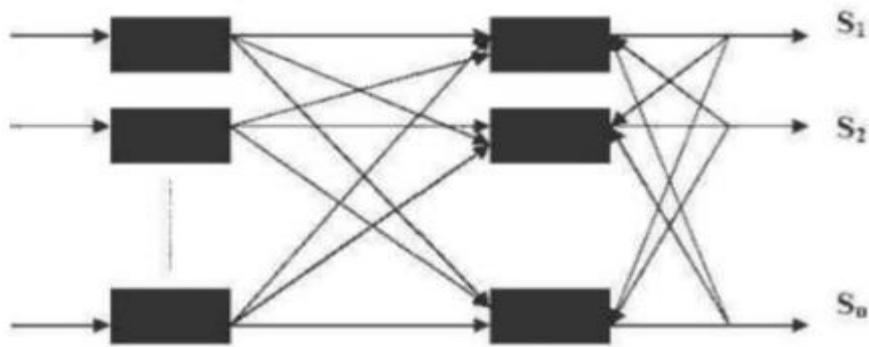


Figure II.4 : le modèle de kohonen [19]

➤ Réseau de Hopfield

Le réseau de neurones d'Hopfield est un modèle de réseau de neurones récurrents à temps discret. [20]

Ce type de réseaux utilise un apprentissage non-supervisé, il est particulièrement utilisé dans la résolution de problèmes d'optimisation. [18]

II.3.2 Réseaux statiques « feed-forward »

Un réseau de neurones non bouclé (appelé aussi statique) est représenté comme un graphe dont les nœuds sont les neurones. L'information circule des entrées vers les sorties Sans retour en arrière

Ce type de réseaux est utilisé pour effectuer des tâches d'approximation de fonction non linéaire, de la classification ou de la modélisation de processus statiques non linéaires [21]

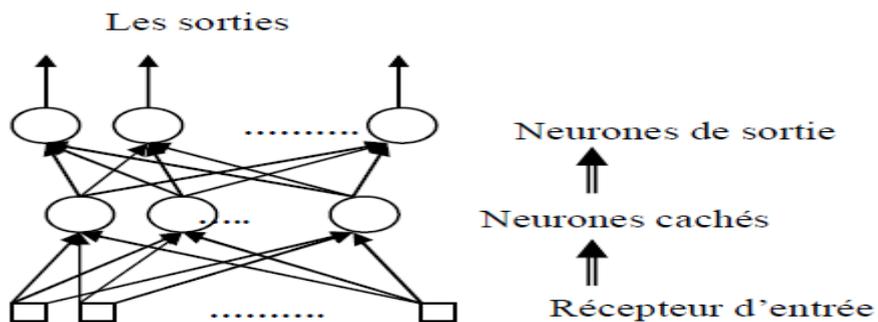


Figure II.5: Exemple d'un réseau de neurones non bouclé. [14]

➤ Réseau à fonction de base radiale

Les réseaux à fonctions de base radiales (RBF) sont des modèles connexionnistes simples à mettre en œuvre et assez intelligibles, et sont très utilisés pour la régression et la discrimination. Leur propriétés théoriques et pratiques ont été étudiées en détail depuis la fin

des années 80 ; il s'agit certainement, avec le Perceptron multicouche, du modèle connexionniste le mieux connu. [22]

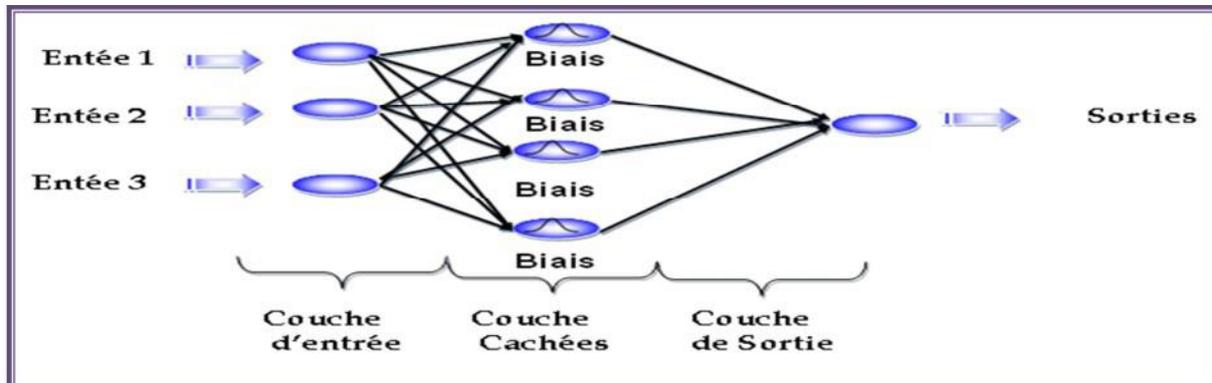


Figure II.6 : Architecture générale d'un réseau RBF [14]

➤ Perceptron monocouche

Les perceptrons sont des réseaux de type feedforward, il se compose d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie sans avoir de couche cachée, il obéit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur ou selon la règle de Hebb. [15][18]

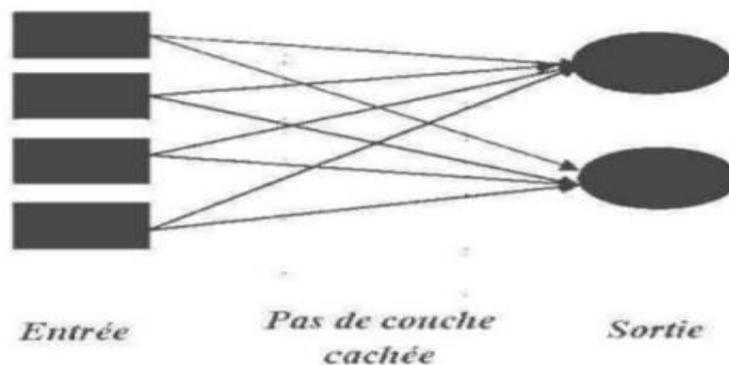


Figure II.7 : le réseau monocouche [18]

➤ Perceptron multicouche

Le perceptron multicouche (PMC) est la deuxième grande famille de réseaux de neurones. Le perceptron est organisé en plusieurs couches. La première couche est reliée aux entrées, ensuite chaque couche est reliée à la couche précédente, au sein desquelles une information circule de la couche d'entrée vers la couche de sortie uniquement ; il s'agit donc d'un réseau à propagation directe [18] [23].

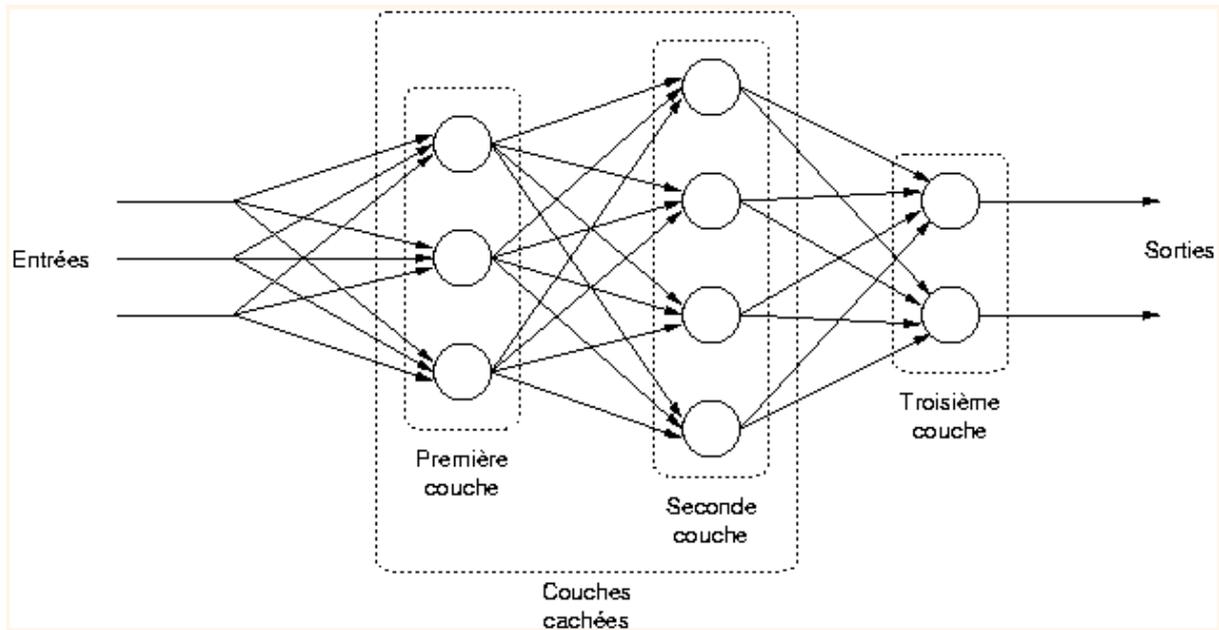


Figure II.8 : le réseau multicouche [23]

II.4. Structure du perceptron multicouche

Un réseau de neurone multicouche est composé d’une succession de couches dont chacun prend ses entrées sur les sorties de la précédente. Chaque couche (a) est composée de (N_i) neurones, prenant leurs entrées sur les (N_{i-1}) neurones de la couche précédente. A chaque synapse est associé un poids synaptiques (w), de sorte que les (N_{i-1}) sont multipliés par ce poids, puis additionnés par les neurones de niveau (i) ce qui est équivalent à multiplier le vecteur d’entrée par une matrice de transformation. [18]

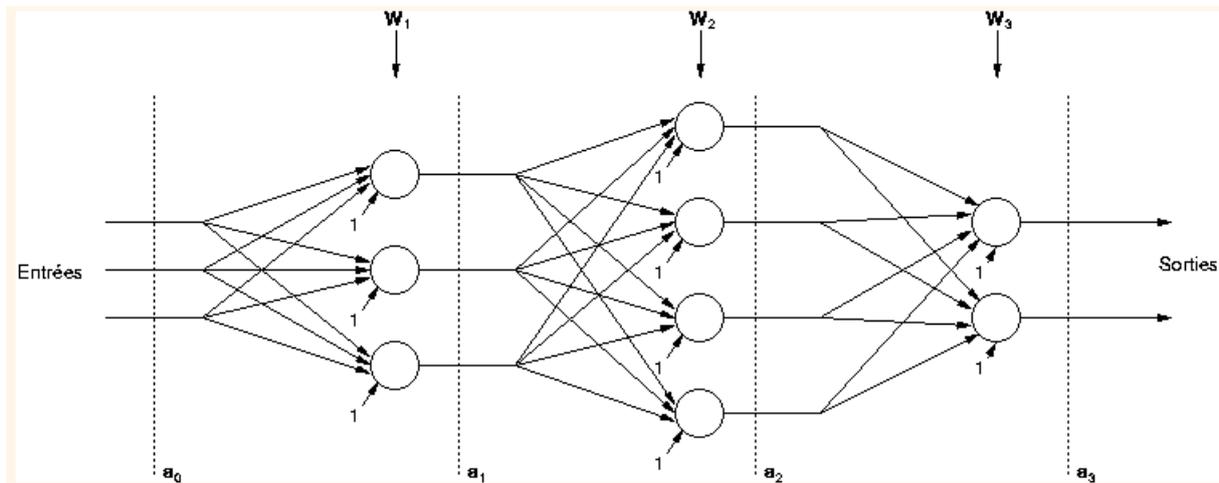


Figure II.9 Architecture du perceptron multicouche [23]

II.5. Les inconvénients du perceptron

Le réseau de neurones représente l'intelligence artificielle des programmes informatiques mais de nombreux éléments limitent encore ses capacités, y compris [20] :

➤ Minima locaux

Quand on a une fonction qui admet un seul minimum, la minimisation sera facile à attendre, et ce sont des cas vraiment très rare, car souvent on trouve des fonctions qui ont plusieurs minimum, il faut avoir de la chance pour tomber sur le minimum global, et ça qui va provoquer une difficulté pour l'apprentissage [20].

➤ Choix d'architecture

L'utilisateur doit choisir le nombre de couche cachée ainsi le nombre de leur interconnexions pour lancer l'apprentissage. En général, ce choix est réalisé aléatoirement, c'est-à-dire, l'utilisateur fait des essais avec plusieurs architecture afin de désigner la meilleure (celle qui a donnée des résultats idéal), et ça va prendre du temps, ce qui va causer un problème, parce que on sait jamais qu'elle architecture est les meilleurs dès le premier essai [20].

➤ Sélection des variables pertinentes

La sélection des variables pertinentes est un élément très important avant de faire l'apprentissage, elle consiste à éliminer les variables dont on n'est pas besoin (les moins pertinentes). L'amélioration de la qualité d'apprentissage ne repose pas sur plusieurs variables, au contraire, elle peut entrainer des difficultés pour l'apprentissage (augmente le temps d'apprentissage), On peut aboutir à des résultats meilleurs avec deux variables d'entrée seulement. La question qui se pose, comment on peut distinguer les meilleurs des mauvais [20].

II.6. L'apprentissage

L'apprentissage est une phase du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré. Les variables modifiées pendant l'apprentissage sont les poids des connexions.

L'apprentissage est la modification des poids du réseau dans l'optique d'accorder la réponse du réseau aux exemples et a l'expérience [13].

