

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
D'ALGÉRIE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ 20 AOÛT 1955 - SKIKDA



FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE
THÈSE DE DOCTORAT

*Thèse soumise en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3° cycle LMD
Option : Réseaux et Systèmes Distribués*

**Intégration des Techniques de
l'Informatique Affective et des
Technologies de la Réalité
Virtuelle/Augmentée pour l'Aide à la
Thérapie Cognitive et Comportementale.**

Réalisé par :
Sid Ahmed HADRI

Directeur de thèse :
Pr. Abdelkrim BOURAMOUL

Membres du Jury :

Pr. Smaine MAZOUZI	Université de Skikda	Président
Dr. Soufiane BOULAHOUACHE	Université de Skikda	Examineur
Dr. Ahmed-Chawki CHAOUICHE	Université de Constantine 2	Examineur
Pr. Abdelkrim BOURAMOUL	Université de Constantine 2	Directeur de thèse
Pr. MOTA MACIAS José Miguel	Université de Cádiz	Invité

Soutenue le 30/06/2024

« Toute technologie suffisamment avancée est indiscernable de la magie. »

Arthur C. Clarke

Table des matières

Résumé	xiii
Remerciements	xix
Introduction Générale	1
I. ETAT DE L'ART	5
1 Fondements de la Psychiatrie : Entre Théorie et Pratique	7
1.1 Généralités sur la psychiatrie	7
1.1.1 Définition de la psychiatrie	7
1.1.2 Psychiatrie vs Psychologie	8
1.1.2.1 Formation et qualifications	8
1.1.2.2 Approches thérapeutiques	8
1.1.2.3 Domaines d'intervention	8
1.2 Exploration des Troubles Mentaux : Origines et Conséquences	9
1.2.1 Définition Clinique	9
1.2.2 Causes Multifactorielles	9
1.2.3 Catégorisation des troubles mentaux	10
1.2.4 Implications et Gestion	11
1.3 Écoles de Traitement en Psychiatrie	11
1.3.1 Thérapies Médicamenteuses	11
1.3.2 Psychothérapie	11
1.4 La psychothérapie cognitive et comportementale	12
1.4.1 Fondements et processus de la TCC	12
1.4.2 La thérapie par exposition : Principes et processus	13
1.5 Comprendre la Pédopsychiatrie	14
1.5.1 Définition et Fondements	14
1.5.2 Enjeux et implications	15
1.5.3 Trouble du Spectre de l'Autisme	16
1.5.3.1 Définition	16
1.5.3.2 Prévalence de l'Autisme	16
1.5.3.3 Représentation Visuelle du Spectre Autistique	17
1.5.3.4 Cycle de Vie de l'Autisme	18
1.6 Concepts autour de l'Addiction	19
1.6.1 Définition	19
1.6.2 Diagnostic	19
1.6.3 Addictologie	20
1.6.3.1 Définition	20
1.6.3.2 Approches et traitement	20
1.6.4 Focus sur l'alcoolisme	20
1.6.4.1 Définition	20
1.6.4.2 Prévalence	20

