

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 Génie électrique



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

**AUTOMATISATION DE DIAGNOSTIC D'AUTISME
CHEZ LES ENFANTS PAR UN SYSTEM INTELLIGENT**

Présenté Par :

- 1) Mme : MOULESSEHOUL Malek
- 2) Melle : ZANE Hasna Amina

Devant le jury composé de :

Dr BENZINA.A	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Présidente
Dr BADIR.H	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Dr BENDIMERAD.M	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante
Melle TAIBI.N	psychologue	Tlemcen	Co-Encadrante

Année Universitaire 2020/2021

Dédicace (MALEK)

Je dédie ce modeste travail

A notre encadrant **Mme BENDIMERAD.M**,
Votre compétence, votre encadrement ont toujours suscité notre profond respect. Nous vous
Remercions pour votre accueil et vos conseils.

A **ma mère** Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as comblé avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estimé. Puisse le tout puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je puisse te combler à mon tour.

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, à l'âme de **mon père** qui a fait de moi ce que je suis.

A **mon cher mari ilies** Merci d'avoir donné un sens à ma vie. Merci pour ton amour, ton soutien et tes encouragements qui ont toujours été pour moi d'un grand réconfort. Merci pour ta gentillesse et ton sens du sacrifice. Je te dédie ce travail qui est aussi le tien, en implorant DIEU le tout puissant de nous accorder une longue vie de bonheur, de prospérité et de réussite, en te souhaitant le brillant avenir que tu mérites et de nous réunir dans l'au-delà inchaALLAH . Je t'aime tout simplement.

A **mes beaux parents** Vous êtes de seconds parents pour moi vous m'avez traité comme votre fille. Merci pour toute votre aide durant ce parcours. Puisse DIEU le tout puissant vous garder pour moi et pour vos enfants inchaALLAH.

A **ma chère sœur Nesrine et frères cheikh et Chaffie** pour leur dévouement, leur compréhension et leur grande tendresse, qui en plus de m'avoir encouragé tout le long de mes études, m'ont consacré beaucoup de temps et disponibilité, et qui par leur soutien, leurs conseils et leur amour, m'ont permis d'arriver jusqu'à ici car ils ont toujours cru en moi, Merci d'avoir toujours soutenu et merci pour tout les bons moments passé ensemble, et ce n'est pas fini.

A **ma belle sœur Sarah** tu es pour moi une sœur et une amie plus qu'une belle sœur ; nous avons partagé ensemble beaucoup de moments de joie et de frustration qu'on a pu surmonter ensemble.

A ma **chère nièce meriouma et mes neveux khadir et Amir** Que DIEU le tout puissant vous garde pour vos mamans. Je vous aime de tout mon cœur. J'espère que vous réaliserez tous vos rêves inchaALLAH.

A toute ma famille, et mes amis, A mon binôme **Hasna** .Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Dédicace (hasna)

Je dédie ce modeste travail

Particulièrement à mes chers parents,

*Nulle dédicace n'est susceptible de vous exprimer mes profondes affection
et mes immenses gratitudes pour tous les sacrifices que vous avez
consentis pour mes éducation et mes études*

Puisse dieu vous prêter bonne santé et longue vie.

*A mes adorables sœur : FATIMA, MAISSA, IKRAM, IMENE et ma sœurette
WISSEM qui n'ont pas cessé de me conseiller et encourager.*

*A mon petit frère MOHAMED qui sait toujours comment procurer la joie
et le bonheur pour toute la famille.*

A mon bébé d'amour mon neveu ANAS

Que dieu les protèges et leur offre la chance et le bonheur.

Je vous aime de tout mon cœur.

A toute ma famille

A tous mes amis que j'ai connus jusqu'à maintenant.

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

Remerciement

A l'issue du cycle de notre projet de fin d'étude nous tenons à remercier **dieu** le
tous puissant.

Nos remerciement les plus sincères vont à **Mme Bendimerad Mansouria** pour
l'encadrement, la confiance qu'elle nous a accordée, ses bons conseils et leurs
suivis qu'il nous a prodigué durant tout notre travail.

Nous aimerions exprimer notre gratitude à le psychologue **Melle Taibi N'aima**
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.

Mes vifs remerciements vont aux membres de **jury** pour avoir accepté de juger
notre présent travail.

En fin toute personne qui a participé de près ou de loin à l'accomplissement de
ce mémoire soit sincèrement remerciée.

Pour conclure Merci à tous eux qui nous ont aidés de près ou de loin durant
toutes ces années d'études.

Résumé

L'autisme est un trouble du neuro développemental. Il apparaît dès la petite enfance et évolue tout au long de la vie. La question d'un diagnostic précoce pour les enfants porteurs d'un autisme est très sensible et surtout sur le plan du devenir de cet enfant.

Au cours de notre travail, nous avons proposé deux approches intelligentes pour l'automatisation de diagnostic de l'autisme, nous avons commencé par l'automatisation de deux tests internationaux (CARS et Vinland) par les réseaux de neurones artificiels (RNAs), ensuite une automatisation de diagnostic global qui englobe les deux tests par la même technique. Après nous avons utilisé les systèmes d'interférences floues (SIF) pour avoir une différence de degré de gravité pour les patients classés dans la même classe.

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

Mots clés

Autisme, automatisation de diagnostic, CARS, Vinland, RNA, SIF.

Abstract

Autism is a neurodevelopmental disorder. It appears in early childhood and evolves throughout life. The issue of early diagnosis for children with autism is very sensitive and especially in terms of the future of this child.

In our work, we proposed two intelligent approaches for the automation of autism diagnosis, we started with the automation of two international tests (CARS and Vinland) by artificial neural networks (ANNs), then a global diagnostic automation that encompasses both tests by the same technique. Then we used the fuzzy inference systems (FIS) to have a difference in the degree of severity for patients classified in the same class.

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

Keywords:

Autism, diagnostic automation, CARS, Vinland, ANN, FIS.

ملخص

التوحد هو اضطراب في النمو العصبي, يظهر من الطفولة المبكرة ويتطور طوال الحياة. إن مسألة التشخيص المبكر للأطفال المصابين بالتوحد هي مسألة حساسة للغاية وخاصة فيما يتعلق بمستقبل هذا الطفل.

في سياق عملنا اقترحنا طريقتين ذكيتين تعمدان على الذكاء الاصطناعي لتشخيص التوحد أوتوماتيكيا , بدأنا بأتمتة اختباري التوحد (كارز و فاينلاند) بواسطة الشبكة العصبية الاصطناعية ، ثم أتمتة التشخيص العام باستخدام نفس التقنية. ثم استخدمنا أنظمة التدخل الضبابي لإحداث فرق في درجة الشدة للمرضى المصنفين في نفس الفئة.

النتائج التي تم الحصول عليها مرضية وثبتت فعالية أساليبنا.

الكلمات المفتاحية

التوحد, أتمتة التشخيص ,كارز, فاينلاند, الشبكة العصبية الاصطناعية, أنظمة التدخل الضبابي .

TABLE DES MATIÈRES

Dédicace (MALEK)	i
Dédicace (hasna)	ii
Remerciement	iii
Résumé	iv
Abstract.....	v
ملخص	vi
TABLE DES MATIÈRES	vii
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xii
Liste des abréviations	xiii
Introduction générale	1
Chapitre I : L'autisme	3
INTRODUCTION :.....	4
1.1 Définition :	4
1.2 Historique.....	5
1.3 les symptômes de l'autisme	6
1.4 Les cause de l'autisme	7
1.5 Le diagnostic de l'autisme :	8
1.6 La psychothérapie.....	10
CONCLUSION	10
Chapitre II : Les réseaux de neurones artificiels	11
Introduction.....	12
2.1 Définition des réseaux de neurones artificiels.....	12
2.2 Historique.....	13
2.3 L'architecture neuronale	14
2.3.1 Les réseaux récurrents« FEED-BACK ».....	14
2.3.2 Réseaux propagation vers l'avant« FEED-FORWARD »	15
2.4 Structure de perceptron multicouche	17

2.5 Apprentissage des réseaux de neurones	17
2.5.1 Principe d'apprentissage	17
2.5.2 Types d'apprentissage :	17
2.5.2.1 Apprentissage supervisé.....	17
2.5.2.2 Apprentissage non-supervisé.....	19
2.6 Avantages et inconvénients	19
2.7 Application des Réseaux de neurones artificiels	19
Conclusion	20
Chapitre III : La logique floue	21
Introduction.....	22
3.1 Définition	22
3.2 Historique	22
3.3 Les sous ensembles flous	23
3.3.1 Définition.....	23
3.4 Les opérateurs flous	24
3.5 Règle floues.....	25
3.6 Système d'inférence floue.....	26
3.7 Fuzzification :	26
3.8 Inférence.....	26
3.9 défuzzification	26
3.10 Inférence mamdani :	27
3.10.1 Fuzzification	27
3.10.2 Evaluation des règles.....	28
3.10.3 Agrégation de la sortie des règles :	30
3.10.4 Défuzzification.....	31
Conclusion	33
Chapitre IV : Résultat et interprétation	34
4.1 Problématique.....	35
4.2 Etat de l'art	35
4.3 Mécanisme et méthodologie de la collecte de la base de données	36
4.3.1 tests psychologique	36
4.3.2 Préparation de la base de données.....	38
4.4 Travail réalisé	39

4.4.1 Automatisation de diagnostic par réseaux de neurones artificiels	39
4.4. 1.A Automatisation de la CARS par RNA	39
4.4.1. B Automatisation de Vinland par RNA	42
4.4.1. C Automatisation globale par RNA.....	44
4.4.2 Automatisation de diagnostic par les systèmes d’interférence floue (SIF)	46
4.4.2.1 La fuzzification.....	48
4.4.2.2 évaluation des règles	50
4.4.2.3 interférence.....	51
4.4.2.4 Défuzzification	51
Interprétation des résultats	54
Conclusion	54
CONCLUSION GÉNÉRALE	55
ANNEXES	
BIBLIOGRAPHIE	

LISTES DES FIGURES

Figure (2-1) : réseau de neurones artificiels	12
Figure (2-2) : l'architecture d'un réseau neuronal	14
Figure (2-3) : le modèle de kohonen	15
Figure (2-4) : le réseau monocouche	16
Figure (2-5) : le réseau multicouche.....	16
Figure (3-1) : sous ensembles flous	23
Figure (3-2) : partition floue de l'univers de discours.....	24
Figure (3-3) : structure générale d'un système d'inférence flou.....	26
Figure (3-4) : Ensembles flous pour exemple d'inférence Mamdani.....	28
Figure (3-5) : Evaluation des règles	30
Figure (3-6) : Agrégation des règles de sortie par coupure	31
Figure (3-7) : La méthode de défuzzification par centroïde	32
Figure (3-8) : Défuzzification de l'ensemble flou de la variable de solution	32
Figure (4-1) : représentation graphique de nombre de filles et garçons traités	38
Figure (4-2) : nombre de filles et garçons selon l'âge.....	39
Figure (4.3) : perceptron multicouche	40
Figure (4-4) : courbe d'apprentissage d'un classifieur.....	41
Figure (4-5) : structure de meilleur classifieur pour la détection d'autisme par la CARS	42
Figure (4-6) : structure de meilleur classifieur pour la détection d'autisme par VINLAND	44
Figure (4-7) : structure de meilleur classifieur pour la détection d'autisme global	46
Figure (4-8) : fonctionnements d'un système flou (SIF).....	47
Figure (4-9) : système d'inférence flou utilisé (SIF).....	47
Figure (4-10) : fonction d'appartenance input 1 (test de LA CARS).....	48
Figure (4-11) : fonction d'appartenance input 2 (test de Vinland)	49
Figure (4-12) : fonction d'appartenance output	49
Figure (4-13) : Les règles de décision (après exécution de programme)	50

Figure (4-14) : interférence de notre system (agrégation des règles).....51

Figure (4-15) : surface des outputs en fonction des inputs de notre système après
défuzification52

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (4-1) : les performances des classifieurs de la CARS	41
Tableau (4-2) : les performances des classifieurs vinland	43
Tableau (4-3) : représentation des exemples de diagnostic général	45
Tableau (4-4) : la sortie du SIF pour tous les enfants traités dans notre étude	53

LISTE ABREVIATIONS

- SIF** : système d'inférence floue
- TSA** : trouble du spectre autistique
- RNA** : réseaux de neurones artificiels
- CLSV** : classifieur vinland
- CLSC** : classifieur cars
- CLSG** : classifieur global
- PEL** : projet éducatif individualisé
- RBF** : Réseau à fonction de base radiale
- PMC** : Perceptron multicouche
- PMN** : Perceptron monocouche

Introduction générale

Introduction générale

L'autisme est un trouble neuro développemental. Qui apparaissent dans la jeune enfance, les symptômes de cette maladie se manifestent dans trois domaines : les interactions sociales réciproques, la communication et le comportement à caractère restreint, ces symptômes sont dus à un dysfonctionnement cérébral.

Il n'existe pas de traitement contre l'autisme car les causes de l'autisme ne sont pas à ce jour totalement élucidées.

Cependant, plus le diagnostic est réalisé précocement, plus la prise en charge permet de développer les capacités de communication avec autrui. De plus, une prise en charge adaptée permet de mieux vivre avec l'autisme donc le diagnostic précoce est une phase très importante.

Pour cela, notre projet s'inscrit dans un cadre du développement d'une technologie de diagnostic automatique de l'autisme, à partir des systèmes intelligents basés sur deux techniques très connus en intelligence artificielle : réseaux de neurones artificiels(RNAs) et les systèmes d'interférences floues(SIF) .Les systèmes proposés à pour le but de fournir aux psychologues un outil performant de diagnostic qui lui permet d'effectuer un bon diagnostic surtout dans le cas de manque d'expérience professionnelle.

Ce travail est divisé en quatre chapitres organisés comme suit :

- Le premier chapitre est dédié à une présentation globale d'autisme : son origine, ses symptômes, ses causes et les diagnostics.
- Le deuxième chapitre présente les réseaux de neurones artificiels : ses différentes architectures, ses types d'apprentissage et ses applications.
- Le troisième chapitre est consacré à une recherche détaillée sur la logique floue en indiquant les sous-ensembles flous, les systèmes d'interférence floue et ses applications.
- Dans le quatrième chapitre nous allons présenter nos approches et discuter les résultats obtenus.

Enfin nous terminons notre mémoire par une conclusion générale

Chapitre I

L'AUTISME

INTRODUCTION :

L'autisme C'est un trouble précoce, global et sévère du développement de l'enfant. Généralement repérable vers l'âge de 2-3 ans, l'autisme se manifeste par une triade de symptômes associant des troubles de la socialisation, de la communication et des comportements au caractère restreint et répétitif.

Les enfants autistes sont confrontés aux comportements humains les plus essentiels. Ils ont des difficultés à interagir avec d'autres personnes, omettant souvent de voir les gens comme des personnes plutôt que comme de simples objets dans leur environnement. Ils ne peuvent pas facilement communiquer des idées et des sentiments, ont beaucoup de mal à imaginer ce que les autres pensent ou ressentent et, dans certains cas, passent leur vie sans voix. Ils ont souvent du mal à se faire des amis ou même à créer des liens avec les membres de leur famille. Leur comportement peut sembler bizarre.



1.1 Définition :

L'autisme (ou le trouble autistique) est le plus connu des troubles envahissants du développement.

Les enfants atteints d'autisme ont généralement des problèmes dans trois secteurs cruciaux du développement : les interactions sociales, le langage et la communication et le comportement. La sévérité des symptômes varie grandement entre les enfants. Un enfant atteint d'autisme sévère démontre une inhabileté totale à communiquer ou à interagir avec les autres.

Certains enfants montrent des signes d'autisme dès le plus jeune âge. D'autres se développent normalement les premiers mois ou les premières années, puis, soudainement se replient sur eux-mêmes, deviennent agressifs ou perdent le langage qu'ils ont acquis. Bien que chaque enfant ait un comportement unique.[1]

1.2 Historique :

L'histoire de l'autisme telle que définit actuellement débute dans les années 1940 avec les travaux de Léo Kanner et Hans Asperger. Il me semblait important de retracer cette histoire de l'autisme d'en aborder les origines et l'émergence de cette notion ainsi que son évolution jusqu'à nos jours.

La première fois que l'autisme a été décrit avec des caractéristiques qui correspondent encore en partie à celles en vigueur de nos jours, c'est lorsque Léo Kanner publie son étude "Autistic disturbances of affective contact" (Les perturbations autistiques des contacts affectifs) en 1943. Dans cet article, il précise que depuis 1938, il porte attention à des enfants dont les comportements diffèrent radicalement de leurs pairs et il propose de développer le détail de ces particularités en rendant compte de 11 cas d'enfants. La suite de son article égrène un après l'autre les comportements de chacun de ces enfants ayant tous en dessous de 11 ans. Son échantillon comporte 8 garçons et 3 filles. Contrairement à la croyance générale qui définit les "autistes de Kanner" comme des personnes autistes avec un retard mental, ce n'est pas le cas de tous les enfants étudiés par Léo Kanner : le cas n°6 Virginia atteint un QI non verbal de 94 à l'échelle de Binet, le cas n°8 Alfred atteint un QI global de 140. Après la présentation des comportements des 11 enfants, Léo Kanner explique leurs particularités et dit que malgré un panel très diversifié d'attitudes :

Ces caractéristiques forment un syndrome unique, jusqu'à présent non signalé, qui semble être assez rare, encore qu'il est probablement plus fréquent que ce qui est indiqué par la carence des cas observés. Il est tout à fait possible que certains de ces enfants aient été vu comme ayant un retard mental ou schizophrènes

Il remarque les caractéristiques suivantes : les enfants sont en grande difficulté pour développer des relations, ils arrivent à interagir plus facilement avec les objets qu'avec les êtres humains. Il note aussi que le langage est non acquis ou acquis avec difficulté et lorsque c'est le cas, il y a une utilisation peu sociale de celui-ci. Les autres signes qu'il relève à l'époque sont le besoin de sameness (traduction libre : l'absence de changement) et le fait que l'ensemble de ces signes particuliers apparaît durant les deux premières années de la vie de l'enfant. L'histoire de l'autisme montre qu'en parallèle des travaux de Léo Kanner, un autre psychiatre travaille sur l'autisme, presque durant la même année : Hans Asperger. Il publie en 1944 son article Autistic psychopathy in childhood (traduction libre : Les psychopathies autistiques dans l'enfance). A priori ces deux psychiatres ne se sont jamais rencontrés et il est admis que leurs travaux respectifs n'ont pas été en contact à cette période, l'article de Hans Asperger se présente exactement comme celui de Léo Kanner. Il y décrit quatre enfants : Fritz, Harro, Ernst et Helmut, puis détaille les schémas de comportement de ces enfants. Ce sont tous des garçons et Hans Asperger présente leur intelligence comme étant caractérisée

par des pics de compétences dans des domaines spécifiques qu'il nomme déjà à l'époque special interests (les intérêts spécifiques). Dans sa description clinique de l'autisme Hans Asperger est souvent bienveillant envers les enfants qu'il a étudié et met en avant ce qu'il considère comme les points positifs de l'autisme au titre desquels il compte : leur intelligence, leur manière originale de résoudre certains problèmes, leurs intérêts spécifiques, leur goût pour l'art et la philosophie. Il identifie également des caractéristiques qui sont encore aujourd'hui présentes dans les critères diagnostics comme l'absence ou la faiblesse des contacts visuels. Les descriptions fines et précises de ces enfants ainsi que l'analyse pertinente de leurs comportements vont marquer l'histoire de l'autisme. Hans Asperger montre aussi les difficultés qui peuvent être rencontrées par ces enfants notamment concernant les aspects sociaux :

Cela a été mon but de montrer que les perturbations fondamentales des personnes autistes est la limitation de leurs relations sociales. La totalité de la personnalité de ces enfants est déterminée par cette limitation.

L'histoire de l'autisme retiendra dans un premier temps les travaux de Léo Kanner qui ont tout de suite connu un succès international du fait de leur publication en anglais, l'article de Hans Asperger étant en Allemand, il n'a pas immédiatement attiré l'attention de la communauté scientifique. Il a fallu attendre que Lorna Wing, psychiatre britannique, publie en 1981 un article intitulé Asperger's Syndrome : a Clinical Account pour mettre en avant les travaux d'Hans Asperger. L'article originel d'Asperger ne sera traduit qu'en 1991 par Uta Frith. Dans les classifications internationales, jusque très récemment, le syndrome d'Asperger était une sous catégorie distincte de l'autisme (F84.5 dans la CIM-10), puis avec le DSM-5 qui est la classification la plus récente, le syndrome disparaît au profit du spectre de l'autisme qui précise simplement "avec ou sans retard mental". Cette disparition du syndrome d'Asperger des classifications a entraîné un débat important entre les chercheurs. [2] [3] [4] [5] [6] [7]

1.3 Les symptômes de l'autisme :

Les symptômes les plus courants chez l'enfant sont :

➤ **Au niveau des habiletés sociales :**

- Une difficulté à faire des contacts visuels ou à comprendre les expressions faciales.
- Une difficulté à décoder les expressions émotionnelles (savoir si quelqu'un est triste) et une difficulté à interpréter les intentions des autres.
- Une difficulté à exprimer ses émotions, son ressenti (il est parfois difficile pour l'entourage de savoir si l'enfant a mal par exemple).
- Une absence de réponse lorsqu'on l'appelle par son nom.
- Une préférence à jouer seul, à se retirer dans son monde, une incapacité à se faire des amis de son âge.
- Une incapacité à jouer à des jeux symboliques (imaginatifs, à faire semblant).
- Une résistance aux câlins ou à se faire prendre.