II.6.1. L'apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé, où l'on utilise un ensemble déterminé de données d'entrée et de sortie pour ajuster les poids du réseau de manière itérative [14].

On cite parmi les règles de l'apprentissage supervisé :

- **La règle de Hebb** c'est la méthode d'apprentissage la plus ancienne (1949), elle est inspirée de la biologie. Elle traduit le renforcement des connexions liant deux neurones activés. Si un des deux neurones au moins n'est pas activé, le poids de la connexion n'est pas modifié [15].
- **La règle de la rétro propagation** par l'algorithme de la descente de gradient (Appelée souvent simplement rétro propagation d'erreur). Dans cette méthode, le réseau calcule le patron de sortie, et s'il y a une erreur, les poids synaptiques des différentes couches sont ajustés pour la réduire, en partant de la couche de sortie. Ensuite il va y avoir une comparaison entre les valeurs de sorties obtenus et les valeurs attendus (on obtient l'erreur de sortie par la différence entre ces valeurs), l'algorithme va donc modifier les poids (ajustement des poids) de telle sorte qu'à prochaine itération, l'erreur obtenus entre la sortie calculé et attendus soit minimisé. La règle de la rétro propagation est utilisable pour l'apprentissage des perceptrons multicouches [18]

Nous citons ci-dessous quelques méthodes de la famille de la descente de gradient [19]

- **La méthode de Newton**

La méthode de Newton utilise la courbure (dérivée seconde) de la fonction de coût pour atteindre le minimum. La modification des paramètres s'écrit ainsi :

$$w_k = w_{k-1} - H_{k-1}^{-1} \cdot \nabla J(w_{k-1})$$

La direction de descente est $H_{k-1}^{-1} \cdot \nabla J(w_{k-1})$ où H_{k-1} est l'inverse du hessien de la fonction de coût, la matrice hessienne est la matrice des dérivées secondes de l'indice de performances de poids et de biais.

Dans la pratique, le calcul du hessien et surtout de son inverse est à la fois complexe et source d'instabilités numériques ; on utilise de préférence une méthode de "quasi-Newton"[19].

- **La méthode de quasi-Newton**

Les méthodes de quasi-Newton consistent à approcher l'inverse du hessien plutôt que de calculer sa valeur exacte.

La modification des paramètres s'écrit : $w_k = w_{k-1} - \alpha_{k-1} M_{k-1} \cdot \nabla J(w_{k-1})$

La suite M_k est construite de façon à converger vers l'inverse du hessien avec M_0 égale à la matrice identité. Cette suite est construite grâce à la méthode dite BFGS (Broyden, Fletcher,

Goldfarb, Shanno 1970) dont la vitesse de convergence est beaucoup plus grande que celle de la méthode du gradient [19].

➤ **La méthode Levenberg-Marquardt**

Si la descente de gradient est trop lente pour réaliser l'apprentissage, il est également possible d'utiliser un algorithme du second ordre, tel que celui de Levenberg-Marquardt. Dans ce cas chaque itération demande plus de calculs, mais dans la plupart des cas le nombre d'itérations nécessaires pour converger est bien moindre.

Une autre manière de diminuer le nombre d'itérations d'un algorithme d'optimisation est d'utiliser les dérivées secondes.

Mais le calcul des dérivées secondes peut être très long, tout d'abord parce que le nombre de dérivées secondes est le carré de celui des dérivées premières, et également parce que la dérivée seconde peut être assez complexe. De nombreux algorithmes, peut être abusivement appelés algorithmes d'ordre 2, ils utilisent en fait une approximation des dérivées secondes calculées à partir de dérivées premières. Cependant ils gardent l'avantage d'utiliser beaucoup moins d'itérations qu'une descente de gradient.

L'algorithme de Levenberg-Marquardt fait partie de ces algorithmes, et s'applique au cas où la fonction est une erreur quadratique moyenne.

En pratique cet algorithme, en particulier dans le cas des réseaux de neurones, permet de converger avec beaucoup moins d'itérations. Mais chaque itération demande plus de calculs, en particulier pour l'inversion de la matrice \mathbf{H} , et son utilisation se limite donc aux cas où le nombre de paramètres à optimiser n'est pas très élevé. En effet le nombre d'opérations nécessaires à l'inversion d'une matrice est proportionnel à N^3 , N étant la taille de la matrice. [19].

II.6.2. L'Apprentissage non supervisé (unsupervised Learning)

L'apprentissage non supervisé ou compétitif est aussi appelé auto-organisation contrairement à l'apprentissage supervisé qui nécessite la connaissance des sorties désirées, ce type d'apprentissage n'a pas besoin de professeur pour apprendre [16] où l'on trouve uniquement des données d'entrée et une fonction de coût à réduire. Dans ce cas le réseau décide lui-même quelles sont les bonnes sorties [14] [18].

II.6. Domaine d'application

Les grands domaines d'application des réseaux de neurones découlent naturellement des propriétés énoncées précédemment. Nous présentons dans les sections suivantes quelques exemples pour montrer le vaste étendu de leur applicabilité.

- La régression non linéaire, ou modélisation de données statiques
- La modélisation de processus dynamiques non linéaires
- La commande de processus [21].

Il est également possible d'utiliser des réseaux de neurones artificiels pour procéder à tout type de prévisions ou de simulations. C'est le cas par exemple pour les prévisions météorologiques, les diagnostics médicaux ou les marchés boursiers. Dans l'industrie, on fait parfois appel à des réseaux de neurones artificiels dans le cadre de technologies de contrôle de l'activité, pour détecter d'éventuels écarts par rapport à des valeurs déterminées et prendre automatiquement des contre-mesures nécessaires, ou pour fixer de façon indépendante des valeurs cibles en tenant compte de l'évaluation des données effectuée par les réseaux[18]. Une autre grande catégorie de problème industriel consiste à attribuer de façon automatique un objet à une classe, parmi d'autres classes possibles. Et en raison de leur propriété d'approximâtes universels, les réseaux de neurones sont capables d'estimer de manière précise la probabilité d'appartenance d'un objet inconnu à une classe parmi plusieurs possibles [21].

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu général sur les réseaux de neurones. Nous avons présenté les propriétés fondamentales des réseaux de neurones qui justifient l'intérêt croissant qui leur est accordé et qui sont capable d'intervenir dans la résolution de nombreux Problèmes.

Chapitre III

La Logique Floue

III.1.Introduction

Depuis la création de l'ordinateur et la logique binaire, les scientifiques se sont attachés à tout ce qui est précis, rigoureux et quantitatif, pourtant la qualité de la précision est parfois embarrassante, notamment dans certaines applications de l'intelligence artificielle.

Dans ce cas, au lieu d'avoir à manipuler des nombres, la machines doit restituer des connaissances humaines, autrement dit simuler des raisonnements humains [24]

En 1965 la naissance de la logique floue (fuzzy logic) par le professeur L.A.Zadeh, cette dernière à amener à jouer un rôle fondamentale en intelligence artificielle, et surtout dans les systèmes de communication homme-machine.

Dans ce chapitre, nous présentons les éléments de base de la théorie de la logique en insistant sur les systèmes d'inférence floue (SIF).

III.2.La logique floue

La logique floue consiste à accorder aux affirmations décrivant la réalité, un certain degré de vérité rappelant la façon de raisonner des ordinateurs à celle des humains. Le raisonnement sera donc basé sur des données approximatives pour extraire des solutions précises. Le concept de la logique floue est la généralisation de la logique classique, qui tient compte uniquement de deux événements distincts. En effet, cette théorie considère un certain degré d'appartenance à une classe admettant des situations intermédiaires entre le «vrais » et le «faux » [25].

III.2.1.Historique

Dans le premier sixties, Lotfi Zadeh, Professeur à 'Université de Californie, Berkeley, Eh bien, il est connu pour ses contributions à la théorie des systèmes, il a commencé à se sentir que l'analyse des techniques traditionnelles de systèmes étaient trop et inutilement précis pour un grand nombre des problèmes du monde réel. L'idée d'un degré d'appartenance, le concept est devenu plus tard l'épine dorsale de la théorie des ensembles flous par lui a été introduit en 1964, et cela a conduit plus tard 1965 la publication d'un premier article et la naissance de la logique floue. Le concept d'ensemble flou, et la logique floue ont attiré des critiques acerbes

de la communauté universitaire ; néanmoins les chercheurs et les scientifiques du monde entier - domaines les plus divers, de la psychologie à la sociologie, la philosophie, l'économie, les sciences naturelles à l'ingénierie - sont devenus adeptes de Zadeh.

A cette époque, la théorie de la logique floue n'a pas été prise au sérieux, ses principes ont été appliqués en 1974 par E.H.Mamdani à la construction d'un premier contrôleur flou. Dès 1975, on trouve les premières applications au niveau des systèmes de réglage. A partir de 1985 environ, ce sont les Japonais qui commencent à utiliser la logique floue dans des produits industriels pour résoudre des problèmes de réglage et de commande [26].

Et c'est en 1990 que des applications dans le domaine du diagnostic médical apparaissent en majorité en Allemagne puis aux USA [15].

Aujourd'hui une vaste gamme de nouveaux produits ont une étiquette « produit flous » (fuzzy) [24].

III.2.2. Variables floues

La logique floue peut prendre en compte le caractère imprécis du monde réel dû à des termes flous ou à des variables linguistiques (par exemple "petit", "moyen", "grand"). Chaque terme représente un sous-ensemble de valeurs, caractérisant ainsi les variables floues [27].

Chaque variable linguistique est caractérisée par un ensemble tel que :

(X, U, T(X), μ_x)

Où **x** : le nom de variable

T(x) : ensemble de termes de variable, c'est l'ensemble des noms des valeurs linguistiques de x dont chaque valeur est un sous-ensemble flou défini dans U.

U : l'univers de discours.

μ_x : sont les fonctions d'appartenance associées à l'ensemble de termes linguistiques.

Comme exemple de variable linguistique, on prend la température Son ensemble de termes T (Température) peut être: $T(\text{température}) = \{\text{Faible, moyenne, élevé}\}$ [28].

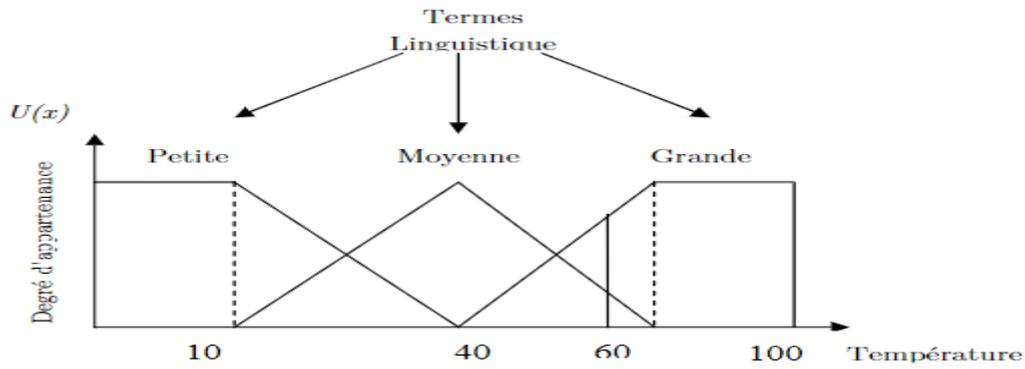


Figure III.1 : Exemple d'une variable linguistique [27]

III.2.3. Les sous-ensembles flous

Dans la théorie des ensembles classiques (logique booléenne), un élément appartient ou n'appartient pas à un ensemble [24], Le mérite de Zadeh a été de tenter de sortir de cette logique booléenne en introduisant la notion d'appartenance pondérée : permettre des graduations dans l'appartenance d'un élément à un sous ensemble c'est à dire autoriser un élément à appartenir plus ou moins fortement à ce sous ensemble [29].

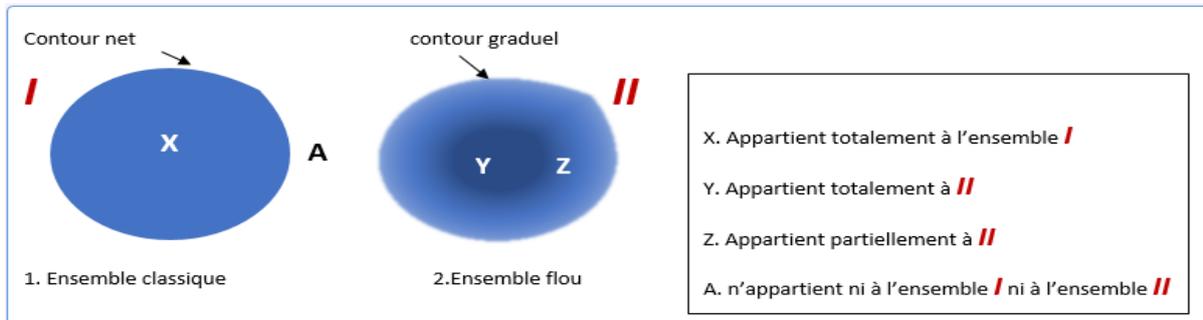


Figure III.2 : Schéma représentative de la logique floue et la logique binaire [15]

Soient U: L'univers du discours.