1.7	Conclusion	21
2	Explorations Technologiques : Réalité Virtuelle, Apprentissage Automatique et Informatique Affective	23
2.1	Réalité Virtuelle	23
2.1.1	Définition de la Réalité Virtuelle	23
2.1.2	Fondements de la réalité virtuelle	24
2.1.3	L'histoire de la réalité virtuelle	24
2.1.4	Réalité Virtuelle vs Réalité Augmentée	26
2.2	Apprentissage Automatique	27
2.2.1	Définition	27
2.2.2	Histoire	27
2.2.2.1	Les Fondements Théoriques Précoces (Années 1940-1950)	27
2.2.2.2	L'Apprentissage Symbolique et l'IA (Années 1950-1970)	28
2.2.2.3	L'Ère de l'Apprentissage par l'Erreur (Années 1980)	29
2.2.2.4	L'Explosion des Données et de l'Apprentissage en Ligne (Années 1990)	30
2.2.2.5	L'Ère de l'Apprentissage Profond (Années 2010 à nos jours)	30
2.2.3	Fondements et Principes de l'Apprentissage Automatique	31
2.2.4	Types et Paradigmes d'Apprentissage	32
2.2.4.1	Apprentissage Supervisé	32
2.2.4.2	Apprentissage Non-Supervisé	32
2.2.5	Réseaux de neurones et apprentissage profond	32
2.2.5.1	Généralités sur les réseaux de neurones	32
2.2.5.2	Composants d'un Réseau Neuronal	33
2.2.5.3	Apprentissage profond	35
2.3	Informatique Affective	36
2.3.1	Définition et fondement	36
2.3.2	Applications et techniques	36
2.3.3	Chatbots	37
2.3.3.1	Définition	37
2.3.3.2	Composante et architecture des chatbots	37
2.3.3.3	Logique de fonctionnement des chatbots	37
2.3.3.4	Chatbots et informatique affective	37
2.4	Conclusion	38
3	Avancées Technologiques en Psychiatrie	39
3.1	Introduction	39
3.2	Réalité Virtuelle et Augmentée en Psychothérapie	39
3.2.1	Thérapie d'exposition par réalité virtuelle pour les phobies	40
3.2.2	Thérapie d'exposition à par réalité virtuelle dans la pédo-psychiatrie	42
3.2.3	Thérapie d'exposition par réalité virtuelle pour troubles divers	45
3.2.3.1	TERV pour les troubles obsessionnels compulsifs	45
3.2.3.2	TERV pour les troubles de stress post-traumatique	46
3.2.3.3	TERV pour la dépression	47
3.2.3.4	TERV pour la régulation de l'anxiété	48
3.3	Intelligence Artificielle et psychiatrie	49
3.3.1	Intelligence Artificielle dans le dépistage et le diagnostic des troubles mentaux	50

3.3.1.1	Intelligence Artificielle dans le traitement et le suivi des troubles mentaux	51
3.4	Informatique Affective et Agents Conversationnels en Psychiatrie	52
3.4.1	Informatique Affective pour la capture d'émotions	52
3.4.2	Informatique Affective pour l'expression d'empathie	53
3.5	Conclusion	54
II. CONTRIBUTIONS		57
4	AutismScreenerAI - Réinventer le Dépistage de l'Autisme par l'IA	59
4.1	Contextualisation	60
4.1.1	Problématique	61
4.1.2	Étude du cas MCHAT-R/F : Un Dilemme de Sensibilité Excessive	62
4.1.3	Hypothèse	64
4.1.4	Approche à trois niveaux	65
4.1.4.1	Niveau I : Pré-sélection des Questionnaires	65
4.1.4.2	Niveau II : Hybridation Sémantique	66
4.1.4.3	Niveau III : Fonction d'évaluation	67
4.1.5	Setup Expérimental	68
4.1.5.1	Discussion des résultats	71
4.1.5.2	Conclusion et perspective	71
5	Friendly - Révolutionner la Psychothérapie des Jeunes Autistes	73
5.1	Introduction	73
5.2	Contextualisation et problématique	74
5.3	Motivations et philosophie de l'approche	74
5.4	Conception et architecture du système	75
5.4.1	Module d'apprentissage	75
5.4.1.1	Module de Gestion des Contributions	78
5.4.1.2	Module de Gestion des Données Externes	78
5.4.1.3	Module de Gestion des Versions	79
5.5	Topologie, configuration et performances du modèle d'apprentissage profond	81
5.5.1	Conception de la topologie et motivations	81
5.5.2	Architecture du Réseau de neurones profond	82
5.5.3	Aperçu de l'ensemble de données	83
5.5.4	Performances du modèle	83
5.6	Expérimentation en thérapie	84
5.6.1	Méthodologie de Formation des Groupes et Caractéristiques des Participants :	84
5.6.2	Observations Relatives aux Enfants	86
5.6.2.1	Evaluation des thérapeutes	87
5.6.3	Perspectives	89
6	VirtualSobriety - Redéfinir le Traitement des Addictions	91
6.1	Attention visuelle : Fondements et Quantification	92
6.1.1	Comprendre l'attention visuelle	92
6.1.2	Quantification de l'attention visuelle entre le passé et le présent	92
6.2	Limites des approches, Philosophie et Motivations	93
6.3	Hypothèse	94