➤ **Au niveau du langage et de la communication :**

- L'enfant commence à parler plus tard que 2 ans.
- L'apparition d'autres retards de développement vers 30 mois.
- La perte des mots ou des phrases déjà acquis.
- L'enfant ne regarde pas son interlocuteur lorsqu'il s'adresse à quelqu'un.
- Une incapacité à amorcer ou à soutenir une conversation.
- L'enfant parle avec un rythme ou une tonalité anormale (une voix chantante ou « mécanique »).
- L'enfant peut répéter des mots mais n'en comprend pas le sens.

➤ **Au niveau du comportement :**

- Une tendance à effectuer des mouvements répétitifs (appelés stéréotypies) comme se bercer, taper des mains ou tourner sur lui-même.
- Une dépendance excessive par rapport à des routines ou à des rituels particuliers.
- Une hypersensibilité ou une hypo sensibilité à la lumière, aux sons, au toucher, à certaines textures ou une insensibilité à la douleur. Cette particularité pourrait être expliquée par un trouble du traitement de l'information sensorielle.
- Une fascination pour certaines parties d'un objet, par exemple une roue qui tourne sur un jouet
- L'enfant bouge continuellement.
- L'enfant ne cherche pas à partager ses intérêts avec les autres.
- Des crises de colères, des gestes agressifs dirigés contre soi (auto-agressivité) et/ou dirigés vers autrui (hétéro-agressivité) [1]

➤ **il y a des autres symptômes :**

- évite le contact visuel et préfère être seul
- a de la difficulté à comprendre les sentiments des autres
- est non verbal ou présente un retard de développement du langage
- répète sans cesse des mots ou des expressions (écholalie)
- est perturbé par le moindre changement de routine ou d'environnement
- a des champs d'intérêt très restreints
- présente des comportements répétitifs comme le balancement du corps, la torsion et le battement des membres
- a des réactions inhabituelles et souvent intenses aux sons, aux odeurs, aux goûts, aux textures, à la lumière et aux couleurs.[8]

1.4 Les causes de l'autisme :

On ne connaît toujours pas la (ou les) cause exacte de l'autisme, mais les recherches sur ce sujet se concentrent présentement sur: la génétique et les facteurs environnementaux, plus précisément, une combinaison de ces deux éléments.

Il est suspecté que l'autisme se développe au stade embryonnaire du système nerveux central d'un fœtus. Beaucoup de recherches ont été faites dans les 20 dernières années du côté de la génétique. On ne parle toutefois plus de lien direct et unique entre l'autisme et la génétique, mais plutôt d'une variété de vulnérabilités génétiques qui pourraient rendre un enfant plus susceptible à développer l'autisme.

De plus, les recherches scientifiques indiquent qu'une vulnérabilité génétique seule ne peut expliquer l'augmentation de cas d'autisme constaté partout dans le monde. Les facteurs environnementaux jouent un rôle beaucoup plus important dans le risque d'un enfant à développer l'autisme qu'initialement suspecté. Depuis les dernières 20 années il y a eu une multitude de recherches sur des facteurs environnementaux qui contribuent aux risques de développer l'autisme. Ceux-ci incluent: certaines infections virales durant la grossesse, être exposé aux pesticides avant ou durant la grossesse, un déséquilibre métabolique, être exposé aux métaux lourds durant la grossesse, la pollution atmosphérique, des carences nutritionnelles avant ou durant la grossesse, certains médicaments durant la grossesse, le diabète de grossesse et des réactions du système immunitaire durant la grossesse, pour n'en nommer que quelques-uns.

Il est important de garder en tête que chaque personne autiste est unique, et son autisme est causé par une conjonction de vulnérabilités génétiques et de facteurs environnementaux.[9]

1.5 Le diagnostic de l'autisme :

Critères diagnostiques

A. Déficiences persistantes de la communication et des interactions sociales observés dans des contextes variés. Ceux-ci peuvent se manifester par les éléments suivants, soit au cours de la période actuelle, soit dans les antécédents.

1. Déficiences de la réciprocité sociale ou émotionnelle allant, par exemple, d'anomalies de l'approche sociale et d'une incapacité à la conversation bidirectionnelle normale, à des difficultés à partager les intérêts, les émotions et les affects, jusqu'à une incapacité d'initier des interactions sociales ou d'y répondre.

2. Déficiences des comportements de communication non verbaux utilisés au cours des interactions sociales, allant, par exemple, d'une intégration déficiente entre la communication verbale et non verbale, à des anomalies du contact visuel et du langage du corps, à des déficiences dans la compréhension et l'utilisation des gestes, jusqu'à une absence totale d'expressions faciales et de communication non verbale.

3. Déficiences du développement, du maintien et de la compréhension des relations, allant, par exemple, de difficultés à ajuster le comportement à des contextes sociaux variés, à des difficultés à partager des jeux imaginatifs ou à se faire des amis, jusqu'à l'absence d'intérêt pour les pairs.

Spécifier la sévérité actuelle : La sévérité repose sur l'importance des déficits de la communication sociale et des modes comportementaux restreints et répétitifs.

B. Caractère restreint et répétitif des comportements, des intérêts ou des activités, comme en témoignent au moins deux des éléments suivants soit au cours de la période actuelle soit dans les antécédents.

1. Caractère stéréotypé ou répétitif des mouvements, de l'utilisation des objets ou du langage (p. ex. stéréotypies motrices simples, activités d'alignement des jouets ou de rotation des objets, écholalie, phrases idiosyncrasiques).

2. Intolérance au changement, adhésion inflexible à des routines ou à des modes comportementaux verbaux ou non verbaux ritualisés (p. ex. détresse extrême provoquée par des changements mineurs, difficulté à gérer les transitions, modes de pensée rigides, ritualisation des formules de salutation, nécessité de prendre le même chemin ou de manger les mêmes aliments tous les jours).

3. Intérêts extrêmement restreints et ixes, anormaux soit dans leur intensité, soit dans leur but (p. ex. attachement à des objets insolites ou préoccupations à propos de ce type d'objets, intérêts excessivement circonscrits ou persévérants).

4. Hyper ou hyperréactivité aux stimulations sensorielles ou intérêt inhabituel pour les aspects sensoriels de l'environnement (p. ex. indifférence apparente à la douleur ou à la température, réactions négatives à des sons ou à des textures spécifiques, actions de l'airer ou de toucher excessivement les objets, fascination visuelle pour les lumières ou les mouvements).

Spécifier la sévérité actuelle :

La sévérité repose sur l'importance des déficits de la communication sociale et des modes comportementaux restreints et répétitifs .

C. Les symptômes doivent être présents dès les étapes précoces du développement (mais ils ne sont pas nécessairement pleinement manifestes avant que les demandes sociales n'excèdent les capacités limitées de la personne, ou ils peuvent être masqués plus tard dans la vie par des stratégies apprises).

D. Les symptômes occasionnent un retentissement cliniquement significatif en termes de fonctionnement actuel social, scolaire/professionnel ou dans d'autres domaines importants.

E. Ces troubles ne sont pas mieux expliqués par un handicap intellectuel (trouble du développement intellectuel) ou un retard global du développement. La déficience intellectuelle et le trouble du spectre de l'autisme sont fréquemment associés. Pour permettre un diagnostic de comorbidité entre un trouble du spectre de l'autisme et un handicap intellectuel, l'altération de la communication sociale doit être supérieure à ce qui serait attendu pour le niveau de développement général. [7]

1.6 La psychothérapie :

Soigner l'autisme veut dire éduquer. Au terme de « méthodes thérapeutiques » on préférera donc celui de « stratégies éducatives ». Si l'on veut donner le maximum de chance à une personne autiste de se développer il faut adapter les stratégies d'accompagnements et les critères méthodologiques et les faire coïncider avec des lignes de conduite internationalement reconnues. Pour cela, les parents et les professionnelles doivent comprendre comment fonctionne la personne et adapter leur manière d'interagir avec elle ce qui nécessite une solide formation. En parallèle, si l'enfant a été diagnostiquée avant l'âge scolaire, la mise en place d'un programme éducatif précoce est recommandée. Par la suite, un enseignement adapté à son autisme devrait être mis en place. Celui-ci pourra avoir lieu dans une école ordinaire (intégration) ou dans une école spécialisée, en fonction des capacités de l'enfant. Pour être efficace, un accompagnement doit toujours se baser sur un « projet éducatif individualisé » (PEI). L'enseignement doit être structuré et l'environnement doit être organisé. Le déroulement d'une journée ou d'une activité doit être rendu compréhensible et prévisible. Pour les personnes qui ne peuvent pas se faire comprendre par le biais du langage, les méthodes de la communication assistée/augmentative (p. ex. systèmes d'images (PECS) ou moyens auxiliaires électroniques) doivent être mises en place.[10]

CONCLUSION :

Et, à travers ce qui précède, nous pouvons conclure que jusqu'à présent, il n'y a pas de traitement définitif pour l'autisme malgré les efforts continus et les recherches accumulées de la part des chercheurs et scientifiques spécialisés dans le domaines psychologiques et médicaux. Mais l'apprentissage spécial et la fourniture d'aide et d'assistance peuvent réduire les troubles du comportement pouvant être exposés à un enfant autiste, avec le développement de compétences en communication. Le succès du traitement dépend de l'efficacité du thérapeute et de l'exactitude des programmes éducatifs et thérapeutiques. Les parents ont également un rôle à jouer en aidant l'enfant autiste, en le formant à certaines des compétences nécessaires dans la vie quotidienne d'un enfant autiste.

Dans le chapitre suivant, nous relatent des nouvelles technologies basées sur des systèmes intelligents pour nous aidez de diagnostiqués l'autisme.

Chapitre II

LES RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS

Introduction :

Depuis une dizaine d'années, l'utilisation des réseaux de neurones artificiels (RNA) s'est développée dans de nombreuses disciplines (sciences économiques, écologie et environnement, biologie et médecine...).[11].

Les réseaux de neurones artificiels ont été développés avec pour objectifs principaux d'une part la modélisation et compréhension du fonctionnement du cerveau et d'autre part pour réaliser des architectures ou des algorithmes d'intelligence artificielle.[12]

Chaque modèle de réseaux de neurones a son propre architecture, apprentissage, domaine d'application ,ses avantages et inconvénients.

2.1 Définition des réseaux de neurones artificiels :

Les réseaux de neurones artificiels sont des réseaux fortement connectés de processeurs élémentaires fonctionnant en parallèle. Chaque processeur élémentaire calcule une sortie unique sur la base des informations qu'il reçoit. Toute structure hiérarchique de réseaux est évidemment un réseau. [13]

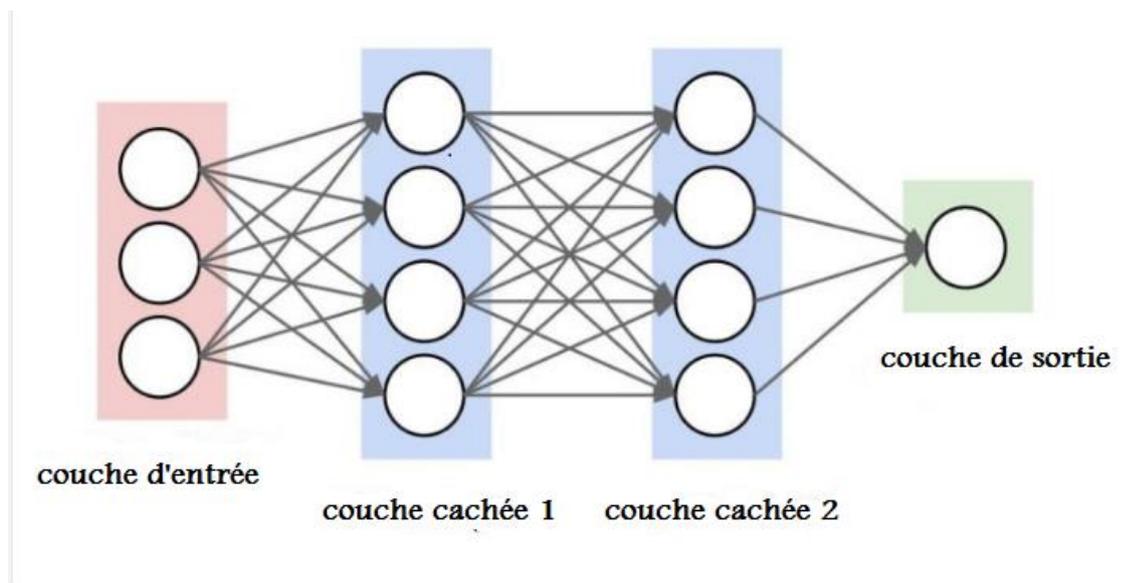


Figure (2-1) : réseau de neurones artificiels [14]

En règle générale, un réseau de neurones repose sur un grand nombre de processeurs opérant en parallèle et organisés en tiers. Le premier tiers reçoit les entrées d'informations brutes, un peu comme les nerfs optiques de l'être humain lorsqu'il traite des signaux visuels.

Par la suite, chaque tiers reçoit les sorties d'informations du tiers précédent. On retrouve le même processus chez l'Homme, lorsque les neurones reçoivent des signaux en provenance des neurones proches du nerf optique. Le dernier tiers, quant à lui, produit les résultats du système.[14]

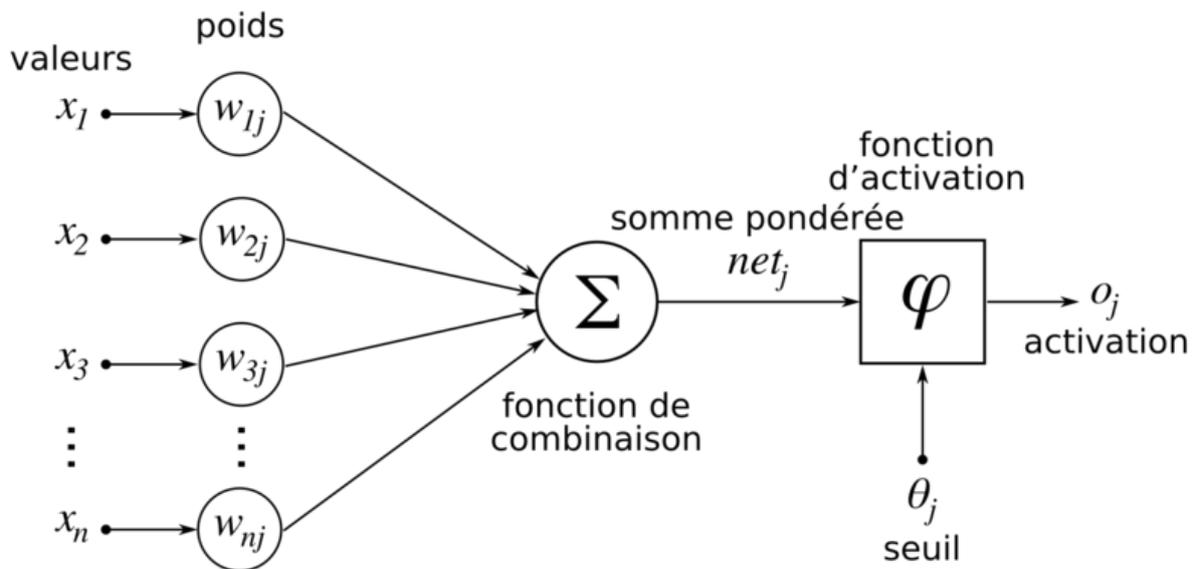
2.2 Historique :

L'histoire des réseaux de neurones est donc tissée à travers des découvertes conceptuelles et des développements technologiques survenus à diverses époques. Brièvement, les premières recherches remontent à la fin du 19e et au début du 20e siècle. Ils consistent en de travaux multidisciplinaires en physique, en psychologie et en neurophysiologie par des scientifiques tels Hermann Von Helmholtz, Ernst Mach et Ivan Pavlov. La naissance du domaine des réseaux de neurones artificiels remonte aux années 1940 avec les travaux de Warren Mc Culloch et Walter Pitts qui ont montré qu'avec de tels réseaux, on pouvait, en principe, calculer n'importe quelle fonction arithmétique ou logique. Vers la fin des années 1940, Donald Hebb a ensuite proposé une théorie fondamentale pour l'apprentissage.

La première application concrète des réseaux de neurones artificiels est survenue vers la fin des années 1950 avec l'invention du réseau dit «perceptron» par un dénommé Frank Rosenblatt. Malheureusement, il a été démontré par la suite que ce perceptron simple ne pouvait résoudre qu'une classe limitée de problème. Vers la fin des années 1960, un livre publié par Marvin Minsky et Seymour Papert est venu jeter beaucoup d'ombre sur le domaine des réseaux de neurones. Entre autres choses, ces deux auteurs ont démontré les limitations des réseaux développés par Rosenblatt et Widrow-Hoff. Beaucoup de gens ont été influencés par cette démonstration qu'ils ont généralement mal interprétée. Ils ont conclu à tort que le domaine des réseaux de neurones était un cul de sac et qu'il fallait cesser de s'y intéresser. Heureusement, certains chercheurs ont persévéré en développant de nouvelles architectures et de nouveaux algorithmes plus puissants.

Dans les années 1980, une pierre d'achoppement a été levée par l'invention de l'algorithme de retro-propagation des erreurs. Cet algorithme est la réponse aux critiques de Minsky et Papert formulées à la fin des années 1960. C'est ce nouveau développement, généralement attribué à David Rumelhart et James McClelland, mais aussi découvert plus ou moins en même temps par Paul Werbos et par Yann LeCu.[15]

2.3 L'architecture neuronale :



Figure(2-2) : l'architecture d'un réseau neuronal[16]

Un réseau de neurones peut prendre des formes différentes selon l'objet de la donnée qu'il traite et selon sa complexité et la méthode de traitement de la donnée.

Les architectures ont leurs forces et faiblesses et peuvent être combinées pour optimiser les résultats. Le choix de l'architecture s'avère ainsi crucial et il est déterminé principalement par l'objectif.[16]

On distingue plusieurs types dans la littérature d'architecture :

2.3.1 Les réseaux récurrents« FEED-BACK » :

Ce genre de réseaux est caractérisé par le pouvoir de laisser l'information circuler récursivement d'une manière partielle ou bien total .[17]

Les architectures les plus utilisées sont:

➤ Les cartes auto-organisatrices de Kohonen :

Ce type de réseaux utilise un apprentissage non-supervisé qui ajustent une carte discrète et ordonnée en fonction de patterns d'entrée.[17]

Elles sont utilisées pour étudier la répartition de données dans un espace à grande dimension.

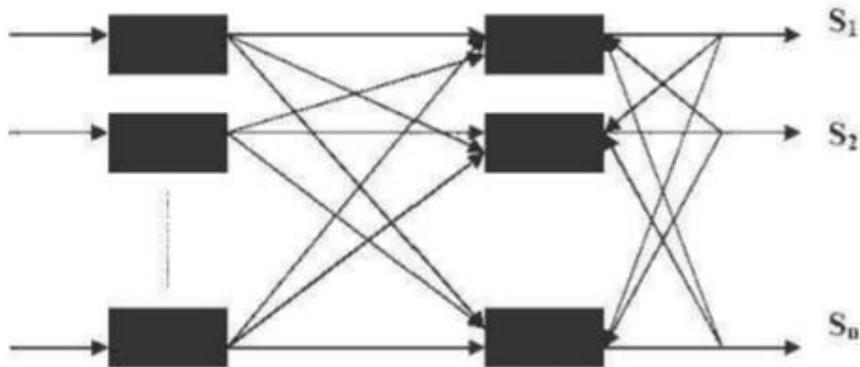


Figure (2-3) : le modèle de kohonen [17]

➤ **Les réseaux de Hopfield :**

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

Ce type de réseaux utilise un apprentissage non-supervisé, il est particulièrement utilisé dans la résolution de problèmes d'optimisation.[17]

2.3.2 Réseaux propagation vers l'avant « FEED-FORWARD » :

La particularité de ce type de réseaux est que l'information se propage dans un sens unique, sans aucune rétroaction (des entrées vers les sorties). Ce genre de réseaux utilise un apprentissage supervisé, par correction des erreurs ou le signal d'erreur est rétro-propagé vers les entrées afin de mettre à jour les poids des neurones.[17]

➤ **Réseau à fonction de base radiale :**

Les réseaux à fonctions de base radiales (RBF) sont des modèles connexionnistes simples à mettre et 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.[18]

➤ **Le perceptron monocouche « PMN » :**

Le perceptron peut être vu comme le type de réseau de neurones le plus simple grâce à sa composition 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.[17]

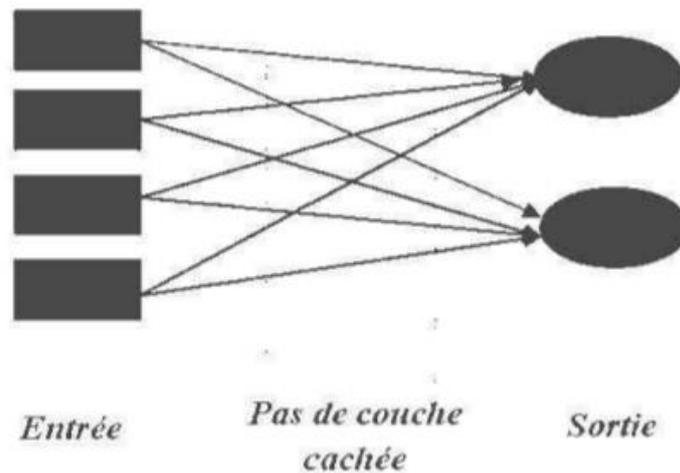


Figure (2-4) : le réseau monocouche [17]

➤ **Le perceptron multicouche « PMC » :**

Le perceptron multicouche est un type de réseau neuronal artificiel organisé en plusieurs couches 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.