A: un sous-ensemble de U

Théorie classique des ensembles :

Si μ_A la fonction d'appartenance de l'ensemble A

$$\forall x \in U \quad \begin{aligned} \mu_A(x) &= 0 \text{ si } x \notin A \\ \mu_A(x) &= 1 \text{ si } x \in A \end{aligned}$$

Concept d'ensemble flou:

Si μ_A la fonction d'appartenance de l'ensemble A

$$\forall x \in U \quad \mu_A(x) \in [0, 1]$$

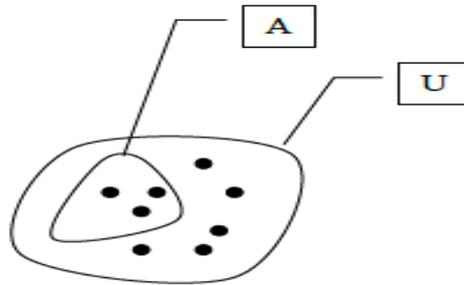
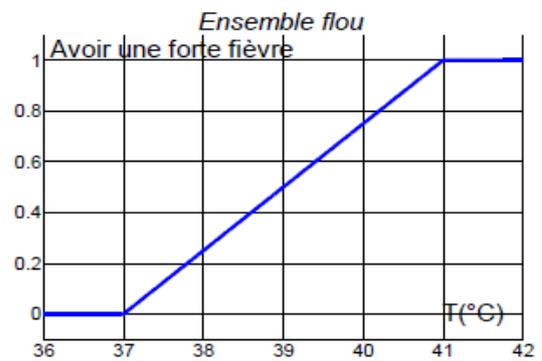
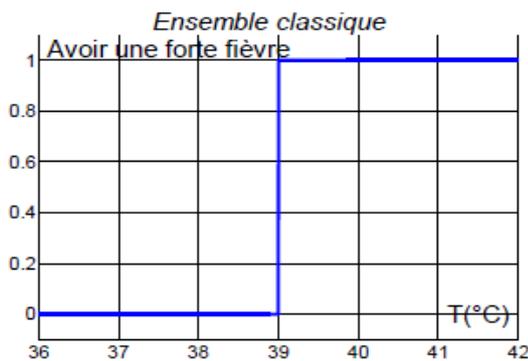


Figure III.3 : sous-ensembles flous [18]

Exemple :

Un patient est malade si sa température est 39 °C



Si le patient à 38,9°C de température

Logique classique

Le patient n'a pas de forte fièvre

Logique floue

Le patient a une forte fièvre à 48%

III.2.4.La fonction D'appartenance

Un ensemble flou est défini par sa fonction d'appartenance ou chaque élément d'un ensemble flou correspondra à un « degré d'appartenance » [15] [24], parmi les fonctions d'appartenance les plus utilisés : Fonction triangulaire, trapézoïdale, fonction Z, gaussienne (cloche), sigmoïde.

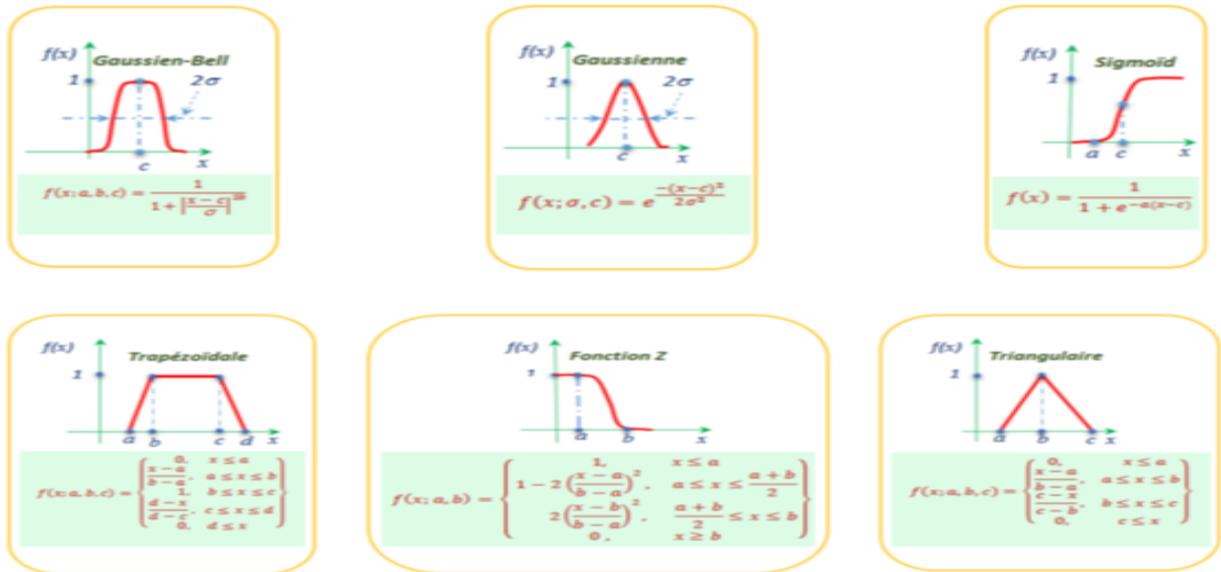


Figure III.4 : Les fonctions d'appartenance les plus utilisées [30]

III.2.5.Cracteristique d'un ensemble flou

Un sous-ensemble flou est complètement défini par sa fonction d'appartenance, à partir d'une telle fonction un certain nombre de caractéristiques peuvent être étudié [31]

- **Le Noyau**

Un noyau $Noy(A)$ d'un sous-ensemble flou A, est l'ensemble de tous les éléments qui appartiennent totalement au sous-ensemble [31] :

$$Noy(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) = 1\}$$

- **Support**

Un support $Supp(A)$ d'un sous-ensemble flou A, est l'ensemble de tous les éléments qui appartiennent au moins un petit peu au sous-ensemble [31] :

$$Supp(A) = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\}$$

- Hauteur

La hauteur $h(A)$ est la valeur maximale atteinte sur le support de sous ensemble A [31] :

$$h(A) = \sup_{x \in X} \mu_A(x)$$

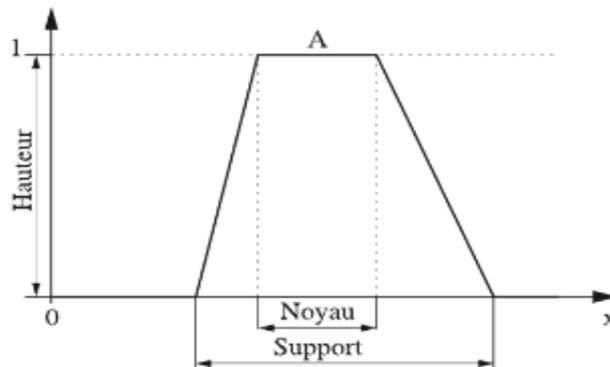


Figure III.5: Présentation des caractéristiques d'un sous-ensemble floue [31]

III.2.6. Les opérateurs flous

Les opérateurs existant sur les sous-ensembles ordinaires (logique booléenne) peuvent être utiles pour les sous-ensembles flous [31]

- Opérateur NON (la négation)

L'opérateur NON correspond à l'ensemble complémentaire, est représenté par la fonction suivante [24] [31] :

$$\forall x \in U \quad \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

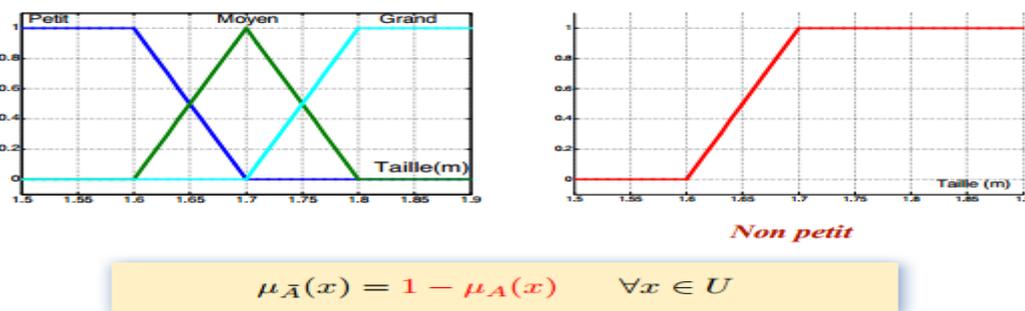


Figure III.6 : L'opérateur NON [30]

• L'union OU

L'union de deux ensembles flous est le sous-ensemble flou constitué des éléments de X affectés du plus grand des deux degrés d'appartenance μ_A et μ_B , présenté par la fonction suivante [31] [15] :

$$\mu_{B \cup A}(X) = \max(\mu_B(x), \mu_A(x))$$

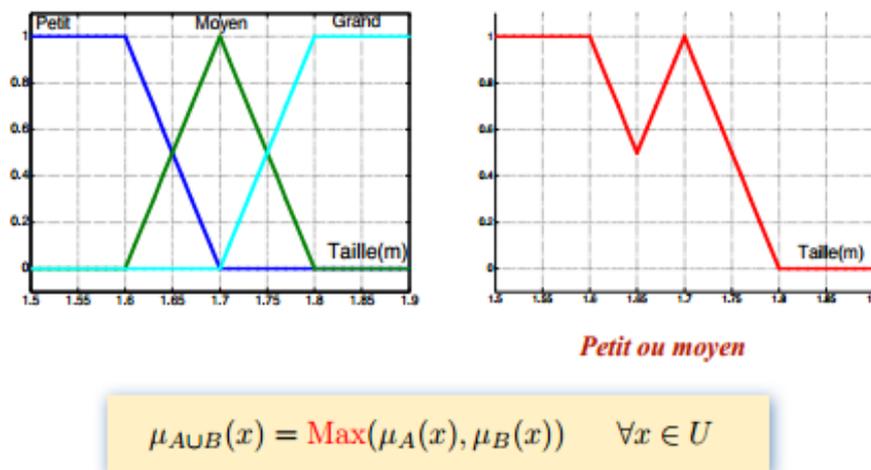


Figure III.7 : L'opérateur OU [30]

• L'intersection

L'intersection de deux ensembles flous est le sous-ensemble flou constitué des éléments de X affectés du plus petit des deux degrés d'appartenance μ_A et μ_B , présenté par la fonction suivante [31] [15] :

$$\mu_{B \cap A}(X) = \min(\mu_B(x), \mu_A(x))$$

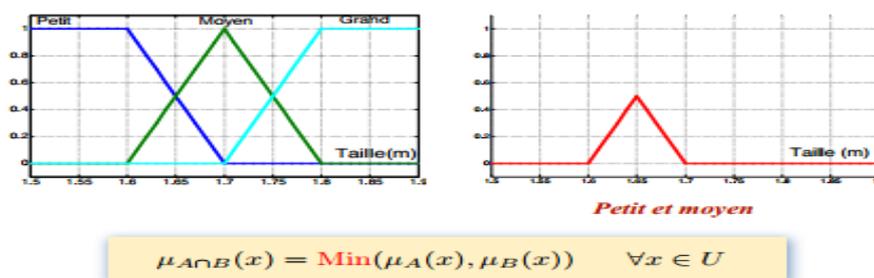


Figure III.8 : L'opérateur ET [30]

Dénomination	Intersection ET (t-norme)	Réunion OU (t-conorme)	Complément NON
Opérateurs de Zadeh MIN/MAX	$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$
Probabiliste PROD/PROBOR	$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \times \mu_B(x)$	$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

Tableau III.1 : Opérateurs logiques floues les plus utilisés [32]

III.2.7 .Le raisonnement floue

La logique floue a pour but de formaliser et d'implémenter la façon dont les humains raisonnent, ces règles sont basées sur un ensemble de règles conditionnelles floues composées de deux parties prémisses et conclusion [27] [24].

Si « prémisses » **Alors** « Conclusion »

Par exemple : **Si** Temps est beau **ET** Moment est Début Matinée **ALORS** Moral est haut



- **Prémisse** (aussi appelé **prédicat**) est une combinaison de proposition par des opérateurs OU, NON, ET [27] [24].
- **Conclusion** la conclusion d'une règle floue est aussi une combinaison des propositions par l'opérateur ET [27] [24].

III.3. Système D'inférence floue

Systèmes d'inférence floue (SIF) conçus pour transformer les données d'entrée aux données de sortie de l'évaluation d'un ensemble de règles. L'entrée des processus de fuzzification et les ensembles de règles sont souvent définis par une technologie propriétaire d'un spécialiste [27].

- **Fuzzification**

L'étape de fuzzification a pour but de transformer une donnée numérique en variable linguistique. Pour cela, le concepteur du système flou doit créer des fonctions d'appartenances [33].

- **Système d'inférence floue**

Maintenant que l'on possède des variables linguistiques, on va pouvoir les passer dans le moteur d'inférence. Ici, chaque règle du moteur d'inférence est écrite par le concepteur du système flou en fonction de connaissance qu'il possède. La première chose à faire pour cette seconde partie est donc de lister toutes les règles que l'on connaît et qui s'applique au système [33].

Il existe deux grands types de systèmes d'inférence floue qui sont :

- ❖ Système d'inférence floue de type **Mamdani**
- ❖ Système d'inférence floue de type **Takagi-Sugeno**.

- **System Mamdani**

Le système de **Mamdani** est parmi les premiers systèmes basé sur les théories des ensembles flous, c'est aussi la méthodologie la plus couramment utilisée [15]. Dans le système d'inférence de Mamdani, la sortie de chaque règle est un ensemble de logique floue [34].