6.4	Implémentations et tests de performances	97
6.5	Contextualisation Scientifique et Analyse Comparative	100
6.6	VirtualSobriety : Un outil de dépistage d'alcoolisme immersif basé sur l'attention sélective	101
6.6.1	Contexte et motivations	101
6.6.2	Hypothèse et philosophie de l'approche	102
6.6.3	Setup expérimental	103
6.6.4	Population et méthodologie	107
6.6.5	Résultats préliminaires	107
6.7	Conclusion et perspectives	111
Conclusion		113
A Liste de contrôle modifiée pour l'autisme chez les jeunes enfants, corrigée avec suivi (MCHAT-R/F)		115
A.1	Contenu	115
A.2	Algorithme de cotation	116
B Questionnaire Hybride : Version Intégrale		119
B.1	Contenu	119
B.1.1	Informations Personnelles	119
B.1.2	Orientation sociale et communication réceptive	119
B.1.3	Communication expressive	119
B.1.4	Traitement sensoriel	120
B.1.5	Comportements répétitifs	120
B.1.6	Imitation	120
B.1.7	Engagement social et affectif	120
B.1.8	Réactivité	121
B.1.9	Sans catégorie	121
C Outils d'évaluation du niveau d'immersion/Outils d'évaluation de l'envie de consommation		123
C.1	SLATER-USOH-STEED QUESTIONNAIRE (SUS)	123
C.2	I-Group Presence Questionnaire (IPQ) (version Française)	124
C.3	PRESENCE QUESTIONNAIRE (Witmer & Singer, Vs. 3.0, Nov. 1994)	125
C.3.1	Contenu	125
C.3.2	Catégorisation	126
C.4	ALCOHOL CRAVING QUESTIONNAIRE	127
C.4.1	Background	127
C.4.2	Contenu	127
Bibliographie		129

Table des figures

1.1	Illustration de la boucle fondamentale de la TCC	13
1.2	Prévalence de l'autisme aux USA depuis l'an 2000	17
1.3	La diversité du spectre autistique illustrée par 'la roue de l'autisme' [25]	18
2.1	Casque de réalité virtuelle HTC Vive pro 2	24
2.2	L'Épée de Damoclès, ancêtre des casques de RV modernes	25
2.3	Les Datagloves [280] (gants de données)	25
2.4	Le Reality-Virtuality Continuum de Milgram	26
2.5	Warren McCulloch and Walter Pitts [33]	28
2.6	John McCarthy et Marvin Minsky [33]	28
2.7	Algorithme de rétropropagation	29
2.8	Bernard Widrow, Yann LeCun et Yoav Freund [33]	30
2.9	Réseau neuronal avec une seule couche cachée	34
2.10	Fonctionnement des poids et des biais	34
2.11	Modèle d'architecture multicouches VGG16	35
2.12	Capture d'émotions via différentes modalités	36
3.1	extrait de l'expérimentation de l'étude de Freeman et al	40
3.2	extrait de l'expérimentation de l'étude de Miloff et al. [167]	41
3.3	extrait de l'expérimentation de l'étude de Lindner [134]	42
3.4	Extrait de l'expérimentation de Horace et al. [98]	42
3.5	Illustration de l'environnement de réalité virtuelle half-CAVE [98]	43
3.6	Extraits de l'expérimentation de Katharina Krosch et al. [115]	44
3.7	extrait de l'expérimentation de l'étude de Fajernová [55]	46
3.8	extrait de l'expérimentation de l'étude de Louks [140]	46
3.9	Extrait de l'expérimentation de Lindner [136]	47
3.10	extrait de l'expérimentation de Malbos et al [146]	48
3.11	Extrait de l'expérimentation de Rothbaum et al. [217]	49
4.1	Processus de dépistage de l'autisme	60
4.2	Pipeline pré-sélectif [82]	66
4.3	Hybridation Sémantique	67
4.4	Processus de création de fonction d'évaluation	68
4.5	Distribution de la collecte [82]	70
5.1	Module D'apprentissage	76
5.2	Ensemble des sous modules d'apprentissage	77
5.3	Module de Gestion des Contributions	78
5.4	Module de Gestion des données externes	79
5.5	Module de Gestion des versions	79
5.6	Architecture générale	80
5.7	Architecture finale du modèle d'apprentissage profond [80]	82
5.8	Vue d'ensemble du dataset [80]	83