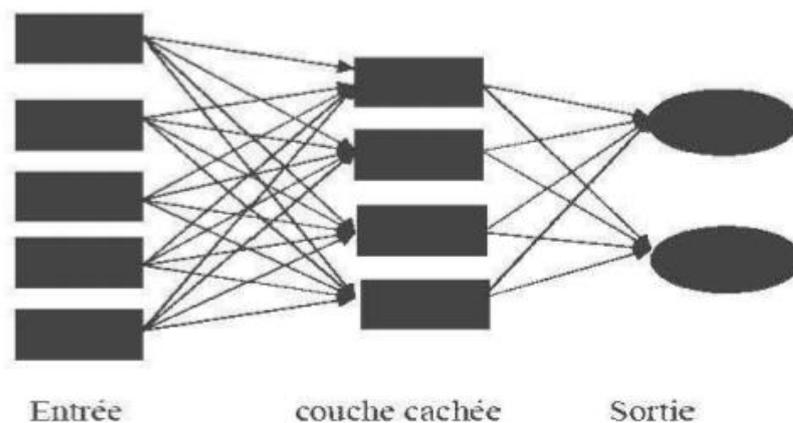


Figure (2-5) : le réseau multicouche [17]

Dans notre travail, nous nous intéressons au perceptron multicouche.

2.4 Structure de perceptron multicouche :

Un perceptron linéaire à seuil est bien adapté pour des échantillons linéairement séparables. Cependant, dans la plupart des problèmes réels, cette condition n'est pas réalisée. Un perceptron linéaire à seuil est constitué d'un seul neurone. On s'est très vite rendu compte qu'en combinant plusieurs neurones le pouvoir de calcul était augmenté. Par exemple, dans le cas des fonctions booléennes, il est facile de calculer le XOR en utilisant deux neurones linéaires à seuil.

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 (i) 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, 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.

Avec :

(i): les couches. (N_i) : nombre de neurones. (N_{i-1}) : nombre de neurones de couche précédente.[15]

2.5 Apprentissage des réseaux de neurones :

2.5.1 Principe d'apprentissage :

L'apprentissage d'un réseau de neurones artificiels est induit par une procédure itérative d'ajustement de ses paramètres internes (poids synaptiques et nombres de neurones). Cette procédure d'ajustement est décrite par un algorithme d'apprentissage. Celui-ci détermine alors le comportement du réseau. Ainsi le comportement d'un même réseau diffère selon l'algorithme d'apprentissage utilisé pour modifier ses paramètres.[19]

2.5.2 Types d'apprentissage :

Il existe deux grandes stratégies d'apprentissage.

2.5.2.1 Apprentissage supervisé :

L'apprentissage supervisé peut être considéré comme une forme de régression basée sur des paires de données: entrée et sortie. Ce type de réseau se compose de neurones totalement connectés, organisés sous forme de couches: la couche d'entrée, la couche de sortie, et une ou plusieurs couches cachées. La couche d'entrée reçoit les données à partir d'un fichier de données, et la couche de sortie fournit la réponse aux données d'entrée. Les neurones cachés

communiquent seulement avec d'autres neurones du réseau. L'information transmise d'un neurone à l'autre est contenue dans les pondérations (poids de connexion). Ceux-ci peuvent augmenter ou diminuer, de sorte que le réseau fournisse une réponse aussi proche que possible de la réponse cible .[20]

On cite parmi les règles de l'apprentissage supervisé, 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.[21]

Nous citons ci-dessous quelques méthodes de la famille de la descente de gradient .

✓ 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 « 3 ».[22]

✓ 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 .[22]

✓ 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.[22]

2.5.2.2 Apprentissage non-supervisé : [20]

Pour les réseaux à apprentissage non supervisé, aucune information sur la réponse désirée n'est fournie au réseau.

Dans ce cas le réseau décide lui-même quelles sont les bonnes sorties. Ce comportement est connu sous le nom "auto organisation."

2.6 Avantages et inconvénients :

L'intérêt des réseaux de neurones artificiels réside dans le parallélisme de leur structure, leur capacité d'adaptation ainsi que dans leur mémoire distribuée. Ces propriétés sont à la source de la capacité de généralisation d'un réseau et donc de son aptitude à adopter un comportement correct en réponse à des variables d'entrée, qui n'ont pas été rencontrés lors de la phase d'apprentissage.

Cependant, les réseaux de neurones présentent des inconvénients. Un réseau de neurones ne dispense pas de bien connaître son problème, de définir ses classes avec pertinence, de ne pas oublier de variables importantes, etc. Enfin, un réseau de neurones est une « boîte noire » qui n'est pas interprétable c'est-à-dire elle n'explique pas ses décisions.[23]

2.7 Application des Réseaux de neurones artificiels :

Une grande quantité de données sans savoir au préalable vers quoi doit s'orienter la solution. On les utilise typiquement dans le domaine de la reconnaissance d'écriture, d'image et de voix, où un système informatique recherche certaines caractéristiques afin de procéder à leur affectation.

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.[24]

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre, les réseaux de neurones artificiels, l'apprentissage de ces derniers ainsi les différentes architectures. Au dessus, nous avons présenté ses avantages, ses inconvénients et ses applications.

Chapitre III

LA LOGIQUE FLOUE

Introduction :

La logique floue suscite un intérêt général de la part des chercheurs, des ingénieurs et des industriels.

Le but de la logique floue est de généraliser des modes de raisonnement naturels, d'automatiser la prise de décision, de construire des systèmes artificiels effectuant les tâches habituellement prises en charge par les humains. [25]

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

3.1 Définition :

La logique floue (Fuzzy Logic) est une extension de la logique booléenne a été proposée et introduite par (zadeh, 1965) en se basant sur le raisonnement intuitif et prend en compte la subjectivité et l'imprécision, c'est une théorie mathématique rigoureuse adaptée au traitement de tout ce qui est subjectif **et/ ou** incertain.

L'intérêt de la logique floue est de formaliser le raisonnement humain et pour modéliser le langage naturel.

3.2 Historique :

Les racines de la logique floue se trouvent dans le principe d'incertitude de Heisenberg. Dans les années 20, les physiciens ont introduit la troisième valeur $1/2$ dans le système logique bivalent $\{0, 1\}$. Pourquoi $1/2$? Parce-que c'est la valeur de vérité de tous les paradoxes. La logique classique interdit tous les paradoxes par ses axiomes.

Au début des années 30, le système logique avec trois valeurs a été développé par le logicien polonais Jan Lukasiewicz qui l'a étendu, par la suite, à tous les nombres rationnels entre 0 et 1. Il a défini la logique floue comme une logique qui utilise la fonction générale de vérité, laquelle associe à une affirmation un niveau de vérité qui peut prendre toutes les valeurs entre 0 (faux) et 1 (vrai).

Au cours de cette décennie, Max Black a appliqué la logique floue aux ensembles d'éléments ou de symboles. Il a dessiné la première fonction d'appartenance d'un ensemble flou.

C'est alors qu'en 1965, Lotfi Zadeh, automaticien de réputation internationale et professeur à l'université de Berkeley en Californie, introduit le terme fuzzy dans la littérature technique, suite à sa publication d'un article intitulé « Fuzzy sets » dans lequel il a développé la théorie des ensembles flous. C'est le début des tentatives de modélisation de systèmes par des relations flous. Il a été le premier à formaliser les règles floues (fuzzyrules) et a contribué à la modélisation de phénomène sous forme floue, en vue de pallier les limitations dues aux incertitudes des modèles classiques à équations différentielles.

Après 1980, les recherches ont pris fin en Europe mais ont été reprises au Japon grâce au chercheur japonais M. Sugeno. Leur industrie a lancé de nombreux produits basés sur la logique floue qui la considère, en ce moment, comme un outil de base. [26]

3.3 Les sous-ensembles flous :

3.3.1 Définition :

Un sous-ensemble flou A dans un univers du discours X est caractérisé par sa fonction d'appartenance $\mu_A(x)$ qui associe à chaque élément x de X une valeur dans l'intervalle des nombres réels $[0, 1]$:

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

Ainsi un sous-ensemble flou A dans X peut être représenté par un ensemble de couples ordonnés

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) / x \in X \}$$

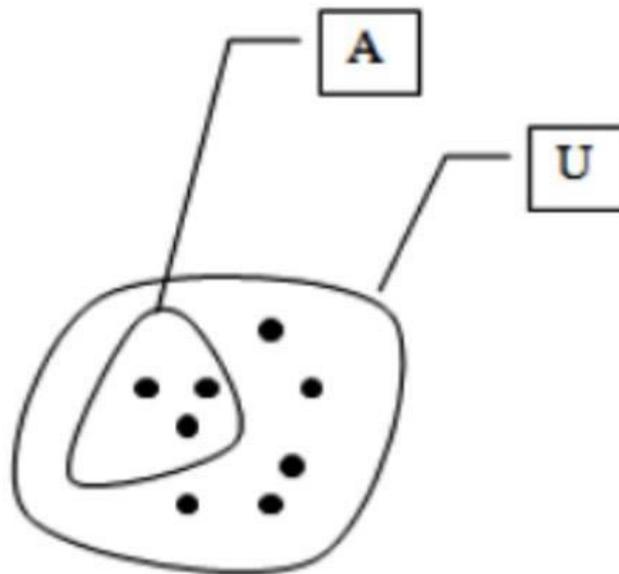


Figure (3-1) : sous ensembles flous

- **Exemple :**

L'homme mesure 1m625 se traduit en logique floue par :

« L'homme est petit » à un degré de 75%

« L'homme est moyen » à 25%

« L'homme est grand » à 0 %

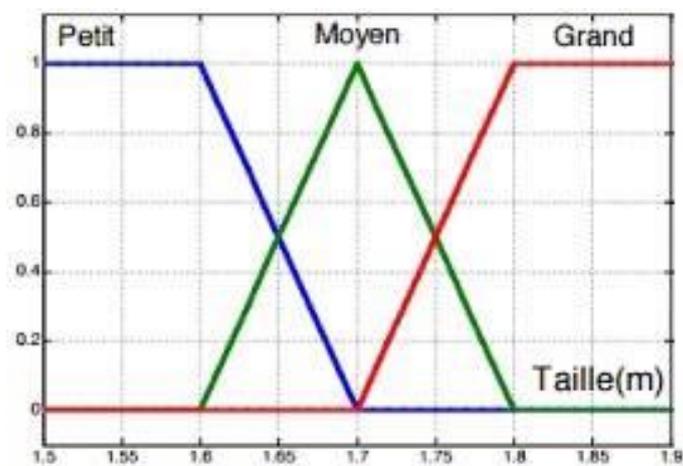


Figure (3-2) : partition floue de l'univers de discours [27]

3.4 Les opérateurs flous : [28]

Afin de pouvoir manipuler aisément les ensembles flous, nous redéfinissons les opérateurs de la théorie des ensembles classiques afin de les adapter aux fonctions d'appartenance. Propres à la logique floue permettant des valeurs strictement entre 0 et 1.

Contrairement aux définitions des propriétés des ensembles flous qui sont toujours les mêmes, la définition des opérateurs sur les ensembles flous est choisie, à l'instar des fonctions d'appartenance. Voici les deux ensembles d'opérateurs pour le complément (NON), l'intersection (ET) et l'union (OU) utilisés le plus couramment :

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

Avec les définitions usuelles des opérateurs flous, nous retrouvons toujours les propriétés de commutativité, distributivité et associativité des opérateurs classiques. Cependant, relevons deux exceptions notables :

- En logique flou, le principe du tiers exclu est contredit : $A \cup \bar{A} \neq X$, autrement

Dit $\mu_{A \cup \bar{A}}(x) \neq 1$

- En logique floue, un élément peut appartenir à A et non A en même temps :

$A \cap \bar{A} \neq \emptyset$ autrement dit $\mu_{A \cap \bar{A}}(x) \neq 0$. Notons que ces éléments correspondent

à l'ensemble $\text{supp}(A) - \text{noy}(A)$.

3.5 Règle floues :

Une implication entre deux propositions est un lien particulier qui unit ces deux propositions, lorsque nous passons dans le domaine du raisonnement, une implication définit une règle floue : « V est A \rightarrow W est B » qui s'exprime par « si V est A alors W est B ». Règle et implication sont deux facettes de représentation, sémantique et logique, d'une même connaissance.

EXEMPLE : un exemple de règle floue est si la personne est jeune alors le salaire est bas.

Une règle floue « V est A \rightarrow W est B » se compose de deux parties :

- « V est A » est la prémisse (de valeur de vérité : $\mu_A : X_V \rightarrow [0, 1]$);
- « W est B » est la conclusion (de valeur de vérité : $\mu_B : X_W \rightarrow [0, 1]$).

Dans l'optique d'utiliser une telle proposition complexe, la force de la liaison entre la prémisse et la conclusion sera donc évaluée en fonction de l'implication choisie.

La valeur de vérité qui doit être associée à la règle floue est donnée par l'agrégation des valeurs de vérité de la prémisse et de la conclusion par la fonction associée à l'implication. [29]

3.6 Système d'inférence floue :

Un système d'inférence floue est composé d'une base de connaissance, une partie d'entrée représenté par une interface de fuzzification et une sortie par une interface de Défuzzification. (Figure 3.3) illustre la structure générale d'un système d'inférence floue (SIF).[30]

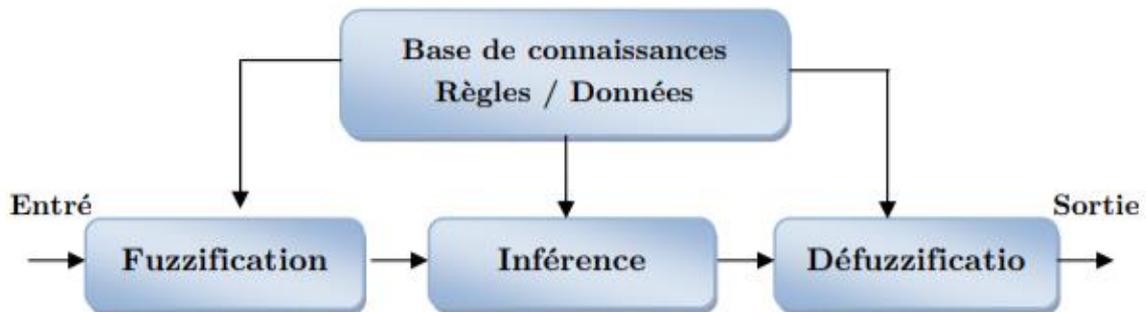


Figure (3-3) : structure générale d'un système d'inférence flou [30]

Le système inférence floue est un mécanisme de décision, il permet à partir d'un fait observé de la base des règles floues une décision en exploitant le raisonnement approximatif.[30]

Un SIF est constituée de trois étapes: Fuzzification, Inférence et Défuzzification.

3.7 Fuzzification :

La première étape est la fuzzification, qui consiste à caractériser les variables linguistiques utilisées dans le système. Il s'agit donc d'une transformation des entrées réelles en une partie floue définie sur un espace de représentation lié à l'entrée. Cet espace de représentation est normalement un sous-ensemble flou. Durant l'étape de la fuzzification, chaque variable d'entrée et de sortie est associée à des sous-ensembles flous. [31]

3.8 Inférence :

Consiste à utiliser le moteur d'inférence, qui est un mécanisme permettant de condenser l'information d'un système à travers d'un ensemble de règles définies pour la représentation d'un problème quelconque. Chaque règle délivre une conclusion partielle qui est ensuite agrégée aux autres règles pour fournir une conclusion (agrégation). [32]

3.9 défuzzification :

C'est la dernière étape de la logique floue. Avant que les sorties du moteur d'inférence soient appliquées sur le processus à contrôler, ces dernières qui sont représentées comme des degrés d'appartenance aux fonctions de la sortie, doivent être converties. Alors l'étape de la défuzzification consiste à convertir ces valeurs floues en variables réelles qui peuvent être utilisées. Dépendamment de la forme de la sortie voulue, du type de contrôle, du type des fonctions d'appartenance de la sortie. [33]

3.10 Inférence mamdani :

La technique d'inférence floue la plus couramment utilisée est la technique dite la méthode de Mamdani. En 1975, le professeur Ebrahim Mamdani de l'Université de Londres a construit un des premiers systèmes flous pour piloter un ensemble machine à vapeur et chaudière (Mamdani et Assilian, 1975). Il a appliqué un ensemble des règles floues fournies par opérateurs humains expérimentés.

Le processus d'inférence floue de style Mamdani est effectué en quatre étapes : fuzzification des variables d'entrée, évaluation de la règle, agrégation de la règle sorties, et enfin défuzzification. [34]

Pour voir comment tout s'emboîte, nous examinons un simple à deux entrées une sortie problème qui comprend trois règles : [34]

Si x est A_3	OU	y est B_1	ALORS	z est C_1
Si x est A_2	ET	y est B_2	ALORS	z est C_2
Si x est A_1			ALORS	z est C_3

Où x est le financement du projet, y est le personnel du projet et z c'est le risque. Les ensembles flous sont :

- $A_1 = \text{inadéquat}$, $A_2 = \text{marginal}$, $A_3 = \text{adéquat}$
- $B_1 = \text{petit}$, $B_2 = \text{grand}$
- $C_1 = \text{faible}$, $C_2 = \text{normale}$, $C_3 = \text{élevé}$

3.10.1 Fuzzification : [34]

La première étape consiste à prendre les entrées brutes, x_1 et y_1 (financement du projet et personnel du projet) et déterminer dans quelle mesure ces intrants appartiennent à chacun des ensembles flous appropriés.

L'entrée est toujours une valeur numérique limitée à l'univers de discours. Dans notre cas, les valeurs de x_1 et y_1 sont limitées à l'univers des discours X et Y , respectivement. Les gammes de l'univers de discours peuvent être déterminées par des jugements d'experts. Par exemple, si nous avons besoin d'examiner le risque lié au développement du projet « fuzzy », nous pouvons demander à l'expert de donner des nombres entre 0 et 100 pour cent qui représentent respectivement le financement du projet et la dotation en personnel du projet. autrement dit, l'expert est tenu de répondre dans quelle mesure le projet de financement et le personnel du projet sont vraiment adéquats. Bien sûr, divers systèmes flous utilisent une variété d'entrées différentes. Alors que certains des entrées peuvent être mesurées directement (taille, poids,

vitesse, distance, température, pression, etc.), certains d'entre eux ne peuvent être basés que sur des experts d'estimation.

Une fois les entrées, x_1 et y_1 , obtenues, elles sont fuzzifiées par rapport aux ensembles flous linguistiques appropriés.

. L'entrée x_1 (projet financement évalué par l'expert à 35 pour cent) correspond à l'adhésion fonctions A1 et A2 (inadéquates et marginales) aux degrés 0,5 et 0,2, respectivement, et l'entrée y_1 (effectifs du projet évalués à 60 pour cent) les fonctions d'appartenance B1 et B2 (petite et grande) à les degrés de 0,1 et 0,7, respectivement. De cette manière, chaque entrée est floue sur toutes les fonctions d'appartenance utilisées.

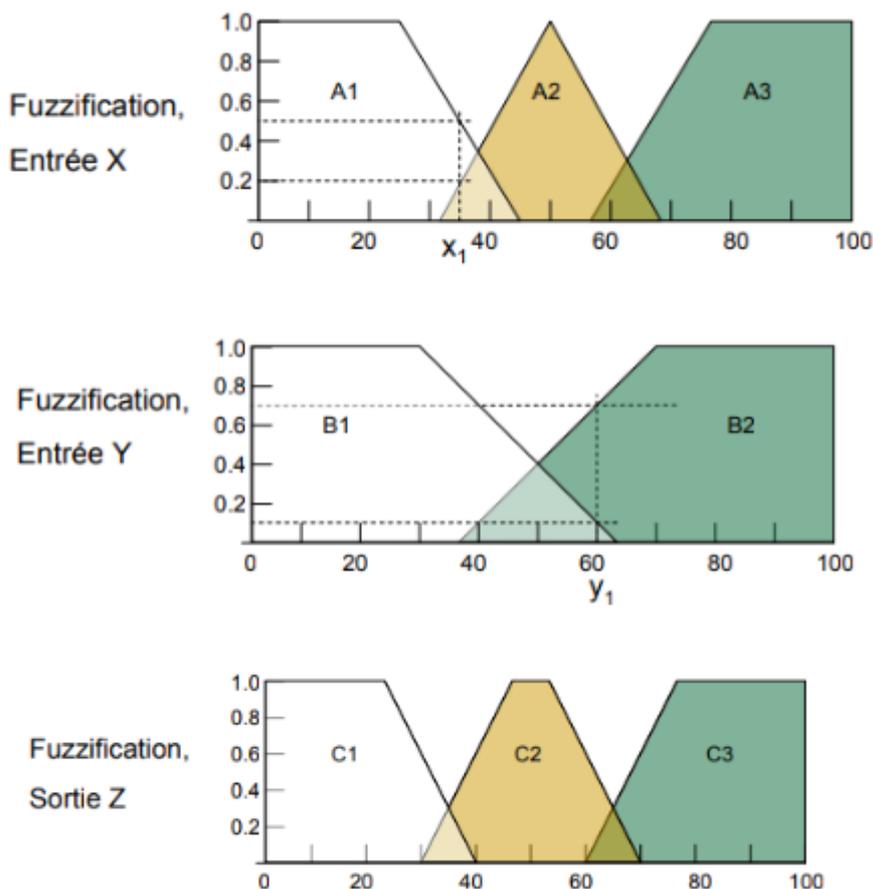


Figure (3-4) : Ensembles flous pour exemple d'inférence Mamdani [35]

3.10.2 Evaluation des règles : [34]

Il faut maintenant évaluer les règles en fonction des entrées obtenues. On applique les opérateurs flous correspondants pour combiner les règles. Si une règle a plusieurs antécédents, un opérateur flou est utilisé pour obtenir un seul chiffre qui représente le résultat.