L'inférence Mamdani procède selon quatre étapes :

1. Fuzzification des variables d'entrée
2. Evaluation des règles
3. Agrégation des sorties des règles
4. Défuzzification [35].

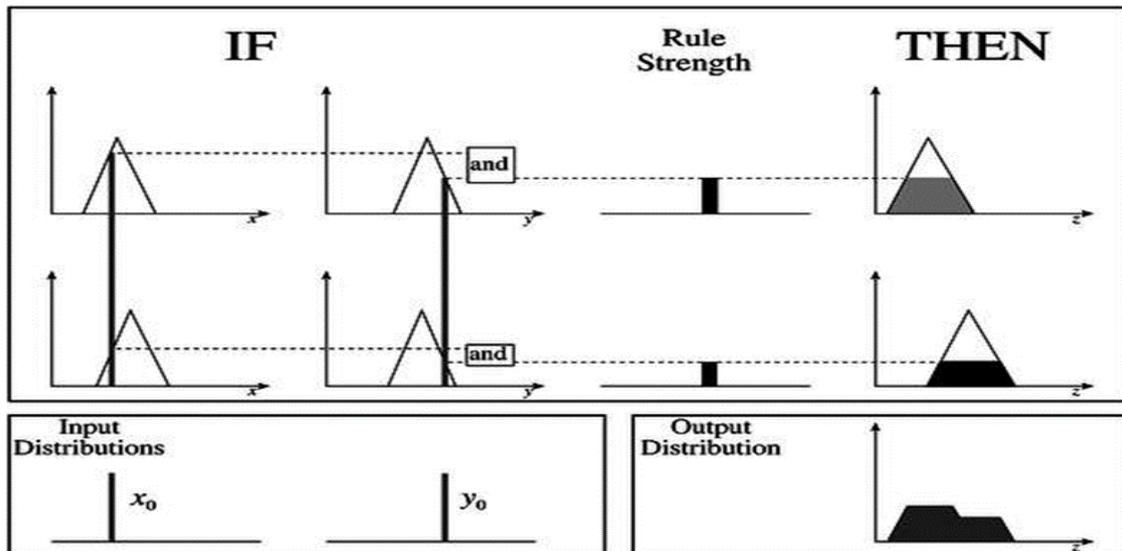


Figure III.9: Schéma d'un système d'inférence MAMDANI [36]

❖ Système d'inférence takagi-sugeno

Ce système d'inférence floue a été proposé par Takagi, Sugeno et Kang pour développer une approche systématique permettant de générer des règles floues à partir d'un ensemble de données d'entrée-sortie donné [34]. C'est un cas particulier important utilisé surtout dans le cas où la sortie est valeur réelle.

L'inférence Takaji procède selon trois étapes :

1. Evaluer les règles (Calcul de la valeur de vérité de chaque règle)
2. Déterminer la règle active
3. Déterminer le facteur de certitude de la règle (Calcul de la sortie du SIF)

• La défuzzification

La dernière étape pour avoir un système flou opérationnel s'appelle la défuzzification. Lors de la seconde étape, on a généré un tas de commandes sous la forme de variables linguistiques (une commande par règle). Le but de la défuzzification est de fusionner ces commandes et de transformer les paramètres résultants en donnée numérique, par quelque méthode existente,

comme l'appartenance maximale, la méthode du centroïde, et la méthode des moyennes pondérées [33].

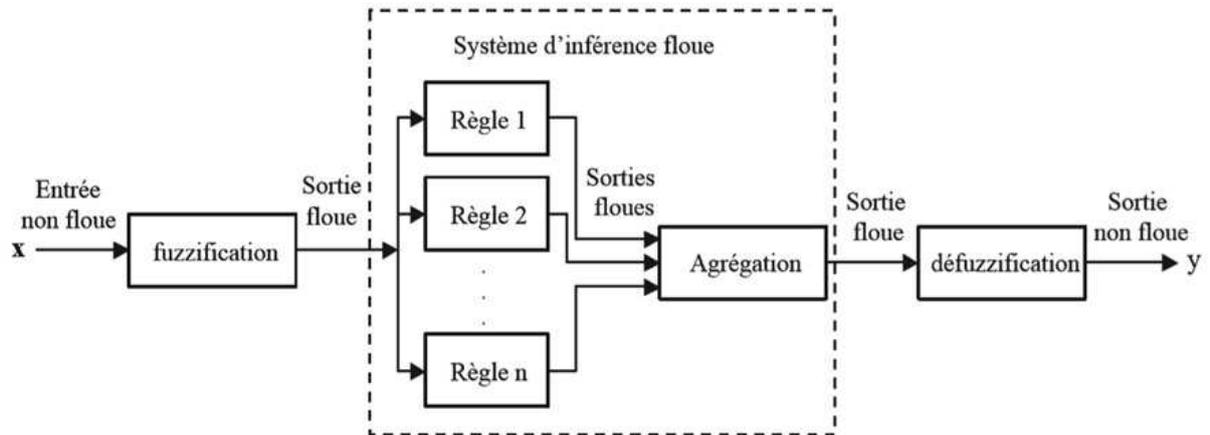


Figure III.10 : Système d'inférence floue [24]

III.4. Conclusion

Ce chapitre a pour objectif de présenter les notions fondamentales et les principes de base de la logique floue.

Dans cette présentation nous sommes limités aux points indispensables à la compréhension du principe de mécanisme floue que nous utilisons dans notre application.

Chapitre IV

Résultats Et Interprétations

IV.1. Introduction

Le but de notre projet est de créer un outil de diagnostic automatique de la dépression, ceux-ci fournissent aux psychologues un moyen numérique de Assurer efficacement le bon déroulement de l'entretien par le raisonnement Les appareils intelligents permettent une évaluation directe de l'état tout en fournissant aux patients Un environnement qui s'adapte à son quotidien et ne perd pas de temps à passer le test Manuel.

Dans ce chapitre, nous allons réaliser des classifieurs par RNA, aussi on vas utiliser la logique floue pour trouver la gravité de chaque cas.

IV.2. Présentation de l'outil de programmation Matlab

MATLAB est un logiciel commercial de calcul interactif. Il permet de réaliser des simulations numériques basées sur des algorithmes d'analyse numérique. Il peut donc être utilise pour la résolution approchée d'équations différentielles, d'équations aux dérivées partielles ou de systèmes linéaires [38], Matlab est une appellation composé de deux parties : **Mat** qui signifie matrix et **lab** qui signifie laboratory en anglais.

Ce laboratoire matriciel propose une famille de solutions spécifiques aux applications appelées boîtes à outils (toolboxes), ces derniers sont la première chose à connaître pour les utilisateurs de cet environnement [39].

Dans notre programme, nous avons utilisé un toolboxes qui est celui des réseaux Neuronaux et la logique floue puis on a utilisé un code matlab pour améliorer notre résultat.

IV.3. Mécanisme et méthodologie de la collecte de la base de données

IV.3.1.Choix des tests psychologiques

Après la consultation des psychologues, et des recherche bibliographique notre choix est tombé sur deux tests distincts incluent :

- Le test de **Beck**
- Le test de **La Résilience**

Les deux échelles de la dépression employées sont des tests validé et utilisé par les spécialiste du domaine afin d'évaluer la dépression chez le patient.

❖ Le Test de Beck

Il s'agit d'une échelle d'auto-évaluation, est une mesure destinée à permettre aux généralistes et aux chercheurs d'effectuer une évaluation rapide et de déterminer le seuil de gravité de la dépression

❖ Mode de passation /Cotation

il est demandé au sujet de remplir le questionnaire en entourant le numéro qui correspond à la proposition choisie, il peut entourer dans une série plusieurs numéros si plusieurs propositions lui conviennent.

Il contient 13 items, chaque items est constitué de 4 phrases correspondant à 4 degré d'intensité croissante d'un symptôme : de 0 à 3. La note globale obtenue en additionnant les score de 13 items.

L'étendue de l'échelle va de 0 à 39, plus la note est élevée plus le sujet est déprimé.

Pour cette échelle, les différents seuils de gravité retenus sont les suivants :

- 0-4 : Absence de dépression
- 5-7 : Dépression légère
- 8-15 : Dépression modérée
- 16 et plus : Dépression sévère

❖ Test de la résilience

Ce test a pour but de tester l'acceptation, Attitude intérieure positive, Efficacité personnelle, Compétence sociale Prendre ses responsabilités, Recherche de solutions, Capacité de se projeter dans l'avenir.

❖ Cotation

Ce test est constitué de 28 questions à chaque question cinq assertions de 1 à 5, on obtenir le résultat en additionnons les points pour chaque assertion.

- Entre 28 et 55 points : absence de capacité de résilience
- Entre 56 et 83 points : faible de capacité de résilience
- Entre 84 et 111 points : excellente de capacité de résilience
- Entre 112 et 140 points : capacité de résilience très élevée

IV.3.2. Préparation de la base de données

La base de données utilisée a été obtenue l'aide de nombreux psychologues de la wilaya de Ain-Temouchent qui ont effectuait des tests et nous avons préparé des formulaires électroniques pour garantir une bonne organisation des données.

Grace à ce lien et au psychologue nous avons obtenu 123 réponses

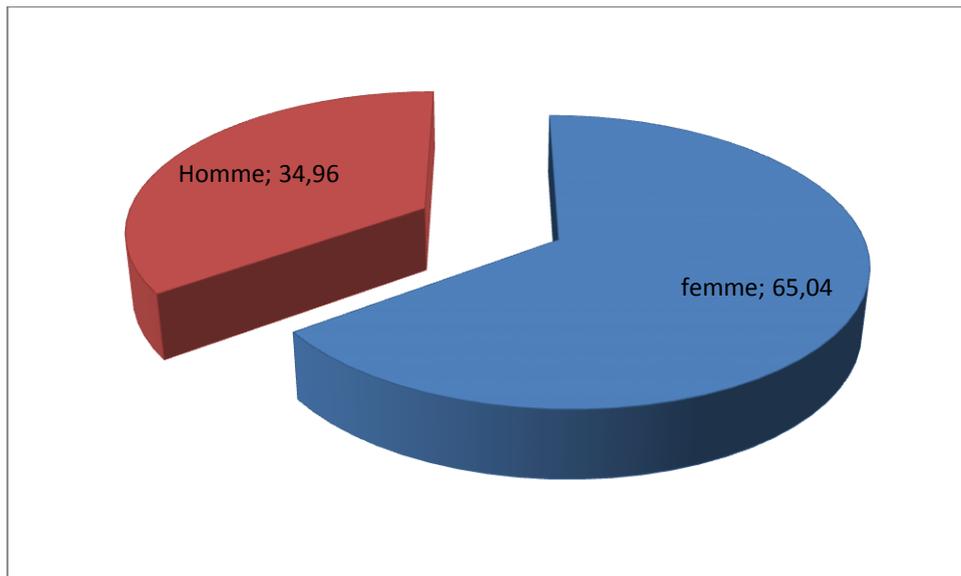


Figure IV.1 : représentation graphique de l'échantillon étudié

IV.4. Travail Réalisé

Le but de ce travail est d'automatiser les tests ci-dessus avec des systèmes intelligents, et nous avons sélectionné deux systèmes trop robustes en classification intelligente :

- Les réseaux neurones artificiels (RNA)
- Les systèmes d'interférences floues (SIF)

IV.4.1. Automatisation de diagnostic par réseaux de neurones artificiels

Dans cette partie de notre travail, nous essayons d'automatiser les deux tests mentionnés précédemment par le diagnostic final, qui comprend deux tests dans le but de documenter l'expertise humaine en systèmes intelligents

IV.4.1.1. Automatisation de Beck par RNA

L'objectif de cette phase est d'introduire la base de données qui contient la séquence des réponses sur les questions de **Beck** et le résultat correspondant dans un réseau de neurones artificiels, nous appliquons le modèle d'un perceptron multicouche.

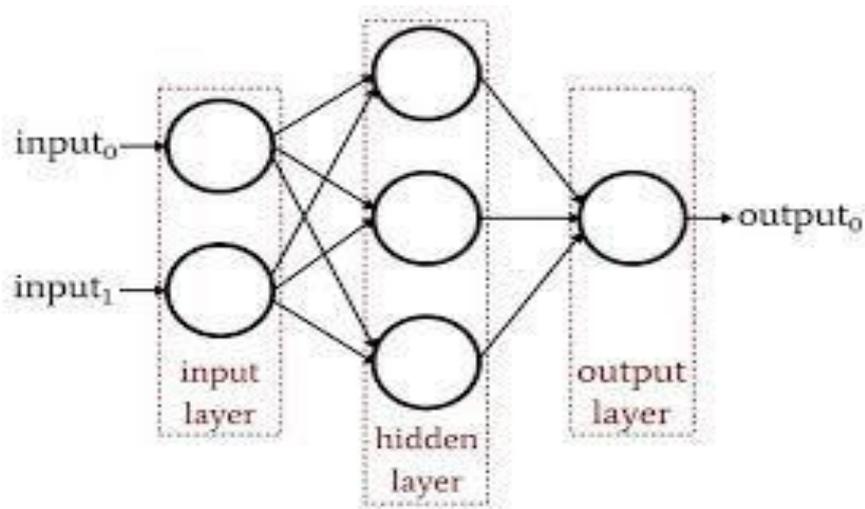


Figure IV.2 : perceptron multicouche [15]

Pour la phase d'apprentissage nous utilisons un apprentissage classique en appliquant la règle de la rétro-propagation par l'algorithme de la descente de gradient.