5.9	Performances du modèle [81]	84
5.10	Interface de dialog	85
5.11	Questionnaire d'évaluation	88
5.12	Résultats quantitatifs	88
6.1	Représentation visuel d'un produit scalaire	95
6.2	Effet de la distance sur l'allocation d'attention	96
6.3	Setup d'environnement virtuel	97
6.4	Evolution des scores	98
6.5	Environnement avec 150 objets	99
6.6	Taux de rafraîchissement	99
6.7	Usage CPU/GPU	100
6.8	différence d'allocation visuelle chez les alcooliques et les non-alcooliques	102
6.9	Scénario 1 : Galerie Virtuelle	104
6.10	Toiles présente dans le scénario 1	104
6.11	Scénario 2 : Rue Urbaine	105
6.12	Paneaux publicitaire dans le scénario 2	105
6.13	Scénario 3 : Bar restaurant	106
6.14	Menu du scénario 3	106
6.15	Aperçu des réponse sur l'immersion	108
6.16	Systèmes de déplacement en VR	108
6.17	Effet du type de déplacement sur l'équation de l'attention	109
6.18	Maillage Faible VS Maillage Elevé	109
6.19	Scores d'attention dans différents environnements	110
6.20	Effet du type de déplacement sur l'équation de l'attention	111
C.1	Réponse type au PQ	126
C.2	Réponse type au ACQ	128

Liste des tableaux

1.1	Comparatif entre la psychiatrie et la pédopsychiatrie	16
1.2	Prévalence de la consommation épisodique excessive d'alcool chez les jeunes dans différentes régions de l'OMS [274]	21
2.1	comparatif des points fondamentaux de l'apprentissage supervisé et de l'apprentissage non supervisé	33
4.1	Instruments de dépistage du trouble du spectre de l'autisme [148]	63
4.2	Outils sélectionnés [82]	69
4.3	Catégories et exemples de questions	69
4.4	Performances des différents modèles sur 10 exécutions	70
5.1	Comparaison des Topologies de Réseaux Neuronaux	81
5.2	Profils des Professionnels	85
5.3	Aperçu de la Population	85
5.4	Observations des Sessions avec les Enfants	87
5.5	Réponses directes des professionnels	89
6.1	Scénario d'utilisation	98
6.2	Comparaison théorique entre le Tobii Eye Tracker, le VIVE Pro Eye et notre modèle mathématique	101
6.3	Données démographiques des participants	107
A.1	Contenu du MCHAT-R/F [212]	116
C.1	I-Group Presence Questionnaire (IPQ) (version Française)	124

Liste des Abréviations

APA	American Psychiatric Association
TCC	Thérapie Cognitive et Comportementale
TOC (en : OCD)	Trouble Obsessionnel-Compulsif
TSPT (en : PTSD)	Trouble Stress Post-Traumatique
MDS-5 (en : DSM-5)	Manuel Diagnostique et Statistique 5ème édition
CIM-11	Classification Internationale des Maladies 11ème édition
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
TDAH (en : ADHD)	Trouble Déficit de l'Attention avec/sans Hyperactivité
TSA (en : ASD)	Trouble du Spectre Autistique
RV (en : VR)	Réalité Virtuelle
HUD	Heads-Up Display
RA (en : AR)	Réalité Augmentée
RM (en : MR)	Réalité Mixte
AA (en : ML)	Apprentissage Automatique
IA (en : AI)	Intelligence Artificielle
CNN	Convolutional Neural Network
RNN	Recurrent Neural Network
NLP (fr : TALN)	Natural Language Processing
API	Application Programming Interface
TERV (en : VRET)	Thérapie d'Exposition par Réalité Virtuelle
OST	One Session Treatment
TAG	Trouble de l'Anxiété Généralisé
M-CHAT	Modified Checklist for Autism in Toddlers
Q-CHAT	Quantitative Checklist for Autism in Toddlers

Résumé

À une époque où les troubles mentaux posent des défis cruciaux pour la santé globale, et plus particulièrement pour la santé mentale, cette thèse examine la problématique de l'amélioration des méthodes thérapeutiques en psychiatrie. Les approches thérapeutiques traditionnelles, qui reposent principalement sur l'expertise des professionnels de la santé mentale, se révèlent efficaces dans de nombreux cas. Cependant, elles manquent de précision, notamment lorsqu'il s'agit de traiter de grands volumes de données, d'observations analytiques, et de la sensibilité ou de la gravité de certains cas. Par conséquent, ces méthodes traditionnelles ont montré des limites significatives en termes de diagnostic et d'efficacité du traitement.