Ce résultat est ensuite appliqué à la fonction d'appartenance de la conséquence. Le résultat peut être produit par deux méthodes : coupure ou mise à l'échelle.

Si on reprend l'exemple précédent, on applique les valeurs d'appartenance à

La règle 1 :

si x est A_3 (0.0) OU y est B_1 (0.1) ALORS z est C_1 (?)

On peut utiliser deux méthodes pour combiner ces antécédents :

1. Méthode 1 : maximum

$$\mu_{C_1} = \max[\mu_{A_3}, \mu_{B_1}] = 0.1$$

2. Méthode 2 : probor

$$\begin{aligned} \mu_{C_1} &= \text{probor}[\mu_{A_3}, \mu_{B_1}] = (\mu_{A_3} + \mu_{B_1}) - (\mu_{A_3} \cdot \mu_{B_1}) \\ &= (0.0 + 0.1) - (0.0 \times 0.1) = 0.1 \end{aligned}$$

Si on utilise la méthode 1, l'appartenance est 0.1.

Pour la Règle 2 :

Si x est A_2 (0.2) OU y est B_2 (0.7) ALORS z est C_2 (?)

On peut utiliser deux méthodes pour combiner ces antécédents :

1. Méthode 1 : minimum

$$\mu_{C_2} = \min[\mu_{A_2}, \mu_{B_2}] = 0.2$$

2. Méthode 2 : prod

$$\mu_{C_2} = \text{prod}[\mu_{A_2}, \mu_{B_2}] = (\mu_{A_2} \times \mu_{B_2}) = (0.2 \times 0.7) = 0.14$$

Si on utilise la méthode 1, l'appartenance est 0.2.

Au total, on obtient :

Si x est A_3 (0.0) OU y est B_1 (0.1) ALORS z est C_1 (0.1)

Si x est A_2 (0.2) ET y est B_2 (0.7) ALORS z est C_2 (0.2)

Si x est A_1 (0.5) ALORS z est C_3 (0.5)

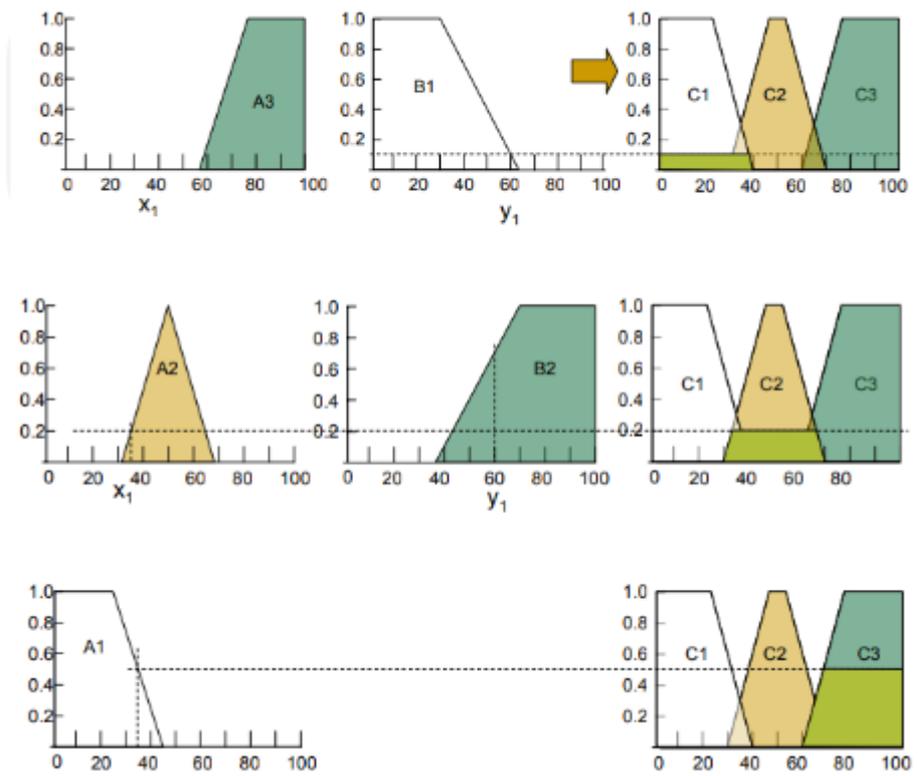


Figure (3-5) : Evaluation des règles [35]

3.10.3 Agrégation de la sortie des règles :

L'agrégation est le processus d'unification de la sortie de toutes les règles. En d'autres termes, nous prenons les fonctions d'appartenance de tous les conséquents de règles préalablement coupé ou mis à l'échelle et les combiner en un seul ensemble flou. Ainsi, l'entrée du processus d'agrégation est la liste des fonctions d'appartenance conséquentes tronquées ou mises à l'échelle, et la sortie est un ensemble flou pour chaque variable de sortie. [34]

Pour l'exemple :

$$Z \text{ est } C1(0.1) \quad Z \text{ est } C2(0.2) \quad Z \text{ est } C3(0.5)$$

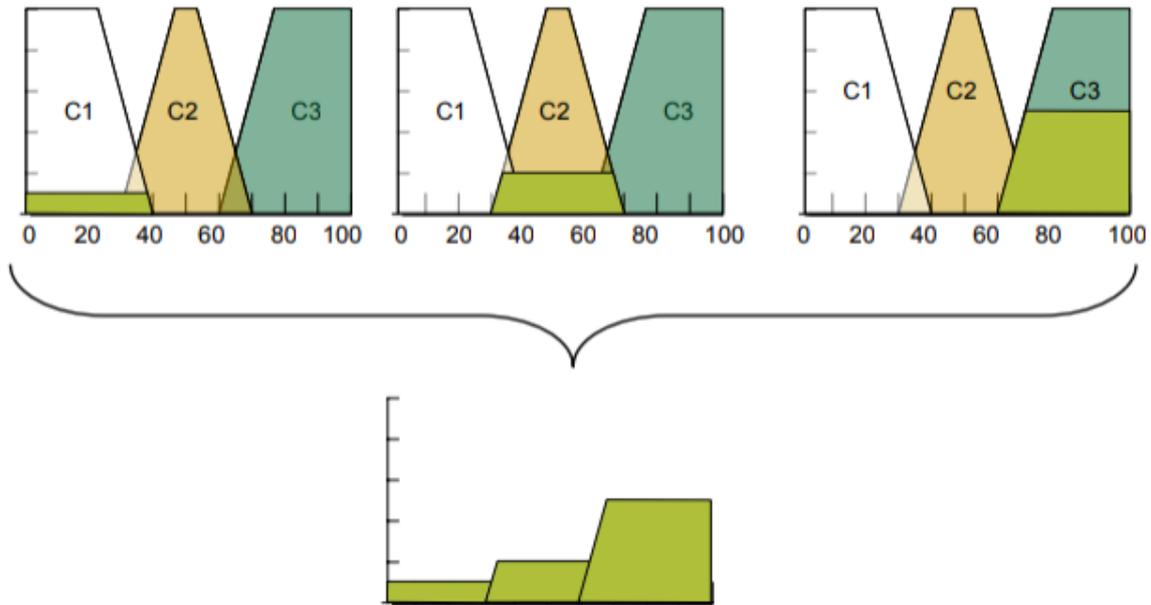


Figure (3-6) : Agrégation des règles de sortie par coupure [35]

3.10.4 Défuzzification:[34]

La dernière étape du processus d'inférence floue est la défuzzification. Flou nous aide à évaluer les règles, mais la sortie finale d'un système flou doit être un nombre précis. L'entrée pour le processus de défuzzification est l'ensemble flou de sortie agrégée et la sortie est un nombre unique.

Comment défuzzifier l'ensemble flou agrégé ?

Il existe plusieurs méthodes de défuzzification (Cox, 1999), mais la plus populaire est probablement la technique du centroïde. Elle trouve le point où une ligne verticale couperait l'ensemble agrégé en deux masses égales.

Mathématiquement, ce centre de gravité (COG) peut être exprimé comme suit :

$$COG = \frac{\int_a^b \mu_A(x) x dx}{\int_a^b \mu_A(x) dx}$$

Comme le montre la figure (3-7), la méthode de défuzzification par centroïde trouve un point représentant le centre de gravité de l'ensemble flou « A » Sur l'intervalle ab.

En théorie, le COG est calculé sur un continuum de points dans la fonction d'appartenance de la sortie agrégée, mais dans la pratique, une estimation raisonnable peut être obtenue en le calculant sur un échantillon de points, comme le montre la figure (3-7). Dans ce cas, la formule suivante est appliquée :

$$\text{COG} = \frac{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)x}{\sum_{x=a}^b \mu_A(x)}$$

Calculons maintenant le centre de gravité de notre problème. La solution est présentée à la figure (3-8).

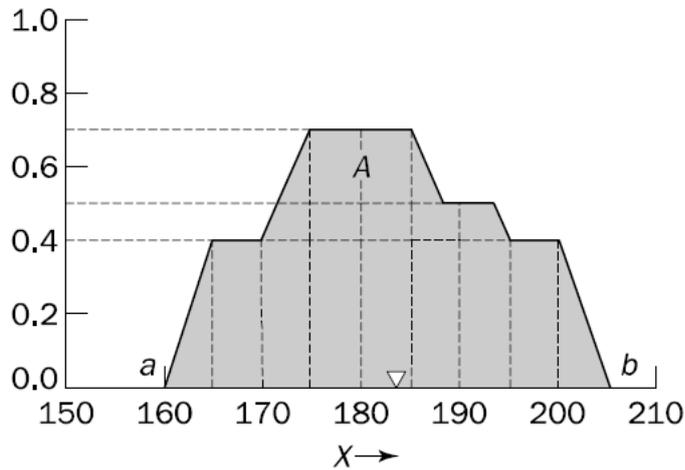


Figure (3-7) : La méthode de défuzzification par centroïde

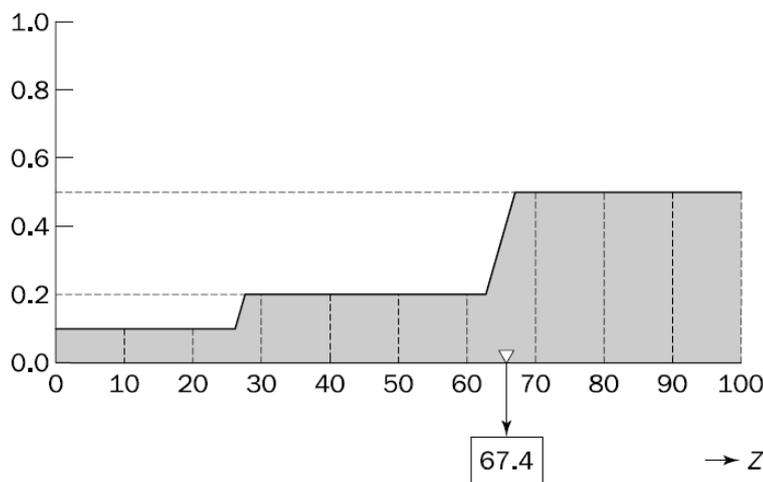


Figure (3-8) : Défuzzification de l'ensemble flou de la variable de solution

$$\text{COG} = \frac{(0+10+20)(0.1)+(30+40+50+60)(0.2)+(70+80+90+100)(0.5)}{0.1+0.1+0.1+0.2+0.2+0.2+0.2+0.5+0.5+0.5+0.5} = 67.4$$

Le résultat de la défuzzification, de la sortie risque z_1 , est de 67,4. Cela signifie, par exemple, que le risque lié à ce projet est de 67,4%.

Conclusion :

Ce chapitre présente une méthode d'intelligence artificielle « la logique floue ». nous avons présenté cette technique avec ses éléments de base : ensembles flous, opérateurs flous et systèmes d'inférence floue(SIF).

L'objectif de prochain chapitre est l'application de cette technique et la technique des RNA présenter en chapitre 2 pour la détection automatique de l'autisme.

Chapitre IV

RÉSULTAT ET INTERPRÉTATION

4.1 Problématique :

À l'occasion de la journée mondiale de l'autisme célébrée le 2.4.2019, le Pr Chakali, sous-directeur de la promotion de la santé mentale au niveau du ministère algérien de la santé, a indiqué qu'il y avait quelque 80 000 autistes en Algérie, soit une prévalence d'1 cas pour 150 naissances.

La question d'un diagnostic précoce pour les enfants porteurs d'un autisme est très sensible et surtout sur le plan du devenir de cet enfant. Si l'enfant est diagnostiqué tôt cela lui permettra une intervention adaptée et rapide donc plus efficace pour une meilleure gestion de son trouble et aider sa famille à faire face aux difficultés rencontrées au quotidien. Mais il faut également réfléchir aux inconvénients du retard pris pour obtenir un diagnostic précoce et qui peut être dû au manque d'expérience des parents ou de la personne qui s'occupe de lui en matière de connaissances sur le développement de l'enfant typique, ou bien par négligence des signes en les interprétant comme un retard du développement.[36]

Le manque d'expérience des professionnels peut également être en cause surtout avec le manque de structures spécialisées, et il arrive que la formation des médecins généralistes ou spécialistes sur la symptomatologie précoce de l'autisme soit pauvre ou alors l'inadaptation des outils habituellement utilisés pour faire le diagnostic pour le plus jeune âge, surtout que les signes précoces peuvent être discrets et ne représentent généralement que de légères déviations par rapport au développement normal.

Pour toutes ces inconvenants, nous nous intéressons dans ce travail à résoudre ces problèmes, pratiquement le problème du manque d'expérience des professionnels par l'implémentation de l'intelligence artificielle pour l'automatisation de diagnostic de l'autisme.

4.2 Etat de l'art

Précédemment ; dans la littérature des maladies psychologiques, la question d'utilisation de l'intelligence artificielle pour l'automatisation de diagnostic a reçu peu d'attention mais dernièrement cette problématique fait l'objet de plusieurs chercheurs :

Fadi Thabtah et al (2018) utilise une méthode d'intelligence computationnelle appelée analyse variable (Va) pour la détection des troubles du spectre autistique (TSA). [37]

E.Puerto et al(2019) proposent un modèle informatique qui utilise une carte cognitive floue multicouche (dénommée MFCM) basée sur des évaluations comportementales standardisées pour diagnostiquer les troubles du spectre autistique (TSA). [38]

Suman Raj AND Sarfaraz Masood (2020) tentent d'explorer la possibilité d'utiliser naïve bayésienne, Support des vecteurs Machines(SVM), Régression logistique , RNA et RNA Convolutionale pour prédire et analyser les problèmes de troubles du spectre autistique chez

l'enfant, l'adolescent et l'adulte. les résultats suggèrent fortement que les modèles de prédictions basées sur RNA convolution fonctionnent mieux sur tous ces ensembles de données).[39]

4.3 Mécanisme et méthodologie de la collecte de la base de données :

4.3.1 tests psychologique :

Après la consultation des psychologues, nous avons choisi deux tests d'autisme mondialement utilisés :

- **La CARS (Childhood Autism Rating Scale = Echelle d'évaluation de l'Autisme Infantile) :[40]**

[La C.A.R.S est une échelle d'évaluation basée sur les comportements.

Elle permet :

- d'identifier les enfants avec autisme et de les distinguer d'enfants présentant d'autres troubles du développement sans trouble autistique associé ;
- d'apprécier l'intensité des troubles autistiques ;
- de mesurer les comportements de l'enfant lors des interactions avec les parents et avec un professionnel.

Elle regroupe 15 catégories :

- Relations sociales
- Imitation
- Réponses émotionnelles
- Utilisation du corps
- Utilisation des objets
- Adaptation au changement
- Réponses visuelles
- Réponses auditives
- Goût-Odorat-Toucher (réponses et modes d'exploration)
- Peur-Anxiété
- Communication verbale
- Communication non verbale
- Niveau d'activité

- Niveau intellectuel et homogénéité du fonctionnement
- Impression générale
 - **ADMINISTRATION / COTATION / NOTATION :**
- L'administration de la CARS nécessite une bonne formation.
- Temps d'administration : de 50 minutes à 1 heure.
- Chaque catégorie est notée sur une échelle de 1 à 4 où 1 représente un fonctionnement normal et 4 un fonctionnement sévèrement perturbé. Les résultats des catégories sont additionnés pour en arriver à un résultat final se situant entre 15 et 60.
- Un score inférieur à 30 ne permet pas d'établir un diagnostic d'autisme.
- Un résultat supérieur à 37 signifie un diagnostic d'autisme sévère.
- Les résultats situés entre 30 et 37 représentent, quant à eux, un diagnostic d'autisme de léger à moyen.

➤ **La Vineland (Echelle d'Evaluation du Comportement Adaptatif) :[41]**

La plupart des systèmes de diagnostic caractérisés spécifient que le retard mental et les troubles psychologiques doivent s'accompagner de difficultés d'adaptation dans la vie quotidienne avant d'être considérés comme cliniquement significatifs. La Vineland permet d'estimer les capacités d'adaptation de l'enfant en analysant son comportement dans 4 domaines de fonctionnement socio-adaptatif :

- la communication (réceptive, expressive, écrite)
- l'autonomie (personnelle, familiale et sociale)
- la socialisation (relations interpersonnelles, loisirs, capacités d'adaptation)
- la motricité (globale et fine)

Chaque item est coté 0 (non acquis), 1 (partiellement acquis) ou 2 (acquis). Le niveau obtenu par l'enfant dans chaque domaine est exprimé en « âge équivalent ».

Les résultats de la Vineland sont utiles dans la planification de prises en charge car cet outil permet l'identification de capacités émergentes qui peuvent être rapidement consolidées si on les utilise pour générer des objectifs qui feront partie d'un projet éducatif individualisé. Parfois nous rencontrons des enfants qui évoluent selon un rythme qui ne permet pas d'identifier des progrès lors d'une réévaluation effectuée à l'aide de certains outils psychométriques (comme le PEP-R) à un intervalle d'un an. La Vineland se compose d'un certain nombre d'items portant sur le développement précoce et nous permet souvent d'identifier des progrès qui ne sont pas forcément détectables par d'autres outils d'évaluation, particulièrement en ce qui concerne les domaines de l'autonomie et de la socialisation.

Les résultats de la Vineland peuvent être essentiels dans la détermination d'un diagnostic différentiel. Par exemple, certains enfants qui présentent un retard sévère du développement manifestent également des comportements autostimulateurs et stéréotypés ainsi que des altérations dans le domaine de la sociabilité. Il est donc parfois difficile de déterminer ce qui domine le tableau clinique, le retard mental ou les traits autistiques. Ces enfants peuvent obtenir un score sur la CARS qui se situe dans la catégorie autistique, mais présenter un profil à la Vineland qui indique qu'il existe un retard homogène des capacités adaptatives et que les niveaux obtenus correspondent au quotient de développement ou à l'âge de développement global.

Les difficultés adaptatives que montrent ces enfants dans les domaines de la communication et de la socialisation sont donc parfois mieux expliquées par la présence d'un retard mental que par la présence d'un syndrome autistique. Un enfant autiste, en revanche, montre typiquement des altérations qualitatives dans les domaines de la communication et de la socialisation qui ne correspondent pas à son niveau de développement cognitif.

4. 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 Tlemcen qui ont effectué des tests sur des enfants atteints des troubles de comportements ou bien autistes.

La base a été limitée à 49 cas à cause de la situation sanitaire de notre pays.

La base de données réalisée contient 21 filles et 28 garçons dont l'âge varie de 3 ans à 6 ans.

Nous avons choisi des enfants dans la période de la petite enfance pour avoir la possibilité d'un diagnostic précoce.

Les figures suivantes présentent une étude statistique des différents cas de la base selon l'âge et le sexe.