❖ Structure du classifieur

La structure neuronale est déterminée par le nombre de neurones de la couche d'entrée, et celui de la couche cachée.

- **Couche d'entrée** : la première couche du perceptron utilisé, contient 13 entrées qui correspondent aux 13 questions de test de **Beck**, Le psychologue va introduire ses repenses, ces derniers vont être représentés par leurs chiffres selon le barème précisé
- **Couche cachée** : le nombre de neurones cachés est fixé d'une manière ad-hoc .La fonctions d'activation utilisée est de type sigmoïde.

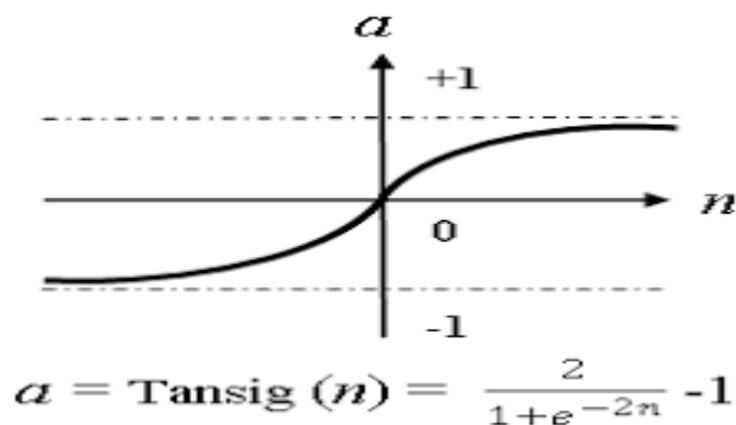


Figure IV.3 : Représentation de la fonction TANGENTE-SIGMOÏDE [15]

- **Couche de sortie** : contient un seul neurone qui correspond au résultat du diagnostic

La fonction d'activation utilisée de type Purelin

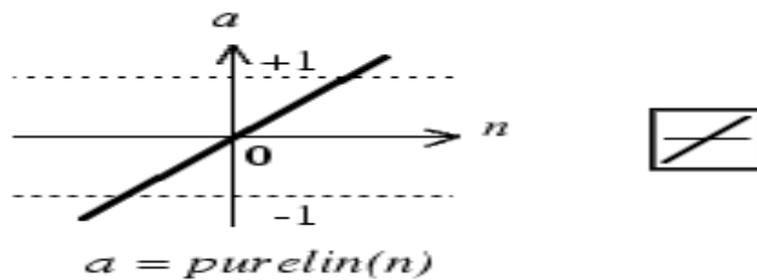


Figure IV.4 : Représentation de la fonction PURELIN [15]

❖ Le principe de classification

0 : absence de dépression

1 : dépression légère

2 : dépression modérée

3 : dépression sévère

Avant d'exécuter notre programme nous avons fixé le nombre d'itération à 1000, le dernier paramètre est important : s'il est trop grand, vous risquez le réseau Mettre en œuvre le sur-apprentissage, sinon s'il est trop petit, l'apprentissage ne sera pas mener à l'achèvement. Les poids synaptiques initiaux sont choisis au hasard. Le seuil d'erreur global est choisi de manière aléatoire.

Notre objectif est d'avoir un bon apprentissage avec un taux de classification élevé

❖ Résultats Et Discussion

Pour pouvoir tester les prédictions de notre modèle, nous avons devisé la base en deux :

- Base d'apprentissage : 100 cas
- Base de Test : 23 cas

Le tableau suivant présente les performances des meilleurs classifieurs obtenues à chaque changement du nombre de neurones de la couche cachée et le taux d'erreur.

Classifieur	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSB1	1	1e-3	21	2	91.30
CLSB2	3	1e-5	17	6	73.91
CLSB3	9	1e-10	18	5	78.26

Tableau IV.1 : les performances des classifieurs de Beck

NCC : nombre de neurones cachés.

Er : le taux d'erreur.

CCC : le nombre des cas classifiés correctement.

CCF : le nombre des cas classifiés incorrecte faux.

CCI : le taux de classification correcte.

CLSB : classifieur Beck

Les meilleures performances obtenues se sont celles du classifieur«CLSB1» qui représente un bon taux de classification 91.30%

IV.4.1.2. Automatisation de La Résilience par RNA

Le but de cette phase est de déterminer la résilience et l'adaptabilité de notre sujet, et d'automatiser ce test avec RNA.

❖ Structure du classifieur

La structure neuronale est déterminée par le nombre de neurones de la couche d'entrée, et celui de la couche cachée.

- **Couche d'entrée** : la première couche du perceptron utilisé, contient 28 entrées qui correspondent aux 28assertions de test de la **Résilience**.
- **Couche cachée** : le nombre de neurones cachés est fixé d'une manière ad-hoc .La fonctions d'activation utilisées est de type sigmoïde.
- **Couche de sortie** : contient un seul neurone qui correspond au résultat du diagnostic, la fonction d'activation utilisée est de type Purelin

0 : Absence de la Résilience

1 : Faible Capacité de Résilience

2 : Excellente capacité de Résilience

3 : capacité de résilience est très élevée

❖ Résultats et Discussions

Pour pouvoir tester les prédictions de notre modèle, nous avons divisé la base en deux :

❖ Base d'apprentissage : 77 cas

❖ Base de Test : 24 cas

Le tableau suivant représente les performances des meilleurs classifieurs obtenus à chaque changement du nombre de neurones de la couche cachée et le taux d'erreur.

Classifieur	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSR1	12	1e-19	16	3	84.21
CLSR2	10	1e-12	18	6	75
CLSR3	13	1e-12	21	3	87.50

Tableau IV.2 : les performances des classifieurs de Résilience

CLSR : classifieur Résilience

Les meilleures performances obtenues se sont celles du classifieur «CLSR3» qui représente un bon taux de classification 87.50%

IV.4.1.3. Automatisation Globale Par RNA

Cette partie consiste à créer un classifieur qui combine les deux tests précédents. La réalisation de cette étape nécessite l'intervention d'un psychologue pour obtenir diagnostic général. Le classificateur qui en résulte repose essentiellement sur l'expertise de psychologues. Le but de cette réalisation est de permettre de documenter l'expertise Psychologues en systèmes intelligents.

❖ Structure du classifieur

- **Couche d'entrée :** la première couche du perceptron utilisé, contient 2 entrées, la première entrée correspondent aux réponses du questionnaire **Beck** et la deuxième à la réponse du questionnaire **Résilience**.
- **Couche cachée :** le nombre de neurones cachés est fixé d'une manière ad-hoc .La fonctions d'activation utilisée est de type sigmoïde.

- **Couche de sortie** : contient un seul neurone qui correspond au résultat du diagnostic général. la fonction d'activation utilisée est de type Purelin

0 : Pas dépression

1 : Risque de dépression

2 : Dépression légère

3 : Dépression grave

4 : Dépression très grave

❖ **Résultats et Discussions**

Pour pouvoir tester les prédictions de notre modèle, nous avons divisé la base en deux :

❖ Base d'apprentissage : 35 cas

❖ Base de Test : 15 cas

Le tableau suivant représente les performances des meilleurs classifieurs obtenus à chaque changement du nombre de neurones de la couche cachée et le taux d'erreur.

Classifieur	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSG1	2	1e-3	15	0	100
CLSG2	5	1e-3	13	2	86.66

Tableau IV.3 : les performances des classifieurs de Diagnostic globale

CLSG : classifieur Globale

Les meilleures performances obtenues se sont celles du classifieur «CLSG1» qui représente un taux de classification 100%

IV.4.1.4. Classification d'un image IRM Par RNA

L'objectif de cette phase est classifier l'IRM d'un sujet état normal et un autre état déprime par un réseau de neurones artificiels, nous appliquons le modèle d'un perceptron multicouche

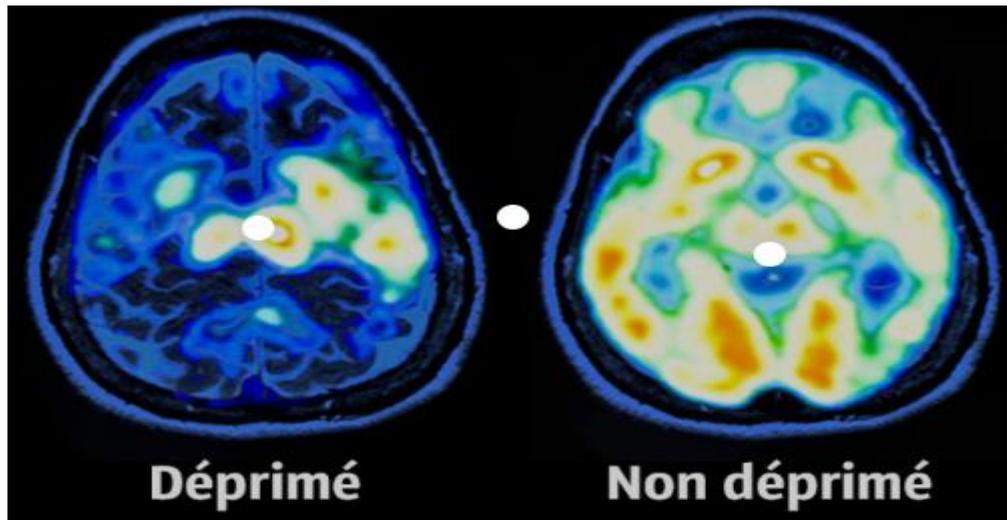


Figure IV.5 : IRM d'un sujet Normal et autre Déprimé [40]

❖ Structure du classifieur

La structure neuronale est déterminée par le nombre de neurones de la couche d'entrée, et celui de la couche cachée.

- **Couche d'entrée** : la première couche du perceptron utilisé, contient 4 entrées qui correspondent aux 4 variables (la somme, le médian, la variance, la moyenne) d'une image.
- **Couche cachée** : le nombre de neurones cachés est fixé d'une manière ad-hoc .La fonctions d'activation utilisées est de type sigmoïde
- **Couche de sortie** : contient un seul neurone qui correspond au résultat du diagnostic.

La fonction d'activation utilisée est de type Purelin

0 : sujet normal

1 : sujet déprimé

❖ Résultats et Discussions

Pour pouvoir tester les prédictions de notre modèle, nous avons divisé la base en deux :

❖ Base d'apprentissage : 18 cas

❖ Base de Test : 10 cas

Le tableau suivant représente les performances des meilleurs classifieurs obtenus à chaque changement du nombre de neurones de la couche cachée et le taux d'erreur.

Classifieur	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSI1	1	1e-2	8	2	80
CLSI2	5	1e-5	9	1	90

Tableau IV.4 : les performances des classifieurs de IRM

CLSI : Classifieur IRM

Les meilleures performances obtenues se sont celles du classifieur «CLSI2» qui représente un bon taux de classification 90%

IV.4.2. Automatisation de diagnostic par les systèmes d’interférence floue (SIF)

Dans cette partie du travail, nous utilisons une technique de renseignement bien connue La « logique floue » artificielle, technique qui a connu un grand succès littéraire car elle a la capacité d'automatiser et de simuler le comportement humain.

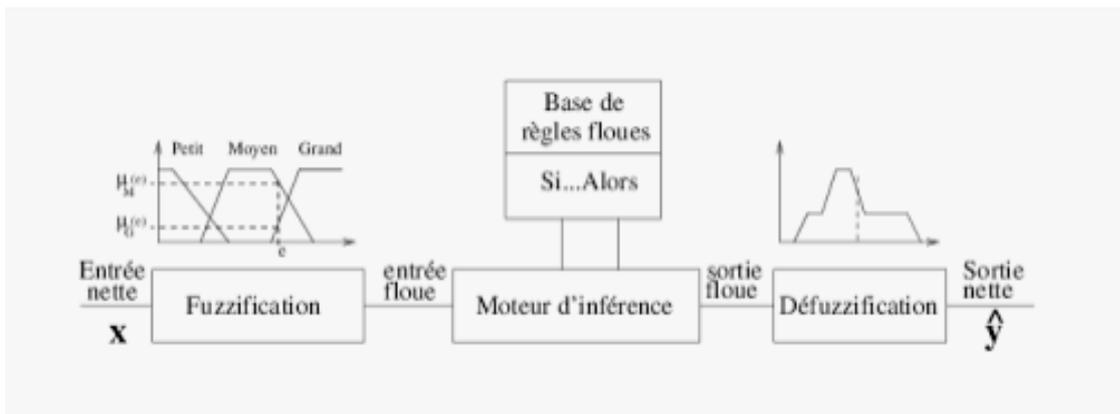


Figure IV.6 : fonctionnements d’un système flou (SIF) [41]

Objectif de l'automatisation de la dépression à l'aide du système d'interférence floue (SIF), afin d’avoir un classifieur robuste avec une différence de degré de gravité pour les personnes classées dans la même classe.