À l'inverse, les technologies modernes basées sur l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique, la réalité virtuelle et l'informatique affective offrent des opportunités sans précédent pour soutenir et améliorer ces pratiques thérapeutiques. Ces technologies facilitent l'intégration des avancées technologiques modernes avec les pratiques psychiatriques. L'idée de lier ces deux domaines forme la problématique centrale abordée dans cette thèse, qui consiste à utiliser les techniques d'apprentissage automatique et de réalité virtuelle pour améliorer le diagnostic, le suivi et le traitement des troubles mentaux et psychologiques. L'objectif global est de parvenir à des soins de santé plus adaptatifs, appropriés et efficaces, adaptés aux conditions spécifiques de chaque patient.

Cette thèse propose trois contributions majeures et originales dans le domaine. La première utilise l'apprentissage automatique pour dépister précocement les signes de l'autisme chez les enfants, offrant ainsi une évaluation précise et rapide qui facilite une intervention anticipée. La seconde vise à améliorer l'engagement des enfants autistes en adaptant les interactions grâce à l'apprentissage profond et à l'informatique affective. Enfin, la troisième permet de quantifier l'attention visuelle dans des environnements contrôlés utilisant la réalité virtuelle, pour explorer un dépistage avant-gardiste de l'alcoolisme.

Les résultats obtenus, observés et discutés, démontrent que ces innovations technologiques, lorsqu'elles sont utilisées de manière éthique et équitable, ont le potentiel de transformer radicalement la santé mentale. Elles offrent des solutions novatrices pour des défis complexes et diversifiés.

Abstract

In a time where mental disorders present critical challenges to overall health, and particularly to mental health, this thesis examines the issue of enhancing therapeutic methods in psychiatry. Traditional therapeutic approaches, which rely heavily on the expertise of mental health professionals, are effective in many cases. However, they lack precision, especially when dealing with large volumes of data, analytical observations, and the sensitivity or severity of certain cases. Consequently, these traditional methods have demonstrated significant limitations in terms of diagnosis and treatment efficacy.

Conversely, modern technologies based on artificial intelligence, machine learning, virtual reality, and affective computing offer unprecedented opportunities to support and enhance these therapeutic practices. These technologies facilitate the integration of modern technological advancements with psychiatric practices. The idea of linking these two fields forms the core issue addressed in this thesis, which involves utilizing machine learning and virtual reality techniques to improve the diagnosis, monitoring, and treatment of mental and psychological disorders. The overarching objective is to achieve more adaptive, suitable, and effective healthcare tailored to the specific conditions of each patient.

This thesis proposes three major and original contributions in the field. The first employs machine learning to detect early signs of autism in children, providing precise and rapid evaluation that facilitates early intervention. The second aims to enhance the engagement of autistic children by adapting interactions through deep learning and affective computing. Finally, the third contribution quantifies visual attention in controlled environments using virtual reality to explore an innovative approach to alcohol detection.

The results obtained, observed, and discussed demonstrate that these technological innovations, when used ethically and equitably, have the potential to radically transform mental health. They offer innovative solutions to complex and diverse challenges.

ملخص

في وقت تشكل فيه الاضطرابات النفسية والإدمان تحديات حاسمة للصحة بشكل عام، و للصحة العقلية بشكل خاص، تبحث هذه الأطروحة في اشكالية تحسين الأساليب العلاجية في الطب النفسي. حيث أن الأساليب العلاجية المستعملة عادة و التي تعتمد أساسا على كفاءات الأطباء المختصين في الصحة العقلية وعلاج الاضطرابات النفسية تعطي فاعلية في كثير من الحالات، الا أنها تفتقر للدقة خاصة اذا تعلق الأمر بالتعامل مع كم كبير من المعطيات، البيانات و الملاحظات التحليلية من جهة، و حساسية أو خطورة التعامل مع بعض الحالات المرضية من جهة أخرى، و بالتالي فان هذه الطرق العلاجية، و حسب تقدير المختصين في هذا المجال، تكون قد أبانت عن محدودية ملحوظة من حيث التشخيص وفعالية العلاج.