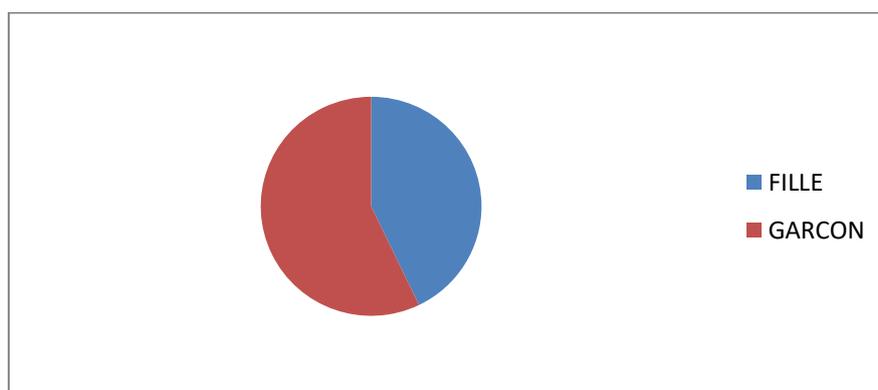


Figure (4-1) : représentation graphique de nombre de filles et garçons traités

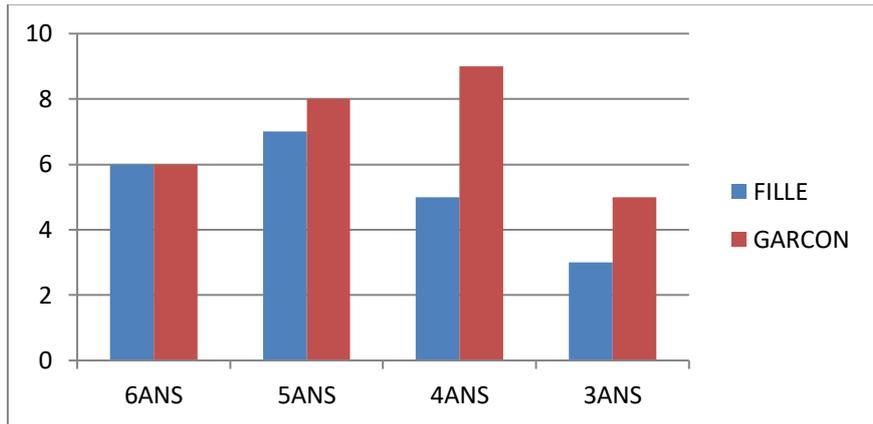


Figure (4-2) : nombre de filles et garçons selon l'âge

4.4 Travail réalisé :

Le manque d'expérience des professionnels peut être la cause d'un mauvais diagnostic ou un diagnostic tard de l'autisme donc le but de ce travail est l'automatisation des tests cités précédemment par des systèmes intelligents, nous avons choisi deux systèmes trop robustes en classification intelligente :

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

4.4.1 Automatisation de diagnostic par réseaux de neurones artificiels

Dans cette partie de notre travail, nous avons essayé d'automatiser les deux tests cités précédemment plus le diagnostic final qui englobe les deux tests dans le but d'enregistrer l'expertise humaine dans un système intelligent

4.4.1.A Automatisation de la CARS par RNA

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

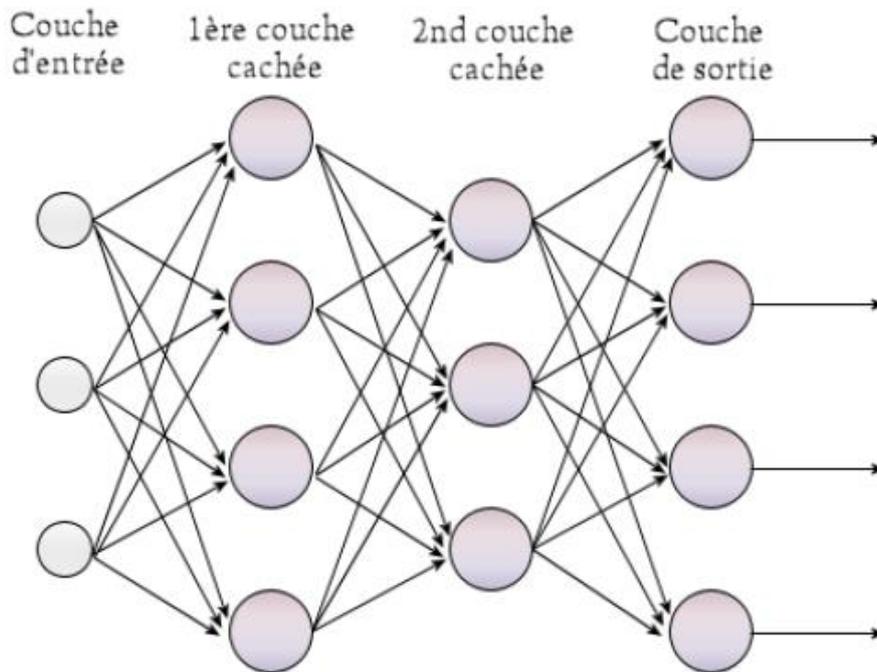


Figure 4.3 : perceptron multicouche

Afin de pouvoir tester la prédiction de notre modèle, nous avons divisé notre base en deux, base d'apprentissage (51%) : contiennent 25 cas, base de test (49%) contient 24 cas.

- **la phase d'apprentissage** : la phase de construction du modèle, il s'agit de déterminer un classifieur supervisé qui donne l'appartenance à une classe sachant l'ensemble des variables explicatives.[42]
- **La phase de test** : consiste à prédire l'étiquette des données de test, connaissant le modèle préalablement appris. Ensuite on compare nos prédictions obtenues avec les vraies étiquettes pour juger la performance du modèle.[42]

Pour la phase d'apprentissage nous utilisons un apprentissage classique en appliquant la règle de la rétropropagation 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 15 entrées qui correspondent aux 15 questions de test de la CARS, Le psychologue va introduire ses repenses, ces derniers vont être représentés par leurs chiffres selon le barème précisé en annexe (voir Annexe A).
- **Couche cachée** : le nombre de neurones cachés est fixé d'une manière ad hoc (voir tableau 4.1) ; Les fonctions d'activation utilisées sont des fonctions du type sigmoïde.

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

La fonction d'activation est une fonction linéaire (purelin) qui assure les sorties suivantes :

- **0** → Non autistique.
- **1** → légèrement a moyennement autistique.
- **2** → sévèrement autistique.

Avant de commencer la phase d'apprentissage, plusieurs paramètres ont été ajustés. Le nombre d'itérations fixé à 1000, a permis de réaliser un apprentissage satisfaisant. Par ailleurs il est clair que ce dernier paramètre est important : s'il est trop grand, le réseau risqué de réaliser un sur-apprentissage, au contraire s'il est trop petit, l'apprentissage ne sera pas conduit à son terme. Les poids synaptiques initiaux ont été choisis d'une manière aléatoire. Le seuil de l'erreur globale est choisi d'une manière ad hoc (voir le tableau 4-1).

Après plusieurs essais expérimentaux. Le pas d'apprentissage choisi égal à 0.05 L'apprentissage a été poursuivi jusqu'à ce que l'erreur atteigne le seuil déjà fixé.

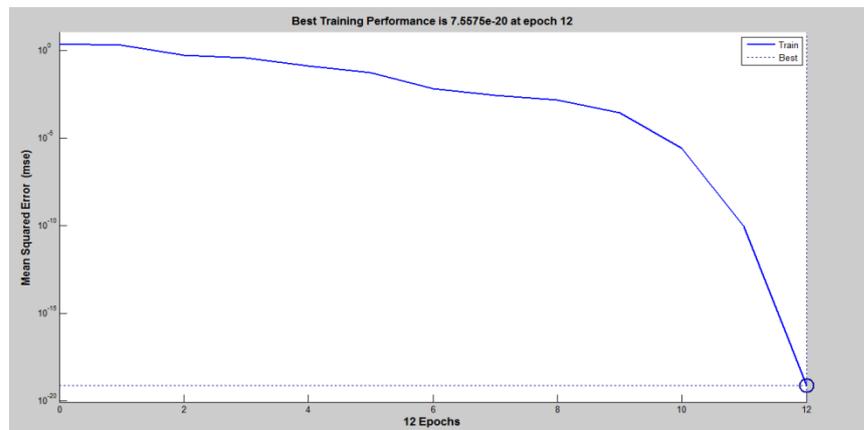


Figure (4-4) : courbe d'apprentissage d'un classifieur

✚ Résultats et discussions :

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.

Classifieurs	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSC1	10	1e-50	17	7	70,83
CLSC2	7	1e-1	19	5	79,16
CLSC3	7	1e-3	20	4	83,33
CLSC4	7	1e-10	22	2	91,66

Tableau (4-1) : les performances des classifieurs de la CARS

NNC : 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.

CLSC : classifieur CARS

Nous constatons également que le classifieur nommé « CLSC4 » qui a la configuration (15 ; 7 ; 1) représente des performances optimales, où le taux de classification est égal à 91.66% (2 cas seulement qui sont mal classés).

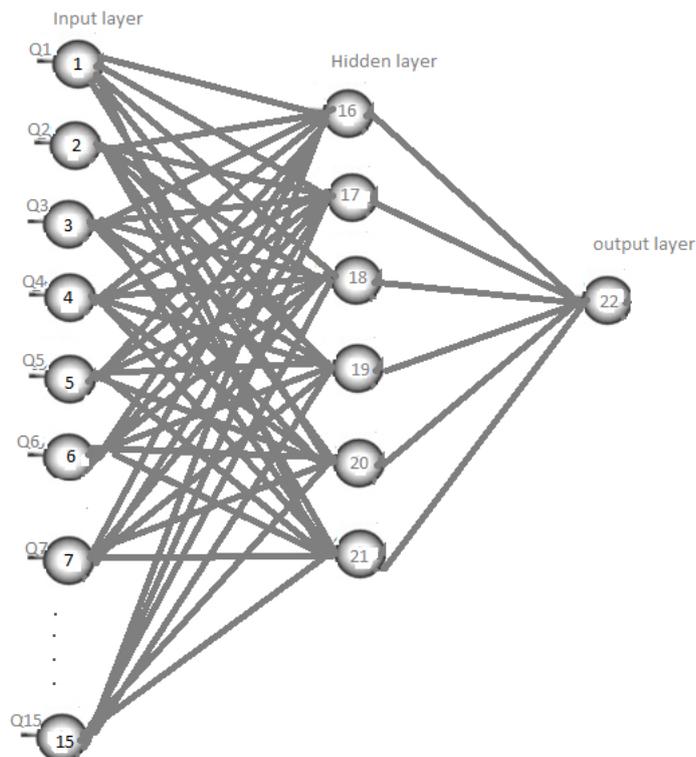


Figure 4-5 : structure de meilleur classifieur pour la détection d'autisme par la CARS

Cette expérience nous a montré l'efficacité d'utilisation des réseaux de neurones artificiels pour un diagnostic d'autisme par la CARS les perspectives de cette approche est l'hybridation de ce test avec le signal physiologique EEG pour avoir une relation entre l'autisme et les anomalies de l'activité cérébrale et les troubles neurologiques.

4.4.1. B Automatisation de Vinland par RNA :

Le but de cette phase est la détection de degré de trouble de comportement chez les enfants déjà diagnostiqués par le premier test, en automatisant le test Vinland (voir l'annexe B) par les RNA.

✚ .Structure du classifieur

- **Couche d'entrée** : la première couche du perceptron utilisé, contient 6 entrées qui correspondent aux : 4 domaines de Vinland (domaine de communication, domaine d'autonomie, domaine de socialisation et le domaine motrice) ces derniers vont être représentés par la somme des réponses aux questions correspond à chaque domaine selon un barème précisé (voir l'annexe B). plus l'âge de l'enfant et la somme des points de différents domaines de test.
- **Couche cachée** : nombre de neurones cachés sont fixés d'une manière ad hoc (voir tableau 4.2) Les fonctions d'activation sont des fonctions du type sigmoïde.
- **Couche de sortie** : contient évidemment un seul neurone qui correspond au résultat du diagnostic.

La fonction d'activation est une fonction linéaire (purelin) qui assure les sorties suivantes :

- → **trouble de comportement sévère.**
- → **trouble de comportement moyen.**
- → **trouble de comportement légère.**
- → **pas de trouble de comportement.**

- **Résultats et discussions :**

- 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.

Classifieurs	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSV1	6	1e -10	23	1	95,83
CLSV2	6	1e -20	24	0	100
CLSV3	6	1e - 10	17	7	70,83

Tableau (4-2) : les performances des classifieurs vinland

CLSV : classifieur vinland

Nous constatons également que le classifieur nommé « CLSV2 » qui a la configuration (6 ; 6 ; 1) représente des performances optimales, où le taux de classification est égal à 100% (tous les cas sont classés correctement) .

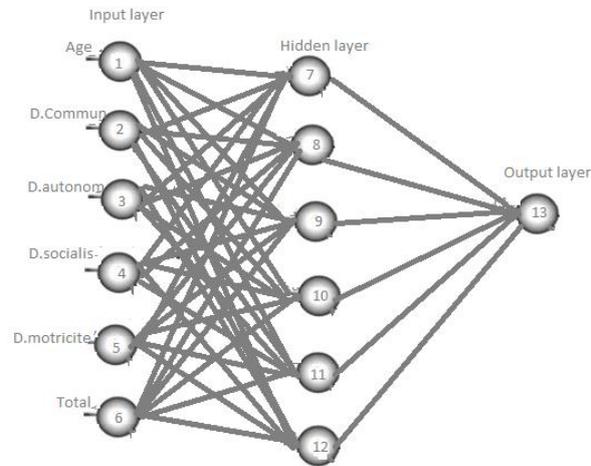


Figure (4-6) : structure de meilleur classifieur pour la détection d'autisme par VINLAND

Les résultats confirment que l'utilisation des RNAs pour diagnostiquer le trouble de comportement chez les enfants à nous fournit des performances palpitant passionnant.

Les psychologues passent par plusieurs calculs pour avoir le diagnostic, donc ce système peut aider les psychologues pour avoir un diagnostic direct sans calcul surtout en cas de manque d'expérience professionnel.

4.4.1. C Automatisation globale par RNA :

Cette partie consiste à créer un classifieur qui combine les deux tests précédents.

La réalisation de cette étape a nécessité l'intervention d'un psychologue, afin d'obtenir un diagnostic général pour chaque individu du panel.

Le classifieur généré se base essentiellement sur l'expertise du psychologue et les différentes entrées des classifieurs précédents (CLSC, CLSV).

Le but de cette réalisation est avoir la possibilité d'enregistrer l'expertise professionnelle des psychologues dans un système intelligent.

✚ .Structure du classifieur

- **Couche d'entrée** : un nombre de 20 neurones sont utilisés pour la couche d'entrée, cela correspond aux deux tests effectués précédemment : 15 neurones correspondent aux questionnaires de la CARS, 4 neurones correspondent aux 4 domaines de Vinland (domaine de communication, domaine d'autonomie, domaine de socialisation et le domaine moteur) plus la somme des points des différents domaines de Vinland.
- **-Couche cachée** : nombre de neurones cachés est fixée d'une manière ad hoc (voir tableau 4.3) Les fonctions d'activation sont des fonctions du type sigmoïde.
- **Couche de sortie** : contient évidemment un seul neurone qui correspond au diagnostic général défini par le psychologue.

La fonction d'activation est une fonction linéaire (purelin) qui assure les sorties suivantes :

1. → **enfant présente un trouble de comportement mais n'est pas autiste (il va passer par un autre test).**
2. → **enfant ne présente aucun problème.**
3. → **enfant présente un état légèrement grave.**
4. → **enfant présente un état moyennement grave.**
5. → **enfant présente un état très grave.**

✚ Résultats et discussions

Les performances du meilleur classifieur consacré au diagnostic global sont présentées dans le tableau suivant :

Classifieurs	NCC	Er	CCC	CCF	CCI
CLSG1	7	1e -13	10	14	58,33
CLSG2	20	1e-25	17	7	70,83
CLSG3	7	1e – 3	15	9	62,50
CLSG4	6	1e- 12	20	4	83.33

Tableau (4-3) : représentation des exemples de diagnostic général

CLSG : classifieur du diagnostic global.

Le tableau ci-dessus exprime les différentes performances des classifieurs utilisées pour le diagnostic global. Les meilleures performances obtenues se sont celles du classifieur «CLSG4» qui représente un bon taux de classification 83.33% (4 cas mal classés).

Ceci nous permet de conclure que l'expertise des psychologues pour le diagnostic d'autisme peut se mettre dans un système intelligent avec un taux de reconnaissance élevé.

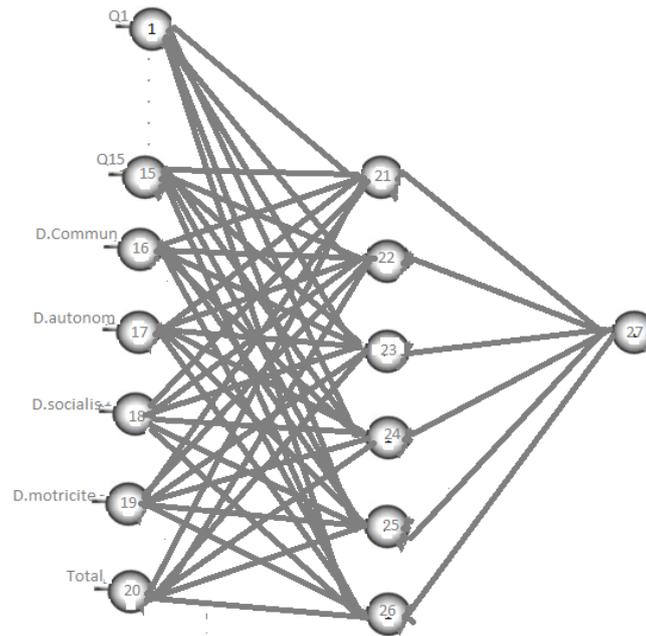


Figure (4-7) : structure de meilleur classifieur pour la détection d'autisme global

4.4.2 Automatisation de diagnostic par les systèmes d'inférence floue (SIF)

Dans cette partie de ce travail ; nous avons utilisé une technique très connue en intelligence artificielle « la logique floue », cette technique a beaucoup de succès en littérature à cause de sa capacité d'automatisation et la modélisation de comportement humain.

Le but d'utilisation de systèmes d'inférence floue (SIF) pour l'automatisation d'autisme chez les enfants est d'avoir un classifieur robuste avec une différence de degré de gravité pour les personnes classées dans la même classe.

Le principe d'un système flou, c'est de pouvoir calculer des paramètres de sorties en fournissant au système un ensemble de règles formulées en langage naturel. Un système flou est composé de la fuzzification, le moteur d'inférence (raisonnement flou) et la défuzzification (voir la figure4-8).

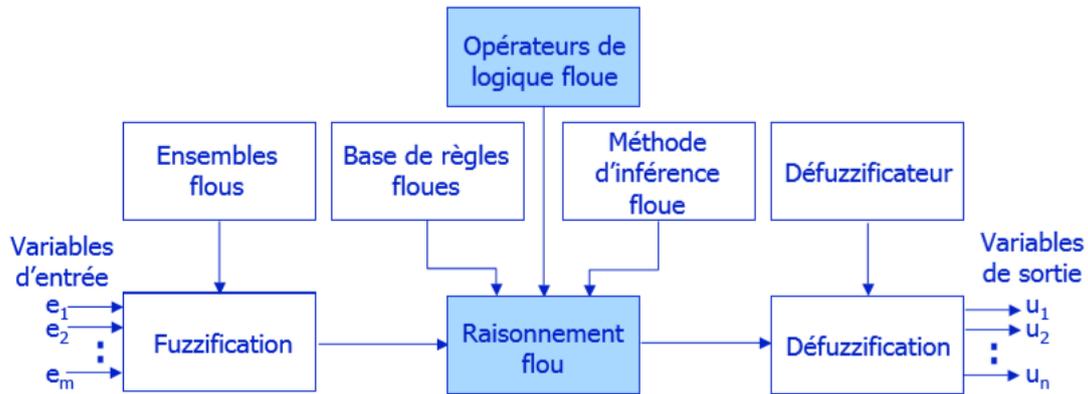


Figure (4-8) : fonctionnements d'un système flou (SIF)

Dans notre travail nous avons appliqué un système d'inférence flou (SIF) du type Mamdani (voir le chapitre 3). Pour l'automatisation du diagnostic de l'autisme. Les entrées (input) de système c'est la somme des réponses de la CARS et la sortie de Vinland. La sortie (output) est le diagnostic global.

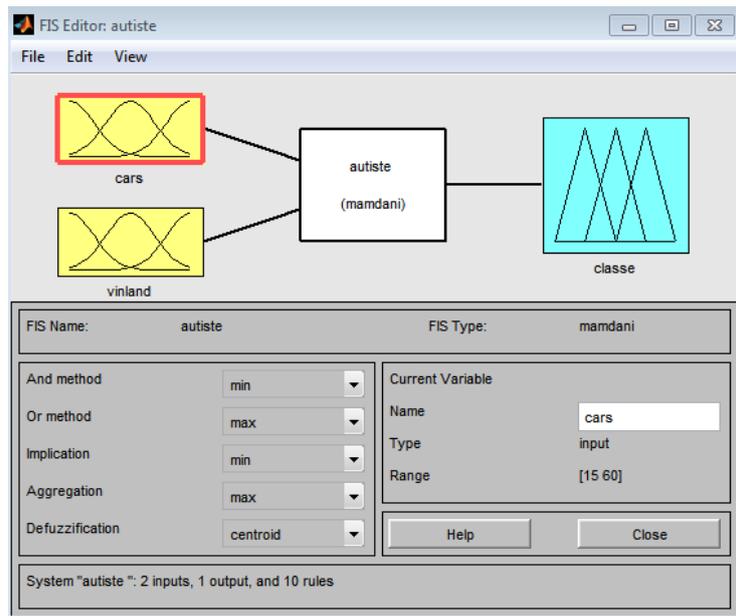


Figure (4-9) : système d'inférence flou utilisé (SIF)

4.4.2.1 La fuzzification :

La fuzzification a pour le but de transformer une donnée numérique en variable linguistique. Pour cela, le concepteur du système flou doit créer des fonctions d'appartenance. Une fonction d'appartenance est une fonction qui permet de définir le degré d'appartenance d'une donnée numérique à une variable linguistique (voir chapitre3).[43]

- **Le choix des fonctions d'appartenance**

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

1-choix des fonctions d'appartenance input

- **CARS** : pour la CARS, la fonction d'appartenance choisie est la fonction triangulaire (voir la figure 4.10).