Dans notre travail nous avons appliqué un système d’inférence flou (SIF) du type Mamdani pour l’automatisation du diagnostic de la dépression

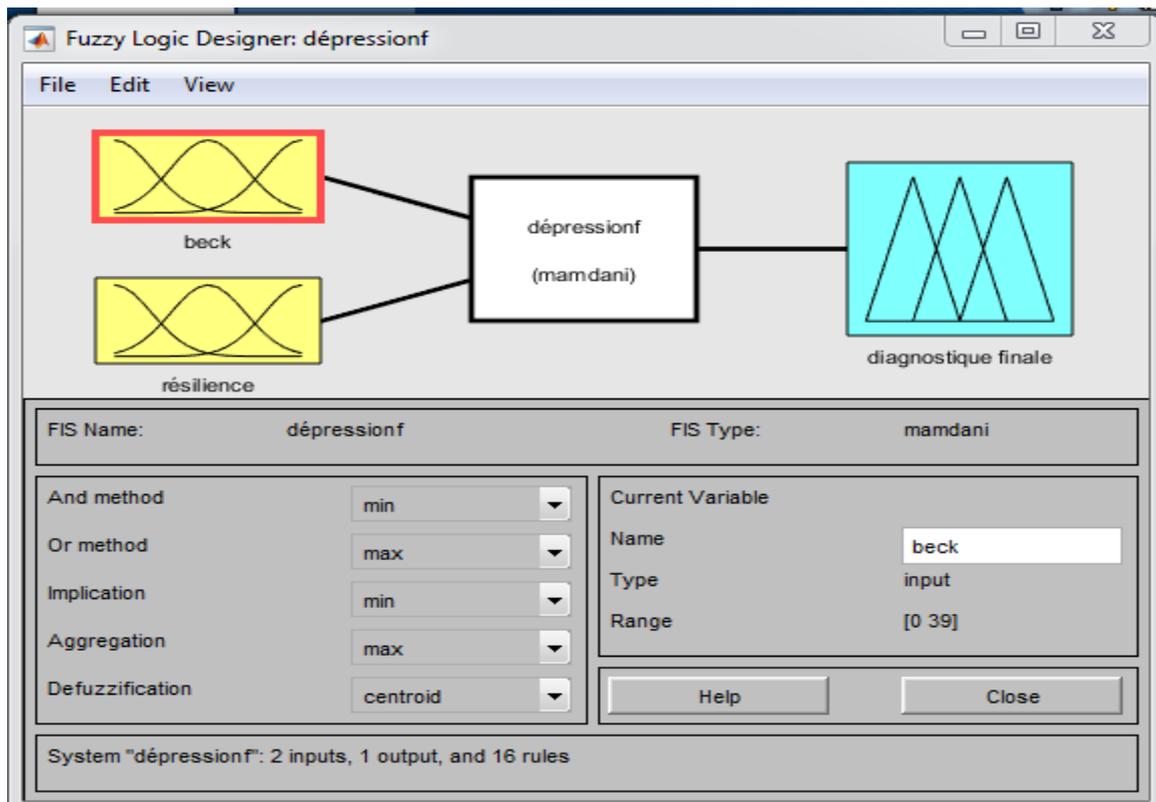


Figure IV.7 : Système d'inférence flou utilisé (SIF)

❖ Représentation des variables de sortie et d'entrée

Le choix des fonctions d'appartenance pour chaque entrée et sortie est déterminé après la discussion avec les experts (psychologues).

Variables d'entrée		
Le nom de la fonction	Variables de la fonction	Type de fonction
Beck	Pas dépression	Trapéze
	Dépression légère	Triangulaire
	Dépression modérée	Triangulaire
	Dépression sévère	Trapéze
Résilience	Absence de la résilience	Trapéze
	Faible capacité de la résilience	Triangulaire
	Excellente capacité de la résilience	Triangulaire
	Capacité de résilience très élevée	Trapéze
Variable de sortie		
Diagnostic Finale	Pas de dépression	Triangulaire
	Risque de dépression	Triangulaire
	Dépression légère	Triangulaire
	Dépression grave	Triangulaire
	Dépression très grave	Triangulaire

Tableau IV.5 : Représentation des variables de sortie et d'entrée

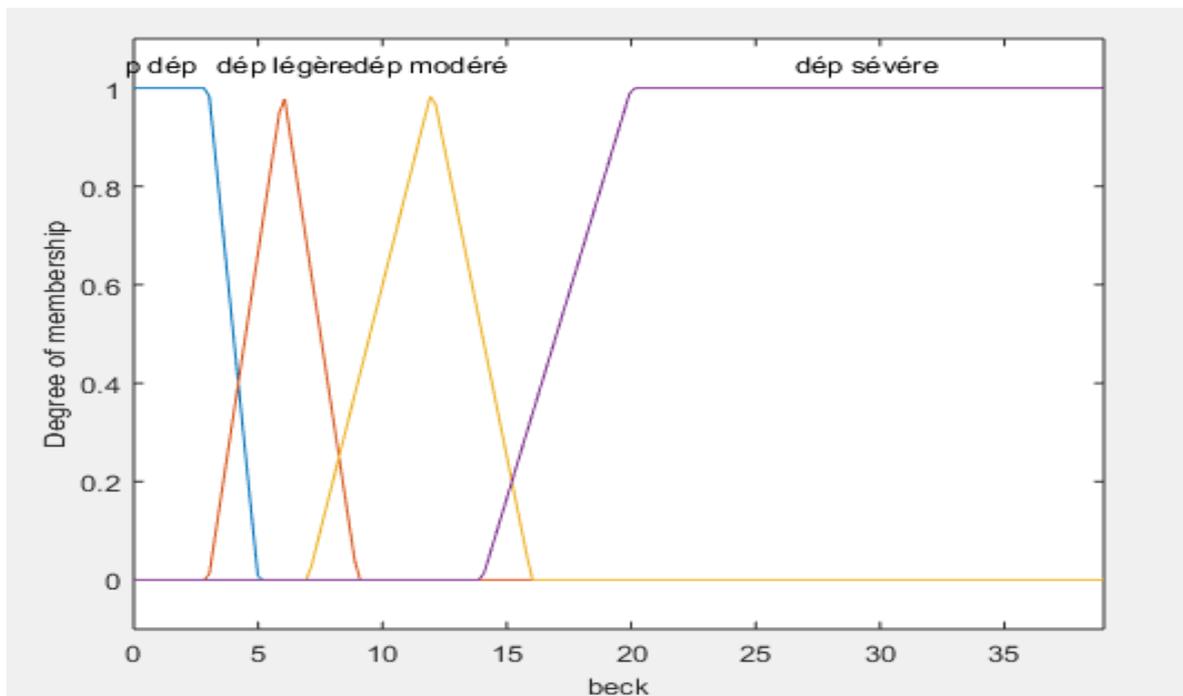


Figure IV.8 : fonction d'appartenance input 1 (test de Beck)

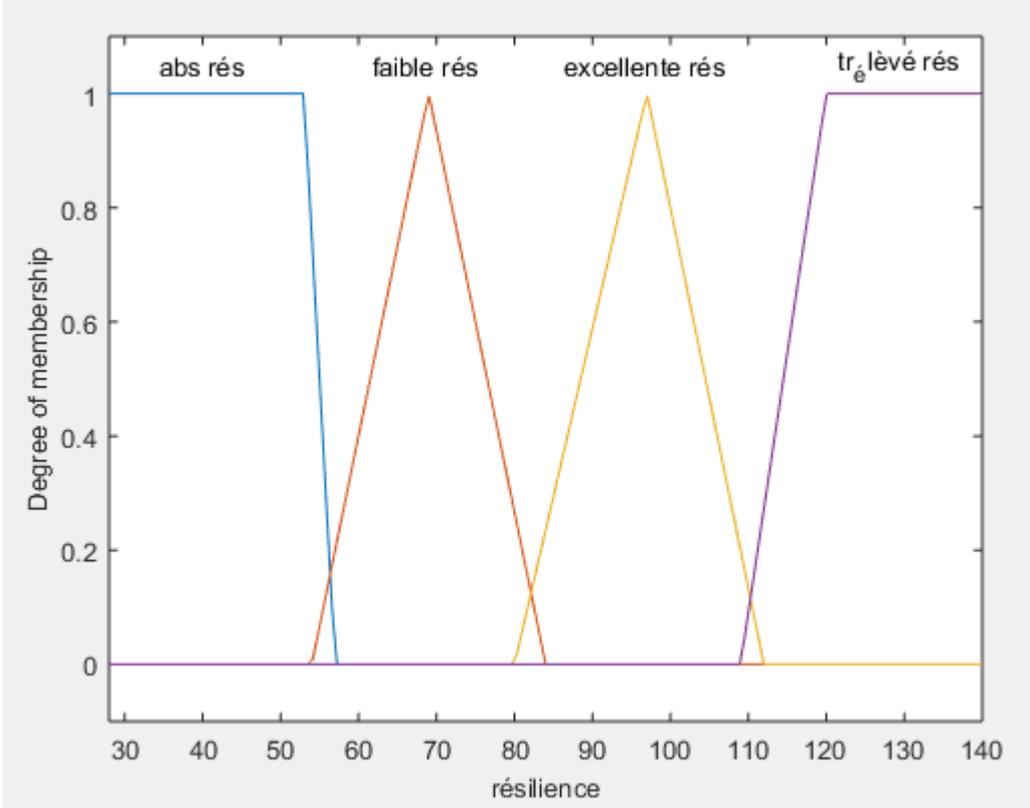


Figure IV.9 : fonction d'appartenance input 2 (test de Résilience)

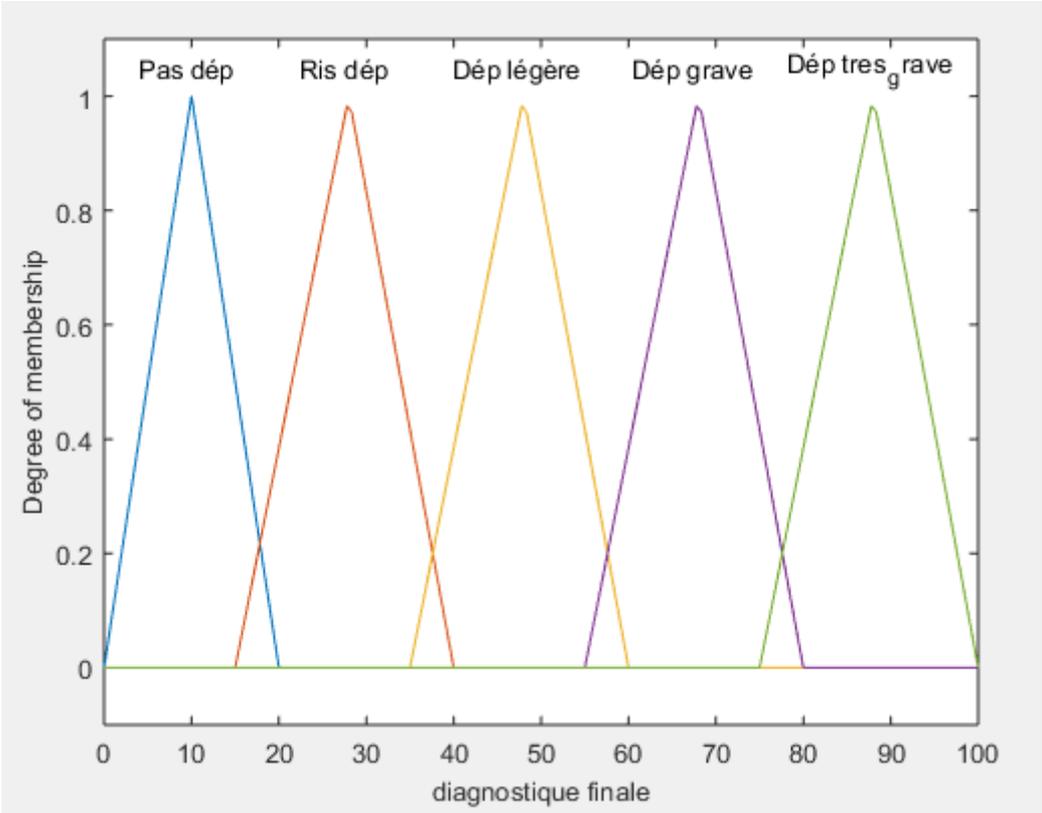


Figure IV.10 : fonction d'appartenance output

❖ Evaluation des règles

Les règles de décision donnée par les psychologues (expert) sont :

1. Si (beck est pas dépression) Et (résilience est excellente capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est pas dépression)
2. Si (beck est pas dépression) Et (résilience est absence de résilience) Alors (diagnostique finale est risque de dépression)
3. Si (beck est pas dépression) Et (résilience est faible capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est risque de dépression)
4. Si (beck est dépression légère) Et (résilience est excellente capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression légère)
5. Si (beck est dépression légère) Et (résilience est capacité très élevée de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression légère)
6. Si (beck est dépression légère) Et (résilience est faible capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression légère)
7. Si (beck est dépression modéré) Et (résilience est excellente capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression grave)
8. Si (beck est dépression sévère) Et (résilience est capacité très élevée de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression grave)
9. Si (beck est dépression modéré) Et (résilience est capacité très élevée de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression grave)
10. Si (beck est dépression sévère) Et (résilience est excellente capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression grave)
11. Si (beck est dépression sévère) Et (résilience est absence de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression très grave)
12. Si (beck est dépression sévère) Et (résilience est faible capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression très grave)
13. Si (beck est dépression modéré) Et (résilience est absence de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression très grave)
14. Si (beck est dépression modéré) Et (résilience est faible capacité de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression très grave)
15. Si (beck est dépression légère) Et (résilience est absence de résilience) Alors (diagnostique finale est dépression très grave)