من جهة أخرى، توفر التقنيات الحديثة البنية على الذكاء الاصطناعي، التعلم الآلي، الواقع الافتراضي والحوسبة العاطفية فرصًا غير مسبوقة لتدعيم و تعزيز هذه الممارسات العلاجية، حيث تفتح مجالًا للربط بين التكنولوجيات الحديثة من جهة و الطب النفسي و العقلي من جهة أخرى. وقد كانت فكرة الربط بين هاذين المجالين منطلقا لنا في وضع الاشكالية الأساسية التي تتطرق لها هذه الأطروحة، و التي تتعلق باستعمال تقنيات التعلم الآلي و الواقع الافتراضي لتعزيز و تحسين تشخيص، متابعة و علاج الاضطرابات النفسية و العقلية، بهدف الوصول الى رعاية صحية أكثر تكييفًا، تلاؤمًا وفعالية مع مختلف الحالات المرضية حسب خصوصية و حالة كل مريض

نقدم من خلال هذه الأطروحة ثلاثة إسهامات رئيسية في هذا المجال، تتم بالأصالة و التكامل. حيث يستخدم المقترح الأول استخدام تقنيات التعلم الآلي للكشف المبكر عن علامات التوحد عند الأطفال، مما يوفر تقييمًا دقيقًا وسريعًا يسهل التكفل المبكر. أما الإسهام الثاني فيهدف إلى تحسين تفاعل الأطفال المصابين بالتوحد من خلال تكييف التفاعلات باستخدام التعلم العميق و الحوسبة العاطفية. في حين نهتم في الإسهام الثالث باقتراح نموذج لتقدير الانتباه البصري لدى الأشخاص المدمنين على المشروبات الكحولية من خلال بيئات علاجية افتراضية مبنية على المحاكاة، تستخدم الواقع الافتراضي

النتائج المتحصلة في المساهمات الثلاثة تبرز أن هذه استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي، الواقع الافتراضي و الحوسبة العاطفية عند استخدامها بطريقة أخلاقية وعقلانية، تقدم حلولاً مبتكرة لتحديات معقدة و متنوعة، و تساهم بقدر كبير في تحسين التكفل العلاجي في مجال الصحة العقلية و النفسية.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon superviseur, *Pr. Abdelkrim Bouramoul*, pour m'avoir offert l'opportunité de travailler à ses côtés sur un domaine si fascinant. Merci pour votre guidance précieuse, pour m'avoir poussé à dépasser mes limites et pour la confiance que vous m'avez accordée tout au long de ce parcours.

À mes parents, merci pour votre patience et votre soutien sans faille pendant ces cinq années de thèse.

À mon ami et camarade de crime, *Imad*, dont la créativité et les compétences exceptionnelles m'ont été d'une aide précieuse. Merci d'avoir été à mes côtés, offrant toujours des solutions innovantes et un soutien constant.

Un immense merci aux professionnels du domaine, notamment le *Pr. Hocine Hanene*, pour leur aide, leur investissement et leurs conseils éclairés qui ont été essentiels à la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier le *Pr. José Miguel* de m'avoir accueilli dans son laboratoire et de veiller à ce que je ne manque de rien durant ma mobilité.

Enfin, je tiens à remercier chaleureusement mes collègues de travail pour leur soutien et leur camaraderie, ainsi que toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à ce travail.

Dédicaces...

À mes parents.

À mes Amis.

À mes chats...

Introduction Générale

Contexte et Problématique

À l'ère du numérique, le monde de la psychiatrie connaît des transformations profondes grâce à l'intégration de technologies avancées telles que l'apprentissage automatique, la réalité virtuelle, l'informatique affective, et d'autres innovations technologiques. Ces outils révolutionnaires redéfinissent les méthodes traditionnelles, offrant des opportunités sans précédent pour diagnostiquer et traiter les troubles mentaux avec une précision et une efficacité accrues. Toutefois, malgré les progrès technologiques, l'application pratique de ces technologies dans le domaine de la psychiatrie soulève des questions complexes quant à leur efficacité réelle, leur accessibilité, et leurs implications éthiques. La nécessité de comprendre et d'optimiser l'interaction entre la technologie et les soins psychiatriques est donc devenue une urgence pour la communauté scientifique et médicale.