Nous avons utilisé 3 sous-ensembles flous correspond à la sortie de la CARS : non autistiques, légèrement autistiques et sévèrement autistiques.

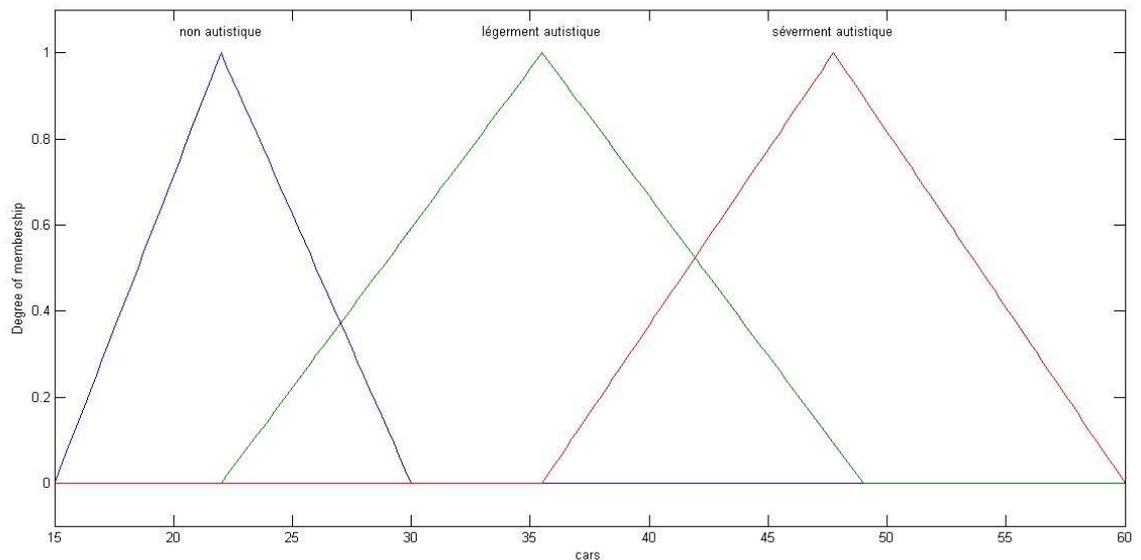


Figure (4-10) : fonction d'appartenance input 1 (test de LA CARS)

- **Vinland** : pour Vinland la fonction d'appartenance choisie est la fonction triangulaire (voir la figure 4.8).

Nous avons utilisé 4 sous-ensembles floues correspond à la sortie de Vinland : très mauvais trouble de comportement, mauvais trouble de comportement, trouble de comportement moyen et comportement normal.

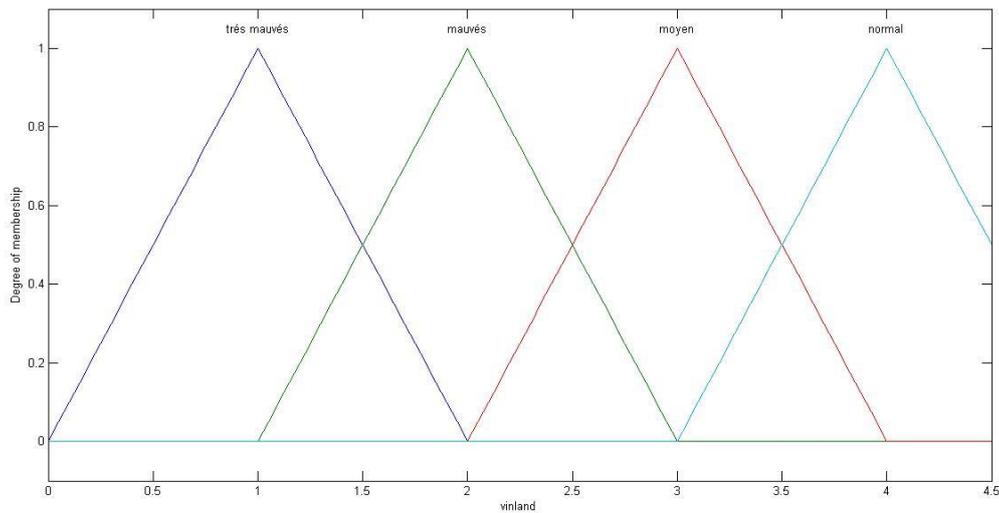


Figure (4-11) : fonction d'appartenance input 2 (test de Vinland)

2-choix des fonctions d'appartenance output

Dans notre système le output correspond au diagnostic global donné par les psychologues en éliminant les cas qui présentent une autre maladie (la première classe).

Nous avons utilisé 4 sous-ensembles flous : normal, légèrement grave, moyennement grave et très grave. Le type de la fonction d'appartenance utilisée est la fonction « trapèze ». (Voir la figure 4.12)

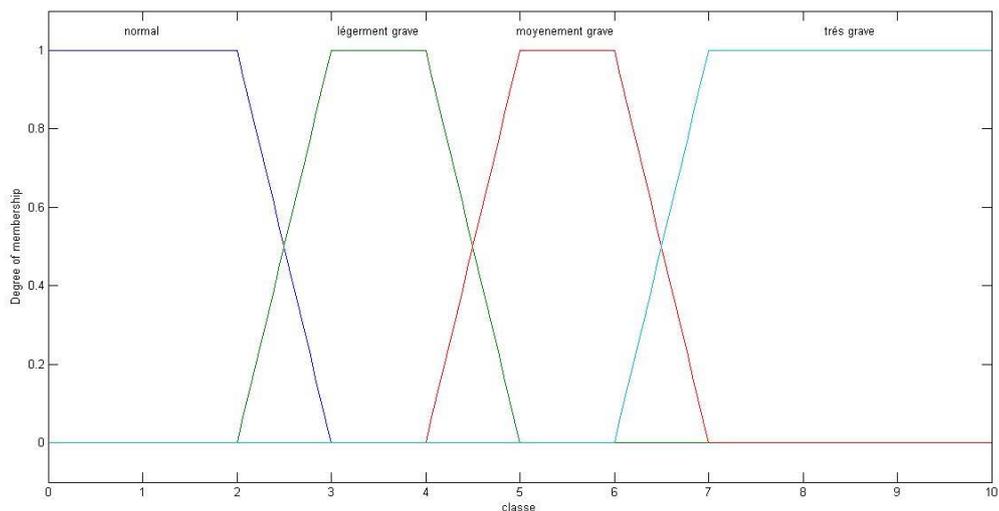
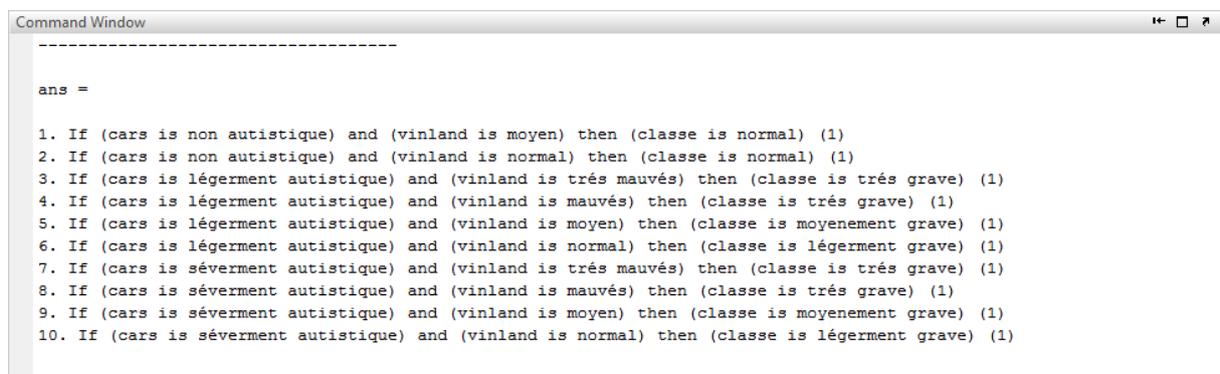


Figure (4-12) : fonction d'appartenance output

4.4.2.2 évaluation des règles

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

- 1- si (cars est non autistique) ET (Vinland est moyen) ALORS (le patient est normal)
2. si (cars est non autistique) ET (Vinland est normal) ALORS (le patient est normal)
3. si (cars est légèrement autistique) ET (Vinland est très mauvais) ALORS (le patient est très grave)
4. si (cars est légèrement autistique) ET (Vinland est mauvais) ALORS (le patient est très grave)
5. si (cars est légèrement autistique) ET (Vinland est moyen) ALORS (le patient est moyennement grave)
6. si (cars est légèrement autistique) ET (Vinland est normal) ALORS (le patient est légèrement grave)
7. si (cars est sévèrement autistique) ET (Vinland est très mauvais) ALORS (le patient est très grave)
8. si (cars est sévèrement autistique) ET (Vinland est mauvais) ALORS (le patient est très grave)
9. si (cars est sévèrement autistique) ET (Vinland est moyen) ALORS (le patient est moyennement grave)
10. si (cars est sévèrement autistique) ET (Vinland est normal) ALORS (le patient est légèrement grave)



```

Command Window
-----
ans =

1. If (cars is non autistique) and (vinland is moyen) then (classe is normal) (1)
2. If (cars is non autistique) and (vinland is normal) then (classe is normal) (1)
3. If (cars is légèrement autistique) and (vinland is très mauvais) then (classe is très grave) (1)
4. If (cars is légèrement autistique) and (vinland is mauvais) then (classe is très grave) (1)
5. If (cars is légèrement autistique) and (vinland is moyen) then (classe is moyennement grave) (1)
6. If (cars is légèrement autistique) and (vinland is normal) then (classe is légèrement grave) (1)
7. If (cars is sévèrement autistique) and (vinland is très mauvais) then (classe is très grave) (1)
8. If (cars is sévèrement autistique) and (vinland is mauvais) then (classe is très grave) (1)
9. If (cars is sévèrement autistique) and (vinland is moyen) then (classe is moyennement grave) (1)
10. If (cars is sévèrement autistique) and (vinland is normal) then (classe is légèrement grave) (1)
-----

```

Figure (4-13) : Les règles de décision (après exécution de programme)

4.4.2.3 interférence

Système d'Inférence Floue (SIF) a comme 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 le savoir-faire de l'expert pour notre cas (psychologue).

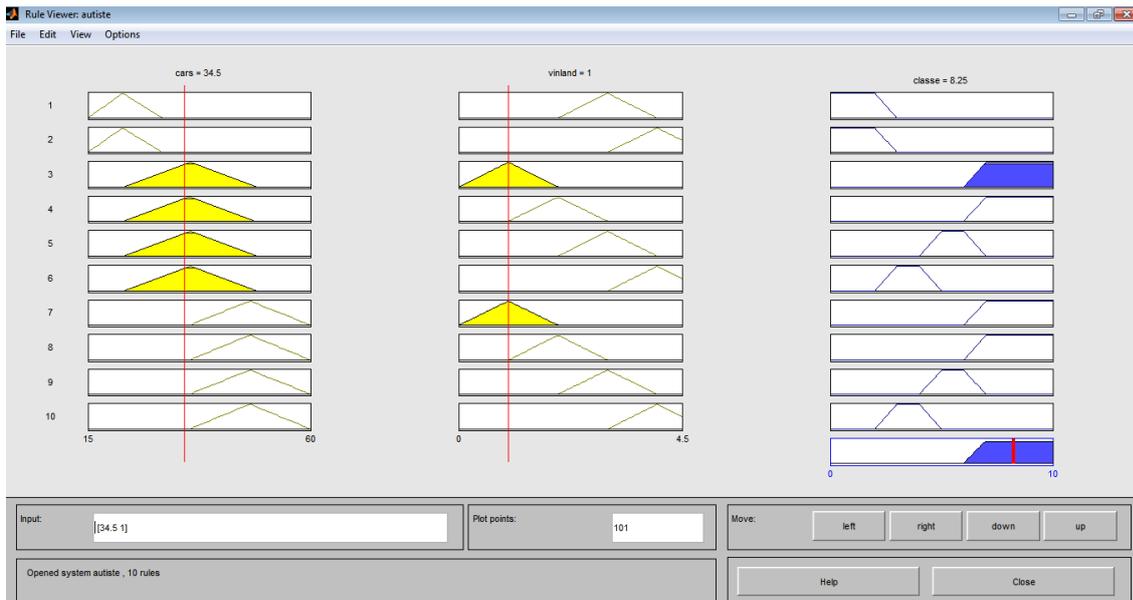


Figure (4-14) : interférence de notre system (agrégation des règles)

4.4.2.4 Défuzzification

La défuzzification est le processus de conversion des degrés d'appartenance des variables linguistique de sortie à leurs termes linguistiques en valeurs numériques. Pour notre cas le rôle de la défuzzification est de trouver le diagnostic et le degré de gravité de patient sur une échelle de [1- 10].

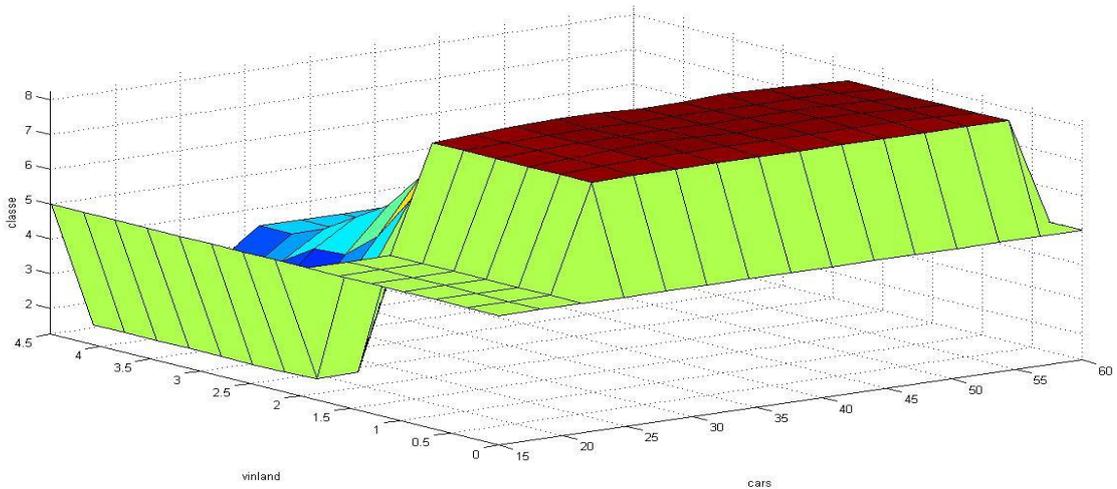


Figure (4-15) : surface des outputs en fonction des inputs de notre système après défuzzification

Cette figure 3D présente la sortie (classe) en fonction des entrées (cars, vinland).

Le tableau (4-4) présente la sortie de notre SIF (après défuzzification), pour tous les enfants traités dans cette partie de travail.

Patient	Défuzzification	Classement des psychologue	Diagnostic
1	8,3	5	enfant présente un état très grave.
2	7.9	5	enfant présente un état très grave.
3	8.9	5	enfant présente un état très grave.
4	9	5	enfant présente un état très grave.
5	7.2	5	enfant présente un état très grave.
6	7	5	enfant présente un état très grave.
7	8.1	5	enfant présente un état très grave.
8	7.2	5	enfant présente un état très grave.
9	7.5	5	enfant présente un état très grave.
10	7.5	5	enfant présente un état très grave.
11	9.25	5	enfant présente un état très grave.
12	7.9	5	enfant présente un état très grave.
13	8,16	5	enfant présente un état très grave.
14	8,91	5	enfant présente un état très grave.
15	8,25	5	enfant présente un état très grave.
16	7.5	5	enfant présente un état très grave.
17	7.66	5	enfant présente un état très grave.
18	8,21	5	enfant présente un état très grave.
19	8,3	5	enfant présente un état très grave.
20	8,24	5	enfant présente un état très grave.

21	8,20	5	enfant présente un état très grave.
22	8,16	5	enfant présente un état très grave.
23	5,5	4	enfant présente un état moyennement grave
24	6.32	4	enfant présente un état moyennement grave
25	2.5	2	enfant ne présente aucun problème
26	5,5	4	enfant présente un état moyennement grave
27	5,65	4	enfant présente un état moyennement grave
28	2,22542016806722	2	enfant ne présente aucun problème
29	5,00	4	enfant présente un état moyennement grave
30	5,85	4	enfant présente un état moyennement grave
31	2.4	2	enfant ne présente aucun problème
32	569	4	enfant présente un état moyennement grave
33	5,5	4	enfant présente un état moyennement grave
34	5,68	4	enfant présente un état moyennement grave
35	6.1	4	enfant présente un état moyennement grave
36	6.5	4	enfant présente un état moyennement grave
37	3,5	3	enfant présente un état légèrement grave
38	3,50	3	enfant présente un état légèrement grave
39	3,96	3	enfant présente un état légèrement grave
40	3,22	3	enfant présente un état légèrement grave
41	3,6	3	enfant présente un état légèrement grave
42	3,91	3	enfant présente un état légèrement grave
43	3,5	3	enfant présente un état légèrement grave
44	3,58	3	enfant présente un état légèrement grave

Tableau (4-4) : la sortie du SIF pour tous les enfants traités dans notre étude

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.

Exemple le premier et le deuxième cas appartient à la classe 5 « état très grave », mais d'après les résultats obtenus par SIF le premier cas a 8.3 par contre le deuxième cas à 7.9 donc le premier enfant est plus grave que le deuxième.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous sommes intéressés à l'automatisation de diagnostic de l'autisme chez les enfants par deux techniques d'intelligence artificielle : RNA et SIF.

La première partie de ce travail consiste à automatiser deux tests internationaux (CARS et Vinland) par RNAs, ensuite une automatisation de diagnostic global qui englobe les deux tests par le même système.

La deuxième partie consiste à utiliser les systèmes d'interférences floues (SIF) pour avoir une différence de degré de gravité pour les personnes classées dans la même classe.

Nous avons réussi à atteindre des résultats vraiment très satisfaisants et prometteurs, 100 % taux de reconnaissance pour le test VINLAND, 91.66 % pour le LA CARS et 83.33 % pour le diagnostic global par RNA. Aussi le système d'interférence floue a réussi à classer tous les cas traités plus un degré de gravité pour les patient classés dans la même classe.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Généralement, le domaine de diagnostic des troubles psychologique est difficile à quantifier, car il est reposé sur des visions approximatives, ces derniers sont souvent variables, et cela dépend de plusieurs critères citons : le courant psychologique, la spécialité du psychologue ou bien même son expertise. Le défi était toujours comment rendre cette discipline en phase avec le progrès technologique (comme celle de la médecine) en introduisant les nouvelles techniques qui reposent sur l'intelligence artificielle. [44]

Les travaux présentés dans ce manuscrit de thèse s'inscrivent dans ce contexte, où nous avons automatisé les tests de diagnostic de l'autisme en utilisant deux techniques d'intelligences artificiels réseaux de neurones et système d'interférence floue

Les travaux engagés dans notre problématique se répartirent en deux parties

Dans la première contribution, nous avons automatisé deux tests d'autisme (CARS et Vinland) en réalisant des classifieurs par RNA, le classifieur de la CARS a donné de très bons résultats avec un taux de classification correcte moyenne égale à 91% pour Vinland les résultats étaient vraiment optimaux nous avons atteint un taux égal à 100%.

Après nous avons automatisé le diagnostic global qui englobe les deux tests (ce diagnostic est donné par des psychologues), les résultats obtenus sont satisfaisants, nous avons atteint un taux égal à 83, 3

Dans la deuxième contribution, nous avons utilisé les systèmes d'interférences floue, pour avoir une différence de degré de gravité pour les personnes classées dans la même classe, le système à réussi d'obtenir un taux de réussite de 100% plus un échèle sur l'état de gravité de patient.