16. Si (beck est pas dépression) Et (résilience est capacité très élevée de résilience) Alors (diagnostique finale est pas dépression)

1. If (beck is pas dépression) and (résilience is excellente capacité de résilience) then (diagnostique finale is Pas de dépression) (1)
2. If (beck is pas dépression) and (résilience is absence de résilience) then (diagnostique finale is Risque de dépression) (1)
3. If (beck is pas dépression) and (résilience is faible capacité de résilience) then (diagnostique finale is Risque de dépression) (1)
4. If (beck is dépression légère) and (résilience is excellente capacité de résilience) then (diagnostique finale is Dépression légère) (1)
5. If (beck is dépression légère) and (résilience is capacité très élevé de résilience) then (diagnostique finale is Dépression légère) (1)
6. If (beck is dépression légère) and (résilience is faible capacité de résilience) then (diagnostique finale is Dépression légère) (1)
7. If (beck is dépression modéré) and (résilience is excellente capacité de résilience) then (diagnostique finale is Dépression grave) (1)
8. If (beck is dépression sévère) and (résilience is capacité très élevé de résilience) then (diagnostique finale is Dépression grave) (1)
9. If (beck is dépression modéré) and (résilience is capacité très élevé de résilience) then (diagnostique finale is Dépression grave) (1)
10. If (beck is dépression sévère) and (résilience is excellente capacité de résilience) then (diagnostique finale is Dépression grave) (1)
11. If (beck is dépression sévère) and (résilience is absence de résilience) then (diagnostique finale is Dépression_tres_grave) (1)
12. If (beck is dépression sévère) and (résilience is faible capacité de résilience) then (diagnostique finale is Dépression_tres_grave) (1)
13. If (beck is dépression modéré) and (résilience is absence de résilience) then (diagnostique finale is Dépression_tres_grave) (1)
14. If (beck is dépression modéré) and (résilience is faible capacité de résilience) then (diagnostique finale is Dépression_tres_grave) (1)
15. If (beck is dépression légère) and (résilience is absence de résilience) then (diagnostique finale is Dépression_tres_grave) (1)
16. If (beck is pas dépression) and (résilience is capacité très élevé de résilience) then (diagnostique finale is Pas de dépression) (1)

Figure IV.11 : Les règles de décision

❖ L'inférence

Système d'Inférence Floue (SIF) a pour but de transformer les données d'entrée en données de sortie à partir de l'évaluation d'un ensemble des règles. Les entrées sont issues du processus de fuzzification et l'ensemble de règles normalement sont définies par l'expert pour notre cas (psychologue).

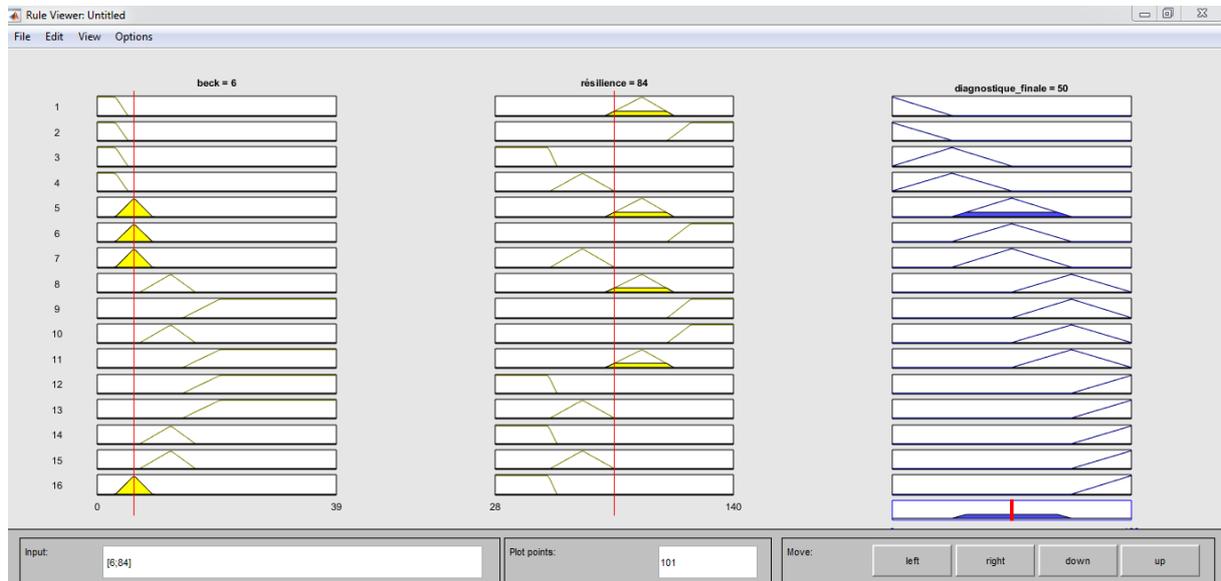


Figure IV.12 : interférence de notre system (agrégation des règles)

❖ Déffuzification

La défuzzification est le processus de conversion des degrés d'appartenance des variables linguistique de sortie à leurs termes linguistiques en valeurs numériques. Dans notre cas, le rôle La défuzzification consiste à trouver le diagnostic et la gravité d'un patient sur une échelle de [1 100]

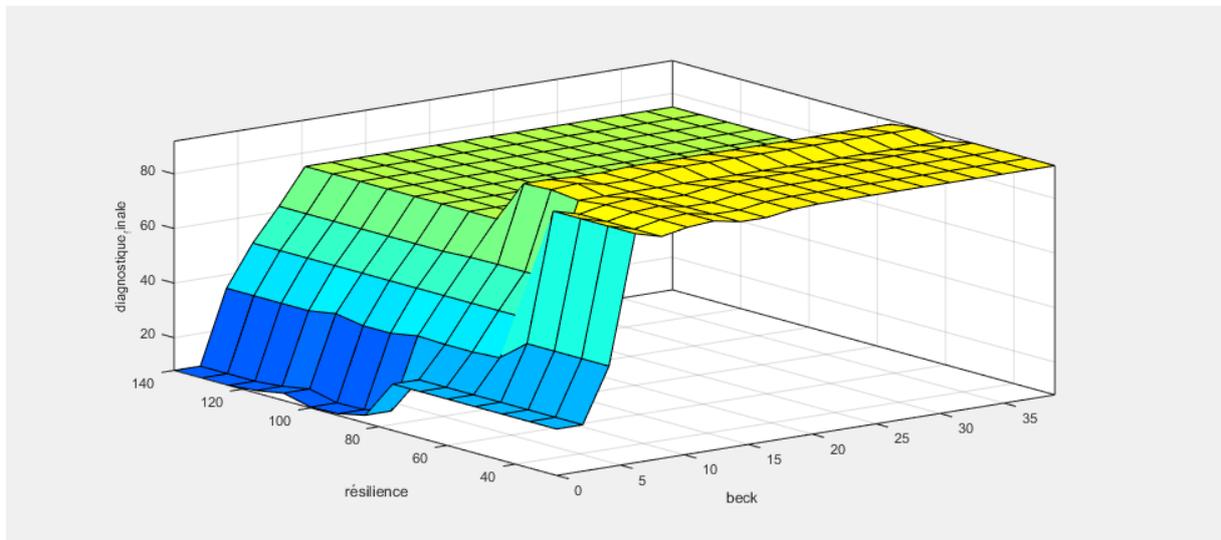


Figure IV.13 : surface des outputs en fonction des inputs de notre système après
Défuzzification

Le tableau suivant présente la sortie de notre SIF (après défuzzification), pour tous les cas traités dans cette partie de travail.

Patient	Classe	Diagnostic	Déffuzzification
1	1	Pas de dépression	87.6667
2	4	Dépression grave	67.6425
3	4	Dépression grave	67.5840
4	4	Dépression grave	67.6667
5	2	Risque de dépression	78.1589
6	1	Pas de dépression	10.0000
7	3	Dépression légère	47.6420
8	3	Dépression légère	47.6420
9	3	Dépression légère	47.6149
10	5	Dépression très grave	87.6420
11	5	Dépression très grave	67.6011
12	1	Pas de dépression	10.0000
13	5	Dépression très grave	87.5679
14	5	Dépression très grave	87.6420

15	5	Dépression très grave	87.6549
16	4	Dépression grave	67.5238
17	4	Dépression grave	67.6667
18	5	Dépression très grave	87.6607
19	5	Dépression très grave	87.6519
20	2	Risque de dépression	27.5988
21	5	Dépression très grave	87.6126
22	5	Dépression très grave	63.2706
23	1	Pas de dépression	28.0595
24	5	Dépression très grave	87.5878
25	4	Dépression grave	67.6131
26	1	Pas dépression	28.0595
27	3	Dépression légère	47.5878
28	1	Pas de dépression	28.0595
29	5	Dépression très grave	87.6174
30	5	Dépression très grave	87.5878
32	5	Dépression très grave	87.6420
33	5	Dépression très grave	67.6667
34	4	Dépression grave	67.6284
35	4	Dépression grave	87.6549
36	5	Dépression très grave	87.6284
37	5	Dépression très grave	87.6667
38	5	Dépression très grave	87.6649
39	5	Dépression très grave	87.6649
40	5	Dépression très grave	87.5465
41	5	Dépression très grave	67.6667
42	4	Dépression grave	87.6549
43	5	Dépression très grave	82.9617
44	5	Dépression très grave	87.5716
45	5	Dépression très grave	87.6484
46	5	Dépression très grave	78.1589
47	5	Dépression très grave	87.6596
48	5	Dépression très grave	87.6174
49	5	Dépression très grave	87.6284
50	4	Dépression grave	67.6363

Tableau IV.6 : la sortie du SIF pour tous les cas traités dans notre étude

IV.4.3. Réalisation des interfaces

Pour bien organisé notre travail nous avons réalisé des interfaces graphiques sur matlab

- ❖ **Interface Mot de passe** : permet l'utilisateur à accéder à la l'interface des menus



Figure IV.14 : Interface mot de passe

- ❖ **L'interface des menus** : cette interface dans lequel est présentée une liste de commandes

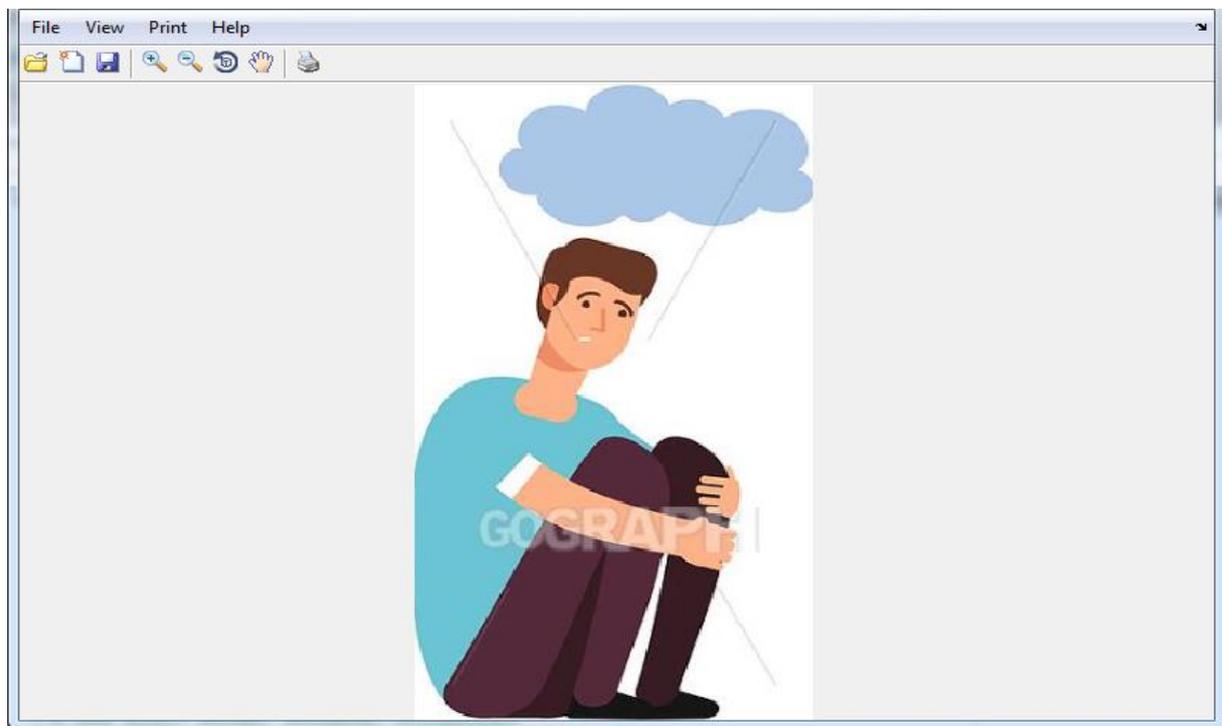


Figure IV.15 : Interface menu

❖ L’interface de test Beck :

Inventaire De Beck

Nom Prenom Age Sexe

A
 0/Je ne me sens pas triste
 1/Je me sens cafardeux ou triste.
 2/Je me sens tout le temps cafardeux ou triste, et je n'arrive pas à en sortir
 3/Je suis si triste et si malheureux, que je ne peux pas le supporter.