Motivations

La motivation principale de cette thèse est de combler le fossé entre les promesses des technologies émergentes et leur utilisation effective dans la pratique psychiatrique. Le potentiel de ces technologies pour transformer le diagnostic, le traitement, et la gestion des troubles mentaux est immense. Par exemple, la réalité virtuelle offre des méthodes thérapeutiques innovantes qui permettent de simuler des environnements contrôlés pour le traitement des phobies et du PTSD. L'apprentissage automatique peut analyser de grandes quantités de données cliniques pour identifier des modèles qui prédisent les résultats des traitements. L'informatique affective, quant à elle, peut rendre les interactions avec les patients plus naturelles et empathiques. Explorer ces technologies et les défis associés peut non seulement améliorer la qualité des soins mais aussi accélérer l'adoption de nouvelles méthodes thérapeutiques dans la psychiatrie moderne.

Contributions

Cette thèse apporte plusieurs contributions innovantes à la psychiatrie numérique, notamment le développement et la validation de trois outils technologiques majeurs :

1. **AutismScreenAI** : Un outil de dépistage automatisé pour l'autisme, qui utilise des techniques avancées d'apprentissage automatique pour analyser les comportements précoces et identifier les signes d'autisme chez les jeunes enfants bien avant les méthodes de dépistage traditionnelles. Ce système vise à permettre une intervention précoce, améliorant ainsi significativement les perspectives de développement des enfants touchés.

2. **Friendly** : Un framework basé sur l'apprentissage profond conçu pour soutenir les interventions psychothérapeutiques auprès des jeunes enfants autistes. Friendly utilise des modèles de traitement du langage naturel et de reconnaissance des émotions pour adapter les interactions en fonction des besoins spécifiques de chaque enfant, facilitant ainsi une meilleure communication et engagement lors des séances thérapeutiques.
3. **VirtualSobriety** : Une nouvelle approche qui combine la réalité virtuelle et la quantification de l'attention visuelle pour traiter les addictions. Ce programme permet aux patients de s'exercer à contrôler leurs impulsions et à gérer leur attention dans un environnement contrôlé, offrant une méthode innovante et efficace pour améliorer les stratégies de gestion des comportements addictifs. Ces développements technologiques sont à la pointe de la recherche en psychiatrie numérique et ont le potentiel de transformer les pratiques actuelles en offrant des outils précis, personnalisés et efficaces pour le diagnostic et le traitement des troubles psychiatriques. Ils illustrent l'engagement de cette recherche à améliorer la qualité des soins et l'efficacité des interventions, tout en ouvrant la voie à des pratiques plus inclusives et accessibles en santé mentale.

Plan de thèse

Cette thèse est organisée en deux parties distinctes pour mieux structurer l'exploration des technologies en psychiatrie et la présentation des innovations développées. La première partie couvre l'état de l'art et comprend les trois premiers chapitres, tandis que la deuxième partie présente nos contributions originales et comprend les trois derniers chapitres.

— Partie I : Etat de l'art

- **Dans le premier chapitre**, nous explorons les fondations théoriques nécessaires à la compréhension des troubles mentaux. Ce chapitre établit le contexte en abordant la définition de la psychiatrie, les divers troubles mentaux et leur classification, et les distinctions fondamentales entre psychiatrie et psychologie. Il traite également des principales écoles de traitement, mettant en lumière les approches médicamenteuses et psychothérapeutiques, notamment la psychothérapie cognitive et comportementale et la thérapie par exposition.
- **Le deuxième chapitre** présente une analyse approfondie des technologies avancées telles que la réalité virtuelle et l'apprentissage automatique, indépendamment de leur application en psychiatrie. Il décrit l'évolution de ces technologies, leurs principes de base, et souligne leur potentiel disruptif en général.
- **Dans le troisième chapitre**, nous examinons comment ces technologies, y compris l'informatique affective, sont actuellement utilisées dans le cadre psychiatrique pour le dépistage, le diagnostic, et le traitement. Une revue de la littérature scientifique récente illustre les progrès accomplis ainsi que les défis rencontrés dans leur intégration pratique.