Les perspectives de ce travail sont l'hybridation de ces tests avec le signal physiologique EEG pour avoir une relation entre l'autisme et les anomalies de l'activité cérébrale et les troubles neurologiques.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. [En ligne] <https://www.passeportsante.net/>.
- [2]. **L.kanner**. "Autistic disturbances of affective contact". 1943.
- [3]. **H.Asperger**. " Autistic psychopathy in childhood " . 1944.
- [4]. **B.Rogé**. " Autisme comprendre et agir". s.l. : Dunod, 2008.
- [5]. " A la découverte de l'autisme ". *ouvrage collectif sous la direction de Dominique Yvon*. s.l. : Dunod, 2014.
- [6]. "Autisme et autres troubles envahissants du développement, interventions éducatives et thérapeutiques coordonnées chez l'enfant et l'adolescent". *La RBPP*. s.l. : HAS et Anesm, 2012.
- [7]. **Traduction française par J. D. Guelfi et al.** " DSM-5: Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux ". *American Psychiatric Association*. 2013.
- [8]. [En ligne] <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/maladies/trouble-spectre-autistique-tsa/signes-et-symptomes-trouble-spectre-autistique-tsa.html>.
- [9]. " Autisme Montréal". [En ligne] 2014. <https://autisme-montreal.com/>.
- [10]. [En ligne] <https://www.autisme.ch/>.
- [11]. **A.Schmitt, Benoit Le Blanc, M.Corsini, C.Lafond et J.Bruzek**. "Les réseaux de neurones artificiels. Un outil de traitement de données prometteur pour l'anthropologie.". *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, Vol. 13 (1-2) | 2001.
- [12]. **s.tisserant**. [En ligne] <https://sylvain-tisserant.pedaweb.univ-amu.fr/statistiques/chapitre%207.pdf>.
- [13]. **Touzet, C.** "LES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS". *introduction au connexionnisme. EC2*. Vol. . EC2 1992.
- [14]. [En ligne] <https://www.lebigdata.fr/>.
- [15]. **S.ADDOU**. " Détection automatique du cancer du sein pour un système neuro-génétique multiobjectif ". *memoire de master* . 2016.
- [16]. [En ligne] <https://www.juripredis.com/fr/blog/id-19-demystifier-le-machine-learning-partie-2-les-reseaux-de-neurones-artificiels>.
- [17]. **E.BRAKNI**. "RÉSEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS APPLIQUÉS À LA MÉTHODE ÉLECTROMAGNÉTIQUE TRANSITOIRE InfiniTEM". *mémoire de master 2011*.

- [18]. **E.Viennet**. "Réseaux à fonctions de base radiales". 2006.
- [19]. **B.Virole**. "Réseaux de neurones et psychométrie". *Editions du Centre de Psychologie Appliquée-ECPA*. 2001.
- [20]. **RIZKALLA, N.** " Nanoparticules et réseaux de neurones artificiels : de la préparation à la modélisation ". *thèse de doctorat de l'université de Montréal*. 2005.
- [21]. **A.ZARA, A.MALLE**. " détection et identification de l'hépatite par les systèmes intelligents ". *Mémoire master 2019*.
- [22]. **M.BENDIMERAD**. "Amélioration des performances d'un classifieur neuronal : application médicale". *thèse de doctorat de l'université de tlemcen* .
- [23]. **A.BOUHACIDA, A.HADJAR**. "Détection automatique du trouble fonctionnel du foie par un système neuro flou génétique ". *mémoire de master* . 2015.
- [24]. [En ligne] <https://www.ionos.fr/digitalguide/web-marketing/search-engine-marketing/quest-ce-quun-reseau-neuronal-artificiel>.
- [25]. **B.Bouchon-Meunier**. " *la logique floue* ". 1993.
- [26]. **j.Godjevac**. " *Idées nettes sur la logique floue* ". s.l. : Première édition.suisse, 1999.
- [27]. **B.Russell**. [En ligne] <https://www.slideserve.com/kamal/logique-floue>.
- [28]. **F.Dernoncourt**. " *Introduction à La Logique Floue* ". paris : s.n., 2011.
- [29]. **B.M.Bernadette**. " *Logique floue, principes, aide à la décision* ". s.l. : Lavoisier, 2003.
- [30]. **M.Sahraoui**. " controle robuste des systèmes non linéaires par les approches de l'intelligence artificielle ". *these de doctorat en sciences* .
- [31]. **H.Khemissi**. " APPLICATION DES SYSTEMES HYBRIDES (NEURO-FLOUS) A LA MODELISATION DE LA SALINITE DES COURS D'EAU : CAS DU BASSIN VERSANT TAFNA ". *these de doctorat en Sciences Agronomiques*. 2019.
- [32]. **A.Bouzidi**. " LES SYSTEMES D'INFERENCE FLOUS ". *cours la logique floue* .
- [33]. **S.Boukaka**. " RÉALISATION D'UNE BIBLIOTHÈQUE DE LOIS DE COMMANDE ADAPTATIVE POUR MSAP ". *mémoire de master* . 2015.
- [34]. **N.Michael**. " *Artificial intelligence a guide to intelligent systems* ". 2005.
- [35]. **G.Cormier**. " systèmes Intelligents ". *cours de la logique floue , inuversité de Moncton* .
- [36]. **C.Loriane**. " Du diagnostic à la prise en charge d'un enfant autiste en âge préscolaire: dans quelle mesure observe-t-on une atténuation des troubles sensoriels? ". *Thèse de doctorat. Haute Ecole de Travail Social*. 2006.

- [37]. "A new computational intelligence approach to detect autistic features for autism screening.". **F.Thabtah, F.Kamalov, & K.Rajab.** P 112-124, s.l. : International journal of medical informatics, 2018, Vol. 117.
- [38]. "Using multilayer fuzzy cognitive maps to diagnose autism spectrum disorder." . **E.Puerto, J.Aguilar, C.López, & D.Chávez.** P 58-71, s.l. : Applied soft computing, 2019, Vol. 75.
- [39]. "Analysis and detection of autism spectrum disorder using machine learning techniques.". **S.Raj, & S.Masood.** P 994-1004, s.l. : Procedia Computer Science , 2020, Vol. 167.
- [40]. " Centre ressources autismes ". [En ligne] <https://www.cra-npdc.fr/>.
- [41]. **K.KAYE.** " *L'apport clinique des données objectives obtenues à l'aide d'outils d'évaluation dans le diagnostic et le suivi thérapeutique d'enfants présentant un trouble envahissant du développement.*". 2008.
- [42]. **R.CHAFI.** " *Qu'est ce que le Machine Learning ?* ". 2016.
- [43]. [En ligne] <http://www.ferdinandpiette.com/>.
- [44]. **R.DJABBOUR, K.F.BELGHOMARI.** " *L'automatisation du diagnostic du stress psychologique à l'aide d'un système intelligent* " mémoire de master 2019

ANNEXES

ANNEXE A

CARS-T

ÉCHELLE D'ÉVALUATION DE L'AUTISME INFANTILE

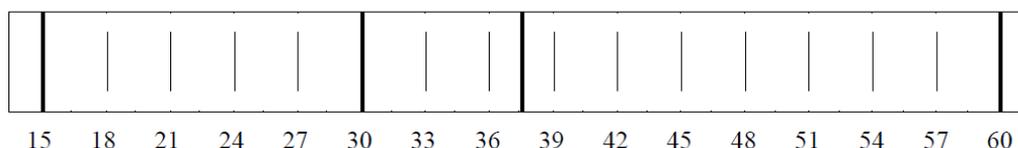
Eric SCHOPLER et col.
Traduction et adaptation française : Bernadette ROGÉ

CAHIER DE NOTATION

Nom			
Date de l'examen	Année	Mois.....	Jour.....
Date de naissance	Année	Mois.....	Jour.....
Âge chronologique	Année	Mois.....	
Examineur			

SCORES AUX DIFFÉRENTES CATÉGORIES

<input type="text"/>																	
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	SCORE TOTAL		



NON AUTISTIQUE

LÉGÈREMENT
À MOYENNEMENT
AUTISTIQUE

SÉVÈREMENT AUTISTIQUE

CONSIGNES D'ADMINISTRATION

Pour chaque catégorie, utiliser l'espace prévu en dessous de chaque item pour prendre des notes sur les comportements à évaluer. Lorsque l'observation est terminée, coter les comportements correspondant à chaque item. Pour chaque item, entourer le nombre qui correspond le mieux à la description du comportement de l'enfant. Il est possible de nuancer la description en utilisant les notes intermédiaires 1,5 - 2,5 - 3,5. Pour chaque item, des critères de cotation abrégés sont fournis. Se reporter au chapitre 2 du Manuel pour prendre connaissance des critères de cotation détaillés.

I. RELATIONS SOCIALES

1. **Pas de difficulté ou d'anomalie dans les relations avec les personnes.** Le comportement de l'enfant est approprié pour son âge. Un certain degré de timidité, de gêne ou de contrariété lie au fait d'être guidé dans les activités peut être observé, mais pas davantage que chez les enfants normaux du même âge
1,5
2. **Anomalies mineures dans les relations.** L'enfant peut éviter de regarder l'adulte dans les yeux, peut éviter l'adulte ou se montrer réticent si l'interaction est initiée de manière forcée, être excessivement timide, être moins sensible à la présence de l'adulte qu'il ne serait normal ou s'agripper aux parents légèrement plus souvent que la plupart des enfants du même âge.
2,5
3. **Anomalies moyennes dans les relations.** L'enfant présente parfois des comportements de retrait, il paraît insensible à la présence de l'adulte. Une intervention importante et durable peut parfois être nécessaire pour attirer l'attention de l'enfant. L'enfant initie un minimum de contact
3,5
4. **Anomalies sévères dans les relations.** L'enfant est constamment en retrait et insensible à ce que fait l'adulte. Il ne répond pratiquement jamais à l'adulte et ne cherche presque jamais le contact avec lui. Seuls les efforts les plus prolongés pour attirer l'attention de l'enfant peuvent avoir un effet.

OBSERVATIONS :

II. IMITATION

1. **Imitation appropriée.** L'enfant peut imiter des sons, des mots et des mouvements qui correspondent à son niveau.
1,5
2. **Imitation légèrement anormale.** La plupart du temps, l'enfant imite des comportements simples tels que taper des mains ou reproduire des sons. Occasionnellement, il n'imité que s'il y est poussé ou après un délai.
2,5
3. **Imitation moyennement anormale.** L'enfant n'imité que de temps à autre et l'adulte doit insister et l'aider pour qu'il le fasse. Fréquemment, il n'imité qu'après un délai.
3,5
4. **Imitation sévèrement anormale.** L'enfant n'imité que rarement ou jamais des sons, des mots ou des mouvements, même quand il y est poussé ou aidé par l'adulte.

OBSERVATIONS :

III. RÉPONSES ÉMOTIONNELLES

1. **Réponses émotionnelles appropriées à l'âge et à la situation.** L'enfant présente un type et une intensité de réponse normaux. Cela se manifeste par un changement au niveau de son expression faciale, de sa posture et de sa façon de se comporter.
1,5
2. **Réponse émotionnelles légèrement anormales.** L'enfant présente parfois un type et un degré de réactions émotionnelles inappropriés. Les réponses ont parfois peu de liens avec les objets ou les événements présents.
2,5
3. **Réponses émotionnelles moyennement anormales.** L'enfant présente des signes d'inadéquation dans le type et l'intensité de ses réponses émotionnelle. Les réactions peuvent être relativement inhibées ou excessives et peuvent être sans rapport avec la situation. L'enfant peut grimacer, rire, ou se raidir même si rien dans l'environnement ne semble devoir provoquer une émotion.
3,5
4. **Réponse émotionnelles sévèrement anormales.** Les réponses sont rarement appropriées à la situation. Lorsque l'enfant est dans un état émotionnel déterminé, il est difficile de le faire changer d'humeur. Inversement, il peut présenter des émotions très différentes sans que rien n'a changé dans la situation.

OBSERVATIONS :

IV. UTILISATION DU CORPS

1. **Utilisation du corps normale pour l'âge.** L'enfant bouge avec la même aisance, la même habileté et le même niveau de coordination qu'un enfant du même âge.
1,5
2. **Utilisation du corps légèrement anormale.** De légères particularités telles que maladresse, mouvements répétitifs, pauvreté des coordinations sont observées. Des mouvements plus inhabituels apparaissent parfois.
2,5
3. **Utilisation moyennement anormale du corps.** Des comportements qui sont nettement étranges ou inhabituels pour un enfant de cet âge sont relevés: mouvements bizarres des doigts, postures particulières des doigts ou du corps, fixation du regard sur une partie du corps ou manipulation du corps, auto-agression, balancement, tournoiement, agitation des doigts ou marche sur la pointe des pieds.
3,5
4. **Utilisation sévèrement anormale du corps.** Des mouvements, tels que ceux décrits ci-dessus apparaissant avec une intensité et une fréquence importante, correspondent à une utilisation sévèrement anormale du corps. Ces comportements peuvent persister en dépit des tentatives pour les éliminer ou pour engager l'enfant dans d'autres activités.

OBSERVATIONS :

V. UTILISATION DES OBJETS

- 1.5 1. *Intérêt normal pour les jouets et autres objets, utilisation appropriée.* L'enfant manifeste un intérêt normal pour les jouets et les autres objets adaptés à son niveau d'habileté, et les utilise d'une manière appropriée.
- 2.5 2. *Intérêt légèrement anormal pour les jouets et les autres objets, utilisation légèrement inappropriée.* L'enfant peut présenter peu d'intérêt pour les objets, ou jouer avec eux d'une manière immature (par exemple frappe avec le jouet ou le suce).
- 3.5 3. *Intérêt moyennement anormal pour les objets, utilisation moyennement inappropriée.* L'enfant peut manifester très peu d'intérêt pour les jouets ou d'autres objets ou peut les utiliser d'une manière étrange. Il peut focaliser son attention sur une partie insignifiante du jouet, être fasciné par le reflet de lumière sur l'objet, mobiliser de manière répétitive une partie de l'objet ou jouer avec un seul objet à l'exclusion de tous les autres.
4. *Intérêt sévèrement anormal pour les objets, utilisation sévèrement inappropriée.* L'enfant peut s'engager dans les comportements décrits ci-dessus, mais avec une fréquence et une intensité plus marquées. L'enfant est plus difficile à distraire de ses activités inappropriées.

OBSERVATIONS :

VI. ADAPTATION AU CHANGEMENT

- 1.5 1. *Réaction au changement normale pour l'âge.* L'enfant peut remarquer les changements de routine et faire des commentaires, mais il accepte ces modifications sans signes de détresse.
- 2.5 2. *Réactions légèrement anormales au changement.* Quand un adulte essaie de changer les tâches, l'enfant peut continuer la même activité ou utiliser le même matériel.
- 3.5 3. *Réaction moyennement anormale au changement.* L'enfant résiste activement aux changements de routine, essaie de continuer l'ancienne activité et il est difficile de le distraire. Il peut se mettre en colère et se montrer perturbé quand une routine établie est modifiée.
4. *Réaction sévèrement anormale au changement.* L'enfant présente des réactions sévères au changement. Si un changement est imposé, il peut se fâcher, refuser de coopérer et manifester de la colère.

OBSERVATIONS :

VII. RÉPONSES VISUELLES

- 1,5 1. *Réponses visuelles appropriées pour l'âge.* Le comportement visuel de l'enfant est normal et approprié pour un enfant de cet âge. La vision est utilisée avec les autres sens pour explorer un nouvel objet.
- 2,5 2. *Réponses visuelles légèrement anormales.* Il faut rappeler de temps en temps à l'enfant de regarder les objets. L'enfant peut être plus intéressé par les miroirs ou les lumières que par ses pairs, il peut parfois fixer dans le vide. Il peut aussi éviter de regarder les gens dans les yeux.
- 3,5 3. *Réponses visuelles moyennement anormales.* Il faut fréquemment rappeler à l'enfant de regarder ce qu'il fait. Il peut fixer dans le vide, éviter de regarder les gens dans les yeux, regarder les objets sous un angle inhabituel, ou tenir les objets très près des yeux.
4. *Réponses visuelles sévèrement anormales.* L'enfant évite constamment de regarder les gens ou les objets et peut présenter des formes extrêmes des particularités visuelles décrites ci-dessus..

OBSERVATIONS :

VIII. RÉPONSES AUDITIVES

- 1,5 1. *Réponses auditives normales pour l'âge.* La réponse auditive est normale et appropriée pour l'âge. L'audition est utilisée avec les autres sens tels que la vision et le toucher.
- 2,5 2. *Réponses auditives légèrement anormales.* Un certain manque de réponse ou une réaction légèrement excessive à certain bruits peuvent être relevés. Les réponses aux sons peuvent être différées, et il peut être nécessaire de reproduire un son pour attirer l'attention de l'enfant. Celui-ci peut être distrait par des bruits extérieurs.
- 3,5 3. *Réponses auditives moyennement anormales.* La réponse de l'enfant aux bruits peut varier. Il ignore souvent un son lors de sa première présentation. Il peut sursauter ou se couvrir les oreilles en entendant des bruits auxquels il est pourtant quotidiennement confronté.
4. *Réponses auditives sévèrement anormales.* L'enfant répond trop ou trop peu aux bruits. Sa réponse est excessive quel que soit le type de stimulus sonore.

OBSERVATIONS :

IX. GOÛT - ODORAT - TOUCHER (RÉPONSES ET MODES D'EXPLORATION)

- 1,5 1. *Réponse normale aux stimuli gustatifs, olfactifs et tactiles ; utilisation normale des 5 sens.* L'enfant explore les nouveaux objets d'une manière appropriée pour l'âge, généralement en les touchant et en les regardant. Le goût et l'odorat peuvent être utilisés quand cela est adapté. Lorsqu'il réagit à des douleurs minimales et courantes, l'enfant exprime de l'inconfort mais n'a pas de réaction excessive.
- 2,5 2. *Réponses légèrement anormales aux stimuli gustatifs, olfactifs et tactiles; utilisation légèrement anormale des 5 sens.* L'enfant peut continuer à porter les objets à la bouche, renifler ou goûter des objets non comestibles, ignorer une petite douleur ou présenter une réaction excessive par rapport à la simple réaction d'inconfort d'un enfant normal.
- 3,5 3. *Réponse moyennement anormales aux stimuli gustatifs, olfactifs et tactiles; utilisation moyennement anormale des 5 sens.* L'enfant peut être moyennement préoccupé par le fait de toucher, sentir ou goûter les objets ou les personnes. Il peut réagir trop fortement ou trop peu à la douleur.
4. *Réponse sévèrement anormale aux stimuli gustatifs, olfactifs et tactiles; utilisation sévèrement anormale de ces sens.* L'enfant est préoccupé par le fait de renifler, goûter ou toucher les objets, davantage pour la sensation que par souci d'explorer ou d'utiliser ces objets. L'enfant peut ignorer complètement la douleur ou réagir très fortement à un léger inconfort.

OBSERVATIONS :

X. PEURS, ANXIÉTÉ

- 1,5 1. *Peur ou anxiété normale.* Le comportement de l'enfant est approprié à la situation compte tenu de son âge.
- 2,5 2. *Peur ou anxiété légèrement anormale.* L'enfant présente de temps à autre une peur ou une angoisse trop forte ou trop faible comparée à la réaction d'un enfant normal du même âge dans la même situation.
- 3,5 3. *Peur ou anxiété moyennement anormale.* L'enfant présente une peur trop intense ou trop faible par rapport à la réaction d'un enfant même plus jeune dans une situation identique.
4. *Peur ou anxiété sévèrement anormale.* Les peurs persistent même après l'expérience répétée de situations ou d'objets sans danger. Il est extrêmement difficile de calmer et de réconforter l'enfant. A l'inverse, l'enfant peut ne pas réagir de manière appropriée à des dangers qu'évitent les enfants du même âge.

OBSERVATIONS :

XI. COMMUNICATION VERBALE

- 1,5 1. *Communication verbale normale pour l'âge et la situation*
- 2,5 2. *Communication verbale légèrement anormale.* Le langage présente un retard global. L'essentiel du discours a une signification: cependant, l'écholalie ou l'inversion pronominale peuvent. Des mots particuliers ou un jargon peuvent être utilisés occasionnellement.
- 3,5 3. *Communication verbale moyennement anormale.* Le langage peut être absent. Lorsqu'elle est présente, la communication verbale peut être un mélange de langage doté de sens et de particularités telles que jargon, écholalie ou inversion pronominale. Le langage peut comporter aussi des particularités comme les questions répétées ou une préoccupation excessive pour des sujets spécifiques.
4. *Communication verbale sévèrement anormale.* L'enfant n'utilise pas un langage fonctionnel. Il peut émettre des cris infantiles, des sons étranges ou ressemblant à des cris d'animaux, des bruits complexes se rapprochant du langage, ou peut faire un usage bizarre et persistant de certains mots ou phrases.

OBSERVATIONS :

XII. COMMUNICATION NON-VERBALE

- 1,5 1. *Communication non-verbale normale pour l'âge et la situation.*
- 2,5 2. *Communication non verbale légèrement anormale.* La communication non verbale est immature. L'enfant peut pointer vaguement du doigt, ou toucher ce qu'il veut dans les situations où un enfant normal du même âge montre du doigt ou présente des gestes spécifiques pour indiquer ce qu'il veut.
- 3,5 3. *Communication non verbale moyennement anormale.* L'enfant est généralement incapable d'exprimer ses besoins ou désirs par gestes. Il est également incapable de montrer ce qu'il veut par des gestes.
4. *Communication non verbale sévèrement anormale.* L'enfant n'utilise que des gestes bizarres ou particuliers qui n'ont pas de signification apparente. Il n'intègre pas la signification des gestes et des expressions faciales des autres

OBSERVATIONS :

XIII. NIVEAU D'ACTIVITÉ

- 1,5 1. *Niveau d'activité normal à l'âge et la situation.* L'enfant n'est ni plus actif, ni moins actif qu'un enfant normal du même âge dans une situation semblable.
- 2,5 2. *Niveau d'activité légèrement anormal.* L'enfant est parfois légèrement agité ou plutôt ralenti. Son niveau d'activité n'interfère que très légèrement avec sa performance.
- 3,5 3. *Niveau d'activité moyennement anormal.* L'enfant peut être très actif et difficile à contrôler. Il peut dépenser de l'énergie sans limite et ne va pas volontiers au lit le soir. A l'inverse, il peut être apathique et une stimulation importante est alors nécessaire pour le faire bouger.
4. *Niveau d'activité sévèrement anormal.* L'enfant présente des niveaux d'activité extrêmes allant de l'hyperactivité à l'apathie. Il peut même passer d'un extrême à l'autre.