B
 0/Je ne suis pas particulièrement découragé, ni pessimiste au sujet de l'avenir
 1/J'ai un sentiment de découragement au sujet de l'avenir
 2/Pour mon avenir, je n'ai aucun motif d'espérer
 3/Je sens qu'il n'y a aucun espoir pour mon avenir, et que la situation ne peut pas...

C
 0/Je n'ai aucun sentiment d'échec de ma vie.
 1/J'ai l'impression que j'ai échoué dans ma vie plus que la plupart des gens.
 2/Quand je regarde ma vie passée, tout ce que j'y découvre n'est qu'échecs.
 3/J'ai un sentiment d'échec dans toute ma vie personnelle

D
 0/Je ne me sens pas particulièrement insatisfait.
 1/Je ne sais pas profiter agréablement des circonstances.
 2/Je ne tire plus aucune satisfaction de quoi que ce soit.
 3/Je suis mécontent de tout.

E
 0/Je ne me sens pas coupable.
 1/Je me sens mauvais ou indigne une bonne partie du temps.
 2/Je me sens coupable.
 3/Je me juge très mauvais, et j'ai l'impression que je ne vauds rien.

F
 0/Je ne suis pas déçu par moi-même
 1/Je suis déçu par moi-même
 2/Je me dégoûte moi-même
 3/Je me hais

G
 0/Je ne pense pas à me faire du mal.
 1/Je pense que la mort me libérerait.
 2/J'ai des plans précis pour me suicider.
 3/Si je le pouvais, je me tuerais.

H
 0/Je n'ai pas perdu l'intérêt pour les autres gens.
 1/Maintenant je m'intéresse moins aux autres gens qu'autrefois.
 2/J'ai perdu tout l'intérêt que je portais aux gens et j'ai peu de sentiments p...
 3/J'ai perdu tout l'intérêt pour les autres et ils m'indiffèrent totalement.

I
 0/Je suis capable de me décider aussi facilement que de c...
 1/J'essaie de ne pas avoir à prendre de décision.
 2/J'ai de grandes difficultés à prendre des décisions.
 3/Je ne suis plus capable de prendre la moindre décision.

J
 0/Je n'ai pas le sentiment d'être plus laid qu'avant.
 1/J'ai peur de paraître vieux ou disgracieux.
 2/J'ai l'impression qu'il y a un changement permanent da...
 3/J'ai l'impression d'être laid et repoussant

K
 0/Je travaille aussi facilement qu'auparavant.
 1/Il me faut faire un effort supplémentaire pour commencer ...
 2/Il faut que je fasse un très grand effort pour faire quoi que c...
 3/Je suis incapable de faire le moindre travail

L
 0/Je ne suis pas plus fatigué que d'habitude
 1/Je suis fatigué plus facilement que d'habitude
 2/Faire quoi que ce soit me fatigue.
 3/Je suis incapable de faire le moindre travail.

Figure IV.16 : Interface test Beck

❖ L’interface Diagnostic : cette interface permet utilisateur à voir son diagnostic facilement

Diagnostic

Nom Age

Prenom Sexe

Type De La Depression

Résilience

Figure IV.17 : Interface Diangnostic

IV.5. Interprétation des résultats

Les résultats montrent clairement que notre système a automatisé le diagnostic avec un taux de réussite de 100% plus un échèle sur l'état de gravité de patient.

IV.6. Conclusion

Nous avons réussi à atteindre des résultats vraiment très satisfaisants et prometteurs, 91.30 % pour le test Beck , 87.50 % pour le test Résilience,90% pour classification de l'IRM et 100 % pour le diagnostic globale.

Aussi le système d'inférence floue a réussi à classifier tous les cas traités plus un degré de gravité pour les patient classés dans la même classe.

Conclusion Générale

Ce mémoire est dédié de diagnostiquer la dépression par les techniques de l'intelligence artificielle

Ces techniques comportent les réseaux de neurones et la logique floue.

En effet, l'adaptabilité de la logique floue et l'apprentissage par des réseaux de neurones sont combinées afin d'obtenir un diagnostic globale qui représente un outil intelligent puissant dans le domaine de la médecine.

Les travaux engagés dans notre problématique se répartirent en trois contributions

Dans la première contribution, nous avons automatisé deux tests de la dépression (Beck et Résilience) en réalisant des classifieurs par RNA, le classifieur de Beck a donné de très bons résultats avec un taux de classification correcte moyenne égale à 91.30%, pour le test Résilience les résultats atteint un taux égal à 87.50%.

Après nous avons automatisé le diagnostic global qui englobe les deux tests les résultats obtenus sont satisfaisants, nous avons atteint un taux égal à 100%.

Dans la deuxième contribution, nous avons fait une classification des images de IRM par RNA ou nous avons atteint un taux égal à 90%.

La troisième contribution, nous avons utilisé les systèmes d'interférences floue, pour avoir des degrés de gravité différents pour les personnes classées dans la même classe, le système a réussi d'obtenir un taux de réussite de 100% plus un échèle sur l'état de gravité de patient.

On peut conclure après ce travail, qui a été basé sur les techniques de l'IA

- L'apprentissage par RNA présente un outil performant et robuste
- La logique floue sert à résoudre des problèmes avec des variables linguistiques intelligemment

Les Références

- [1] Hélène ,Roubeix, « De la dépression au gout du bonheur »,Paris,2005
- [2] https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=depression_pm
- [3]SHIRLEY TRICKETT « COMMENT SE DÉBARRASSER DE L'ANXIETE EI DE LA DÉPRESSION » ,2013
- [4] Ivy Marie BLACKBURN, Jean COTTRAUX, Lionel Collet, Évelyne Mollard Ivan-Druon Note, et Philippe Manesse « Psychothérapie cognitive de la dépression »
- [5] <https://www.psychologies.com/Dico-Psycho/Culpabilite>
- [6] DSM-5 manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux
- [7] <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/9290-depression>
- [8] <https://strokengine.ca/fr/assessments/inventaire-de-depression-de-beck-idb-idb-ii/>
- [9] <https://youmatter.world/fr>
- [10] La Dépression Etat des connaissances et données disponibles pour le développement d'une politique de santé en Belgique Kristina Bayingana - Jean Tafforeau
- [11] <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/9290-depression>
- [12] <https://www.futura-sciences.com/tech>
- [13] Claude Touzet « Les réseaux de neurones artificiels ~ Introduction au connexionnisme » , 2016
- [14] benlakhhal imen « IMPLANTATION DES RESEAUX DE NEURONES SUR UN CIRCUIT RECONFIGURABLE DE TYPE FPGA » ,2017
- [15] Belghomari Kenza , Fayza Djabbour Rahmouna « L'automatisation du diagnostic du stress psychologique à l'aide d'un système intelligent » ,2020
- [16] chabi djaafar « Architecture de circuits nanoélectroniques neuro-inspirée » .these de doctorat de l'université paris sud ,2009
- [17] Corentin HARDY « Contribution au développement de l'apprentissage profond dans les systèmes distribués », these de doctorat de l'université DE RENNES 1 COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE,2019

Bibliographie

- [18] MOULESSEHOUL Malek, ZANE Hasna Amina, « AUTOMATISATION DE DIAGNOSTIC D'AUTISME CHEZ LES ENFANTS PAR UN SYSTEM INTELLIGENT »,2021
- [19] M.BENDIMERAD, « Amélioration des performances d'un classifieur neuronal application médicale », thèse de doctorat de l'université de tlemcen .
- [20] ADLA AHMED, BOUDISSA MOHAMED « «Détection automatique de trouble de fonctionnement de foie par un système neuro-génétique multi objectif » ,2017
- [21] MERZOUKA NOURESSADAT « Etude des performances des réseaux de neurones dynamiques à représenter des systèmes réels : une approche dans l'espace d'état » ,2009
- [22] Emmanuel Viennet. « Réseaux à fonctions de base radiales » ,2006
- [23] <https://www.becoz.org/these/memoirehtml/ch06s04.html>
- [24] harouche fateh , « application de la logique floue aux machines tournante »,UFESA
- [25] Ridha BOUALLEGUE1 , Abderrazek ABDAOUI1 , Ammar BOUALLEGU « Application de la logique floue aux techniques d'accès multiples par répartition des codes CDMA », septembre 1999
- [26] <https://boowiki.info/art/logique-mathematique-3/la-logique-floue.html>
- [27] m.sahraoui , these de doctorat en sciences, " controle robuste des systèmes non linéaires par les approches de l'intelligence artificielle ".
- [28] GODJEVAC Jelena « Idées nettes sur la logique floue. Presses polytechniques et universitaires Romandes. »
- [29] Samuel Ambapour. Théorie des ensembles flous : application à lamesure de la pauvreté au Congo. Congo 2009
- [30] Antoine Cornuéjols. Cours d'intelligence artificiel “ introduction à la logique floue”, Paris,2003
- [31] Bouchon.Christophe.Marsala, Bernadette, « logique flou principe et aide à la décision »
- [32] Matthieu Lescieux,introduction à la logique floue
- [33] <http://www.ferdinandpiette.com/blog/2011/08/les-systemes-flous-le-fonctionnement/>
- [34] <https://fr.acervolima.com/>
- [35] gabriel Gomier « cours electrothecnique »,université de Québec
- [36] journal of inttelligent and fuzzy systes. 2014
- [37] Big data with Keras, cha: a practical overview of propagation.

Bibliographie

[38] Marie Postel, Introduction au logiciel Matlab, septembre 2004

[39] <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/trainlm.html>

[40] <http://www.centredeladepression.org/la-depression-pathologie-cerebrale/>

[41] <https://www.fispro.org/documentation/fr/aide-enligne/node39.htm>

Test sur la résilience

Le test d'évaluation est composé à chaque question de quatre assertions affectées aux sept clés de la résilience. Répondez rapidement et intuitivement et précisez dans quelle mesure l'assertion s'applique à vous. Cochez alors la colonne correspondante.

pas du tout
pas vraiment
en partie correct
plutôt correct
tout à fait

1 2 3 4 5

- | | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1. Dans l'ensemble, je savoure la vie même si la vie quotidienne est parfois difficile à supporter. | <input type="radio"/> |
| 2. J'assume mes responsabilités pour ce que que je vis (ou ce que j'ai vécu) et je sais que mes expériences influencent mon comportement. | <input type="radio"/> |
| 3. Je sais toujours précisément ce que je veux et dans quelle direction je veux aller (et non savoir simplement ce que je ne veux pas). | <input type="radio"/> |
| 4. J'entretiens des contacts réguliers avec des amis et proches et je prends le temps de maintenir les relations importantes. | <input type="radio"/> |
| 5. J'oriente mes décisions et actions en fonction de la vision que j'ai de mon avenir. | <input type="radio"/> |
| 6. Je suis sensible même à des détails. | <input type="radio"/> |
| 7. Je tire les leçons des événements négatifs et j'essaie d'en obtenir un résultat positif. | <input type="radio"/> |
| 8. Je m'attends à ce que les situations difficiles évoluent au final positivement. | <input type="radio"/> |
| 9. J'identifie et je mets à profit les occasions favorables m'aidant à atteindre mes objectifs. | <input type="radio"/> |
| 10. J'ai au moins un bon ami ou une bonne amie auprès duquel ou de laquelle je peux me vraiment être moi-même et avec qui je peux partager mes joies et mes peines. | <input type="radio"/> |
| 11. Ce qui est passé est pour moi de l'histoire ancienne. Je ne suis pas nostalgique. | <input type="radio"/> |
| 12. Je me fie à ce que je décide, même si j'en appelle à mon intuition ou à mes sentiments profonds. | <input type="radio"/> |
| 13. Je demande facilement conseil et soutien si j'en éprouve le besoin. | <input type="radio"/> |
| 14. J'assume mes responsabilités pour mes échecs comme pour mes succès. | <input type="radio"/> |
| 15. Je considère qu'il y a toujours une solution à chaque problème. | <input type="radio"/> |
| 16. Je crois qu'au fond je peux réussir tout ce que j'entreprends. | <input type="radio"/> |
| 17. J'ai des modèles et/ou des mentors qui m'inspirent et qui guident mes actes. | <input type="radio"/> |
| 18. Je maîtrise ma personne et mes émotions et je n'ai pas besoin d'aide extérieure pour me libérer des sentiments négatifs. | <input type="radio"/> |
| 19. J'ai développé des stratégies de résolution de problèmes qui fonctionnent pour moi, et j'en suis conscient. | <input type="radio"/> |
| 20. Si j'échoue à l'occasion, j'essaie à nouveau et, si nécessaire, de manière différente. | <input type="radio"/> |
| 21. Je suis conscient que dans la vie, il faut prendre des risques pour avoir une chance de remporter le gros lot. | <input type="radio"/> |
| 22. J'ai une vision claire de ma vie. | <input type="radio"/> |
| 23. Je connais mes forces et faiblesses et j'assume mes besoins. | <input type="radio"/> |
| 24. Je ne cherche pas des coupables ou des erreurs, mais plutôt des solutions. | <input type="radio"/> |
| 25. Je ne perds pas mon temps en jérémiades sur ce qui ne peut être changé. | <input type="radio"/> |
| 26. Je garde mon sens de l'humour, même dans une situation critique. | <input type="radio"/> |
| 27. Je sais quelles valeurs et convictions restent valables pour moi même en temps de crise. | <input type="radio"/> |
| 28. Dans l'ensemble, je me considère comme une personne heureuse. | <input type="radio"/> |