OBSERVATIONS :

XIV. NIVEAU ET HOMOGENEITE DU FONCTIONNEMENT INTELLECTUEL

- 1,5 1. *Intelligence normale : fonctionnement intellectuel homogène.* L'enfant est aussi intelligent qu'un enfant du même âge et ne présente ni habileté exceptionnelle, ni problème.
- 2,5 2. *Fonctionnement intellectuel légèrement anormal.* L'enfant n'a pas une intelligence aussi développée que celle d'un enfant du même âge et ses capacités sont également retardées dans tous les domaines.
- 3,5 3. *Fonctionnement intellectuel moyennement anormal.* En général, l'enfant n'a pas une intelligence aussi développée que celle d'un enfant normal du même âge. Cependant, il peut présenter une performance proche de la normale dans un ou plusieurs domaines du fonctionnement intellectuel.
4. *Fonctionnement intellectuel sévèrement anormal.* Alors que l'enfant n'a généralement pas une intelligence aussi développée que celle d'un enfant normal du même âge, il se montre capable de fonctionner à un niveau supérieur par rapport aux enfants de son âge dans un ou plusieurs domaines

OBSERVATIONS :

XV. IMPRESSION GÉNÉRALE

- 1,5 1. *Pas d'autisme.* L'enfant ne présente aucun des symptômes caractéristiques de l'autisme.
- 2,5 2. *Autisme léger.* L'enfant présente seulement quelques symptômes ou un léger degré d'autisme.
- 3,5 3. *Autisme moyen.* L'enfant présente un certain nombre de symptômes ou un degré moyen d'autisme.
4. *Autisme sévère.* L'enfant présente beaucoup de symptômes ou un degré extrême d'autisme.

OBSERVATIONS :

ANNEXE B

VINELAND

ADAPTIVE BEHAVIOR SCALES

Sara S. Sparrow, David A. Balla, Domenic V. Cicchetti

ECHELLE D'EVALUATION DU COMPORTEMENT ADAPTATIF

Survey form
Version enquête

NOM: _____				Nom de la personne interrogée
prénom: _____				
	<i>année</i>	<i>mois</i>	<i>jour</i>	Nom de l'examineur
Date de naissance				
Date de l'examen				
AGE: _____				

<i>sous domaine</i>	<i>note brute</i>	<i>âge équivalent</i>
réceptive		
expressive		
écrite		
DOMAINE COMMUNICATION		
personnelle		
familiale		
sociale		
DOMAINE AUTONOMIE		
relations interpersonnelles		
jeux et loisirs		
adaptation		
DOMAINE SOCIALISATION		
globale		
fine		
DOMAINE MOTRICITE		

Dans chaque domaine, commencer avec l'item qui correspond à l'âge de la personne évaluée. Coter chaque item 2, 1, 0, N ou NSP en suivant les critères de cotation du manuel et écrire cette note dans la case correspondante. Etablir une *base* de sept items consécutifs cotés 2 et un *plafond* de sept items consécutifs cotés 0 pour chaque domaine.

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

		RECEPTIVE	EXPRESSIVE	ECRITE
< 1	1. Toume les yeux et la tête en direction d'un son	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2. Ecoute au moins momentanément quand la personne qui s'occupe de lui habituellement lui parle.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3. Sourit en réponse à la personne qui s'occupe de lui habituellement.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4. Sourit en réponse à la présence d'une personne familière autre que celle qui s'occupe de lui habituellement.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5. Tend les bras quand la personne qui s'occupe de lui habituellement dit "viens" ou "debout".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6. Montre qu'il comprend la signification de "non."	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7. Imité les sons des adultes immédiatement après les avoir entendus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	8. Montre qu'il comprend au moins 10 mots.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1	9. Mimiées et gestes appropriées pour indiquer "oui" "non" et "je veux".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	10. Ecoute attentivement les instructions.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	11. Comprend le sens de "oui" ou de "d'accord".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	12. Suit des instructions faisant intervenir une action et un objet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	13. Montre du doigt avec précision au moins une des principales parties de son corps quand on le lui demande.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	14. Utilise les prénoms ou les diminutifs de ses frères et sœurs, amis ou pairs, ou cite leur nom quand on le lui demande.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	15. Utilise des phrases contenant un nom et un verbe, ou deux noms.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	16. Nomme au moins 20 objets familiers sans qu'on le lui demande. NE PAS COTER 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	17. Ecoute une histoire pendant au moins cinq minutes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	18. Indique une préférence quand on le fait choisir.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	19. Dit au moins 50 mots reconnaissables. NE PAS COTER 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	20. Raconte spontanément ce qui lui est arrivé en termes simples.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	21. Transmet un message verbal simple.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	22. Utilise des phrases de quatre mots ou plus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	23. Montre du doigt avec précision toutes les parties de son corps quand on le lui demande. NE PAS COTER 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	24. Dit au moins 100 mots reconnaissables. NE PAS COTER 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	25. Parle par phrases complètes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	26. Utilise "un" "une" et "le" "la" dans des expressions ou des phrases.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	27. Suit des instructions de la forme "si-alors".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	28. Donne son prénom et son nom quand on le lui demande.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	29. Pose des questions commençant par "quoi", "où", "qui", "pourquoi" et "quand". NE PAS COTER 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3, 4	30. Peut dire lequel de deux objets non présents est le plus grand.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	31. Raconte en détail ce qui lui est arrivé quand on le lui demande.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	32. Utilise la préposition "derrière" ou la préposition "entre" dans une phrase.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	33. Utilise "la préposition "autour" dans une phrase.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	34. Utilise des expressions ou des phrases contenant "mais" et "ou".	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	35. Articule clairement, sans substitution de sons.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	36. Raconte des histoires connues, des contes de fées, des blagues d'une certaine longueur, ou la trame d'une émission de télévision	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<i>coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond</i>	24	48	0
remarques				somme des 2, 1 et 0 de la page 2

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

	RECEPTIVE	EXPRESSIVE	ECRITE	
5				
37. Récite par cœur toutes les lettres de l'alphabet.				
38. Lit au moins trois panneaux courants (Sortie, Pousser, Toilettes...).				
39. Donne sa date de naissance (mois et jour) quand on le lui demande.				
40. Utilise des pluriels irréguliers.				
6				
41. Ecrit son prénom et son nom en lettres d'imprimerie ou en cursive.				
42. Donne son numéro de téléphone quand on le lui demande. N PEUT ETRE COTE.				
43. Donne son adresse complète, y compris la ville et le département, quand on le lui demande.				
44. Lit au moins 10 mots silencieusement ou à haute voix.				
45. Sait écrire sans modèle au moins 10 mots en lettres d'imprimerie ou en cursive.				
46. Exprime des idées de plusieurs façons, sans aide.				
47. Lit des histoires simples à haute voix.				
7,8				
48. Ecrit des phrases simples de trois ou quatre mots en lettres d'imprimerie ou en cursive.				
49. Suit un cours ou une conférence pendant plus de 15 minutes				
50. Lit de sa propre initiative.				
51. Lit des livres du niveau de CE1 au moins.				
52. Classe des articles ou des mots par ordre alphabétique d'après la première lettre.				
53. Ecrit de courtes notes ou des messages en lettres d'imprimerie ou en cursive.				
9				
54. Donne des instructions complexes aux autres.				
55. Ecrit des lettres simples. NE PAS COTER 1				
56. Lit des livres du niveau de CMI au moins.				
57. Ecrit en cursive la plupart du temps. NE PAS COTER 1				
10 à				
58. Utilise un dictionnaire.				
18 +				
59. Utilise la table des matières des livres et documents.				
60. Ecrit des comptes-rendus ou des rédactions. NE PAS COTER 1				
61. Rédige les adresses complètes sur les enveloppes.				
62. Utilise l'index des livres et documents.				
63. Lit des articles de journaux d'adultes. N PEUT ETRE COTE				
64. A des buts réalistes à long terme et décrit en détail la manière de les réaliser.				
65. Ecrit des lettres élaborées.				
66. Lit des journaux d'adultes ou des articles de magazine chaque semaine. N PEUT ETRE COTE				
67. Ecrit des lettres d'affaires.				
coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond	2	14	46	
remarques				
2.				somme des 2; 1 et 0 page 3
3.				somme des 2; 1; 0, page 2
4.				nombre de N page 2 et 3
				nombre de NSP page 2 et 3
	26	62	46	
				NOTE BRUTE DU SOUS-DOMAINE
				total des lignes 1 à 4

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

	PERSONNELLE	FAMILIALE	SOCIALE
<1			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
	50	6	10

remarques

coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond

somme des 2, 1 et 0 de la page 4

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

	PERSONNELLE	FAMILIALE	SOCIALE
34. Est complètement autonome pour les toilettes, sans avoir besoin de rappel ou d'aide. NE PAS COTER 1			
35. Regarde des deux cotés avant de traverser une rue ou une route.			
36. Range son linge propre sans qu'on le lui demande.			
37. Se mouche sans assistance. NE PAS COTER 1			
38. Débarrasse la table, y compris les objets fragiles.			
39. S'essuie avec une serviette sans aide.			
40. Attache tout ce qui s'attache. NE PAS COTER 1			
5 41. Aide à la préparation de plats nécessitant mélange et cuisson.			
42. Montre qu'il comprend qu'il est dangereux d'accepter de la nourriture, de l'argent, ou de partir avec une personne inconnue.			
43. Attache ses lacets sans aide.			
44. Prend un bain ou une douche sans aide. NE PAS COTER 1			
45. Regarde des deux cotés et traverse la rue ou la route tout seul.			
46. Met sa main devant sa bouche et son nez quand il tousse ou éternue.			
6 47. Utilise une cuillère, une fourchette et un couteau de manière compétente. NE PAS COTER 1			
48. Téléphone de lui-même aux autres. N PEUT ETRE COTE			
49. Respecte les feux de signalisation et les signaux pour piétons. N PEUT ETRE COTE			
50. S'habille complètement, y compris les lacets et toutes les attaches. NE PAS COTER 1			
51. Fait son lit quand on le lui demande.			
52. Donne le jour de la semaine quand on le lui demande.			
53. Boucle tout seul sa ceinture de sécurité en voiture. N PEUT ETRE COTE			
7 54. Connaît la valeur des différentes pièces de monnaie.			
55. Utilise des outils courants.			
56. Identifie la gauche et la droite sur autrui.			
57. Met le couvert sans aide quand on le lui demande.			
8 58. Passe le balai la serpillière ou l'aspirateur soigneusement et sans aide, quand on le lui demande.			
59. Utilise les numéros de téléphone de secours en cas d'urgence. N PEUT ETRE COTE			
60. Peut commander un repas complet au restaurant. N PEUT ETRE COTE			
61. Donne la date du jour quand on le lui demande.			
62. S'habille en anticipant les changements de temps sans qu'on ait à le lui rappeler.			
63. Evite les personnes contagieuses sans qu'on ait à le lui rappeler.			
<i>coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond</i>	22	14	24
remarques			somme des 2, 1 et 0 de la page 5

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

	PERSONNELLE	FAMILIALE	SOCIALE	
9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17a, 18+				
64. Donne l'heure par tranches de 5 minutes.				
65. Prend soin de ses cheveux sans qu'on le lui demande et sans aide.				
66. Utilise un four ou un micro-ondes pour cuisiner.				
67. Utilise des produits d'entretien sans aide et à bon escient.				
68. Compte correctement la monnaie pour un achat de plus d'un euro.				
69. Utilise sans aide le téléphone pour toutes sortes d'appels. N PEUT ETRE COTE				
70. Prend soin de ses ongles sans qu'on le lui rappelle et sans aide. NE PAS COTER 1				
71. Prépare sans aide un plat nécessitant mélange et cuisson.				
72. Utilise un téléphone public. N PEUT ETRE COTE				
73. Range sa chambre sans qu'on ait à lui rappeler.				
74. A acheté au moins un objet important de loisir en économisant pour cela.				
75. Veille à sa santé.				
76. Gagne de l'argent de poche régulièrement.				
77. Fait son lit et change ses draps régulièrement. NE PAS COTER 1				
78. Nettoie une autre pièce que sa chambre régulièrement, sans qu'on le lui demande.				
79. Fait des réparations et petits travaux courants à la maison sans qu'on le lui demande.				
80. Coud des boutons, pressions ou crochets sur les vêtements quand on le lui demande.				
81. Fait le budget de ses dépenses hebdomadaires.				
82. Gère son argent sans aide.				
83. Organise et prépare le principal repas de la journée sans aide				
84. Arrive au travail à l'heure.				
85. Prend entièrement soin de ses vêtements sans qu'on ait à le lui rappeler. NE PAS COTER 1				
86. Avertit son supérieur s'il risque d'arriver en retard au travail.				
87. Avertit son supérieur de son absence pour cause de maladie.				
88. Fait le budget de ses dépenses mensuelles.				
89. Coud ses ourlets ou fait d'autres retouches sans qu'on le lui ait demandé et sans aide.				
90. Respecte les limites de temps pour les pauses-café ou le déjeuner au travail.				
91. Assume avec sérieux un emploi à temps plein. NE PAS COTER 1				
92. A un compte en banque et l'utilise de manière responsable.				
<i>coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond</i>	6	22	30	
remarques				
2.				somme des 2; 1 et 0 page 6
3.				somme des 2; 1; 0, page 5
4.				somme des 2; 1; 0, page 4
5.				nombre de N page 4, 5 et 6
				nombre de NSP page 4, 5 et 6
	78	42	64	NOTE BRUTE DU SOUS-DOMAINE
				total des lignes 1 à 5

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

		REL.	INTERPERS.	JEUX ET LOISIRS	ADAPTATION
<1	1. Regarde le visage de la personne qui s'occupe de lui habituellement	<input type="checkbox"/>			
	2. Réagit à la voix de la personne qui s'occupe de lui habituellement, ou à celle d'une autre personne.	<input type="checkbox"/>			
	3. Distingue la personne qui s'occupe de lui habituellement des autres personnes.	<input type="checkbox"/>			
	4. Montre de l'intérêt pour les nouveaux objets ou les nouvelles personnes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	5. Exprime au moins 2 émotions reconnaissables telles que plaisir, tristesse, frayeur ou détresse.	<input type="checkbox"/>			
	6. Montre qu'il s'attend à ce que la personne qui s'occupe de lui le prenne dans ses bras.	<input type="checkbox"/>			
	7. Fait preuve d'affection à l'égard des personnes familières.	<input type="checkbox"/>			
	8. Est intéressé par les enfants autres que ses frères et sœurs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	9. Tend les bras vers une personne familière.	<input type="checkbox"/>			
	10. Joue avec un jouet ou un objet, seul ou avec d'autres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	11. Joue à des jeux interactifs très simples avec d'autres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	12. Utilise des objets domestiques courants pour jouer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	13. Se montre intéressé par les activités des autres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	14. Imité des gestes simples des adultes tels que applaudir, faire "au revoir", après l'avoir vu faire.	<input type="checkbox"/>			
1, 2	15. Rit ou sourit de manière appropriée en réponse à des compliments.	<input type="checkbox"/>			
	16. Appelle au moins 2 personnes familières par leur nom.	<input type="checkbox"/>			
	17. Cherche à faire plaisir à la personne qui s'occupe de lui habituellement.	<input type="checkbox"/>			
	18. Participe à au moins un jeu ou une activité avec d'autres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	19. Imité une tâche relativement complexe plusieurs heures après qu'elle ait été faite par quelqu'un d'autre.	<input type="checkbox"/>			
	20. Répète des phrases d'adulte entendues antérieurement.	<input type="checkbox"/>			
	21. Joue à des jeux élaborés de "faire semblant", seul ou avec d'autres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3	22. Préfère certains amis à d'autres.	<input type="checkbox"/>			
	23. Dit "s'il vous plaît" quand il demande quelque chose.	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	24. Reconnaît quand il est heureux, triste, en colère ou qu'il a peur	<input type="checkbox"/>			
	25. Identifie les gens par d'autres caractéristiques que leur nom quand on le lui demande.	<input type="checkbox"/>			
4	26. Prête ses jouets ou ce qui lui appartient sans qu'on le lui dise.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	27. Cite au moins une émission de télévision qu'il aime quand on le lui demande et dit quel jour et sur quelle chaîne cette émission passe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	28. Suit les règles de jeux simples sans qu'on le lui rappelle.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	29. A un ami préféré de l'un ou l'autre sexe.	<input type="checkbox"/>			
	30. Respecte les règles de l'école ou de l'institution.	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
5	31. Réagit en parlant de façon positive quand il arrive quelque chose d'heureux aux autres.	<input type="checkbox"/>			
	32. S'excuse pour des fautes non-intentionnelles.	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	33. A un groupe d'amis.	<input type="checkbox"/>			
	34. Respecte les règles de la communauté.	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
6	35. Joue à plus d'un jeu de société ou de cartes demandant de l'adresse et de la capacité à prendre une décision.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	36. Ne parle pas la bouche pleine.	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	37. A un meilleur ami du même sexe.	<input type="checkbox"/>			
		40	24	10	somme des 2, 1, 0 de la page 7

coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond

remarques

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

		REL. INTERPERS.	JEUX ET LOISIRS	ADAPTATION	
	38. Réagit de manière adéquate quand on lui présente des étrangers.				
7, 8	39. Fabrique ou achète de sa propre initiative des petits cadeaux à l'occasion des fêtes pour les membres de sa famille ou des proches.				
	40. Garde des secrets ou des confidences pendant plus d'un jour.				
	41. Rend les jouets, les objets ou l'argent emprunté à ses camarades, ou rend les livres empruntés à la bibliothèque.				
	42. Termine les conversations de manière appropriée.				
9	43. Respecte les limites de temps fixées par les personnes qui s'occupent de lui.				
	44. S'abstient de poser des questions ou de faire des commentaires qui pourraient embarrasser ou peiner les autres.				
	45. Contrôle sa colère ou sa peine quand on l'empêche de faire ce qu'il désire.				
	46. Garde des secrets ou des confidences aussi longtemps que nécessaire.				
10, 11	47. Se tient bien à table sans qu'on ait besoin de le lui dire. NE PAS COTER 1				
	48. Regarde la télévision ou écoute la radio pour avoir des informations sur un sujet qui l'intéresse particulièrement. N PEUT ETRE COTE				
	49. Va à des cours du soir ou à des soirées à l'école avec des amis, accompagné par un adulte. N PEUT ETRE COTE				
	50. Évalue tout seul les conséquences de ses actions avant de prendre des décisions.				
12, 13	51. S'excuse quand il fait des fautes ou des erreurs de jugement.				
	52. Souhaite les anniversaires de ses proches et de ses amis intimes.				
	53. Engage la conversation sur des sujets intéressant particulièrement d'autres personnes.				
	54. A un passe-temps ou un hobby.				
	55. Rend l'argent emprunté à la personne qui s'occupe de lui.				
10, 11	56. Réagit aux allusions et suggestions indirectes dans la conversation.				
	57. Participe à des sports extra-scolaires. N PEUT ETRE COTE				
	58. Regarde la télévision ou écoute la radio pour obtenir les informations pratiques de la vie quotidienne. N PEUT ETRE COTE				
	59. Prend et respecte des rendez-vous.				
	60. Regarde les nouvelles à la télévision ou les écoute à la radio de son propre chef. N PEUT ETRE COTE				
	61. Va à des cours du soir ou à des soirées à l'école avec des amis sans être accompagné par un adulte. N PEUT ETRE COTE				
	62. Sort le soir avec des amis sans être accompagné par un adulte.				
	63. Fait partie d'un groupe de jeunes organisé, d'un club ou d'une association.				
	64. Va avec une personne du sexe opposé à des soirées ou des manifestations publiques, où de nombreuses personnes sont présentes.				
	65. Sort en couple avec un ou deux autres couples.				
	66. Sort en couple.				
	coter 2 les items avant la base et 0 les items après le plafond	16	16	26	
remarques	1.				somme des 2; 1 et 0 page 8
					somme des 2; 1; 0, page 7
	3.				nombre de N page 7 et 8
	4.				nombre de NSP page 7 et 8
		56	40	36	
		SCORE BRUT DU SOUS-DOMAINE			
		total des lignes 1 à 4			

coter 2 Oui, habituellement
 1 Quelquefois, en partie
 0 Non, jamais
 N Ne s'applique pas
 NS Ne sait pas

	GLOBAL	FINE
<1		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		

remarques

1.	40	32	somme des 2; 1; 0, page 9
2.			nombre de N page 9
3.			nombre de NSP page 9
	40	32	SCORE BRUT DU SOUS-DOMAINE
			total des lignes 1 à 3

Résumé

L'autisme est un trouble du neuro développemental. Il apparaît dès la petite enfance et évolue tout au long de la vie. La question d'un diagnostic précoce pour les enfants porteurs d'un autisme est très sensible et surtout sur le plan du devenir de cet enfant.

Au cours de notre travail, nous avons proposé deux approches intelligentes pour l'automatisation de diagnostic de l'autisme, nous avons commencé par l'automatisation de deux tests internationaux (CARS et Vinland) par les réseaux de neurones artificiels (RNAs), ensuite une automatisation de diagnostic global qui englobe les deux tests par la même technique. Après nous avons utilisé les systèmes d'interférences floues (SIF) pour avoir une différence de degré de gravité pour les patients classés dans la même classe.

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

Mots clés

Autisme, automatisation de diagnostic, CARS, Vinland, RNA, SIF.