— Partie II : Contributions Originales

- **Le quatrième chapitre** traite de l'outil "AutismScreenerAI", développé pour le dépistage précoce de l'autisme. Ce chapitre détaille le contexte de développement de cet outil, la problématique qu'il cherche à résoudre, les hypothèses sous-jacentes, ainsi que les méthodologies employées pour sa validation.

- **Le cinquième chapitre** est consacré à "Friendly", un système conçu pour améliorer les interventions psychothérapeutiques chez les jeunes enfants autistes. Nous discutons de la conception, de l'architecture, et des résultats des tests de ce framework basé sur l'apprentissage profond.
- **Le sixième chapitre** introduit "VirtualSobriety", une nouvelle approche en addictologie qui utilise la quantification de l'attention visuelle combinée à l'immersion en réalité virtuelle. Le développement de cette méthode, son cadre expérimental, et les résultats obtenus sont discutés.

I. ETAT DE L'ART

Chapitre 1

Fondements de la Psychiatrie : Entre Théorie et Pratique

Introduction

La psychiatrie, discipline à la fois riche et complexe, repose sur une compréhension approfondie des troubles mentaux et de la diversité de leurs traitements. Ce premier chapitre pose les fondations nécessaires aux discussions ultérieures concernant l'intégration des technologies avancées en psychiatrie, en scrutant les principes fondamentaux qui régissent cette discipline médicale. Nous y abordons la définition précise de la psychiatrie, la classification des troubles mentaux et établissons une distinction essentielle entre psychiatrie et psychologie, en termes de parcours de formation, de qualifications et de domaines de pratique.

Par ailleurs, nous examinons les divers courants thérapeutiques, en mettant en exergue les approches médicamenteuses et psychothérapeutiques, avec une attention particulière accordée à la psychothérapie cognitive et comportementale (TCC) ainsi qu'à la thérapie par exposition. La section dédiée à la pédopsychiatrie présente les spécificités du traitement des jeunes patients, en particulier ceux diagnostiqués avec des troubles du spectre de l'autisme, tout en soulignant les défis et implications propres à cette sous-discipline. Enfin, nous abordons les concepts relatifs à l'addiction, en explorant les définitions, les diagnostics, et les modalités thérapeutiques spécifiques aux dépendances, notamment en ce qui concerne l'alcoolisme.

Ce chapitre offre ainsi un panorama exhaustif des assises théoriques et cliniques de la psychiatrie, préparant le terrain pour l'exploration des innovations technologiques de plus en plus intégrées dans ce domaine. Il illustre comment ces avancées peuvent être mobilisées pour optimiser les interventions et améliorer les résultats thérapeutiques dans les développements ultérieurs de cet ouvrage.

1.1 Généralités sur la psychiatrie

1.1.1 Définition de la psychiatrie

La psychiatrie est reconnue comme une spécialité médicale essentielle, dévolue à l'étude approfondie, au diagnostic, au traitement, et à la prévention des troubles mentaux. Définie par l'American Psychiatric Association (APA) comme une branche de la médecine centrée sur la compréhension des troubles mentaux, incluant leurs origines, leurs manifestations cliniques et leurs traitements, cette discipline s'intéresse également à l'évaluation exhaustive et à la gestion globale des problématiques de santé mentale [11].

Fondée sur un riche corpus de connaissances empiriques provenant d'études cliniques, de recherches en neurosciences, d'analyses génétiques, de modèles animaux, d'enquêtes épidémiologiques et d'observations minutieuses en contexte clinique, la psychiatrie se dote d'une base solide pour l'établissement de critères diagnostiques précis. Cette accumulation de preuves scientifiques est indispensable non seulement pour cerner avec exactitude les causes profondes des troubles mentaux, mais également pour le développement de thérapies efficaces et la mise en place de stratégies de prévention innovantes [97].

1.1.2 Psychiatrie vs Psychologie

La psychiatrie et la psychologie constituent deux disciplines distinctes mais complémentaires, dédiées à l'étude et à la gestion de la santé mentale. Leur divergence repose principalement sur trois axes principaux :

1.1.2.1 Formation et qualifications

- **Psychiatrie** : Les psychiatres sont des médecins formés initialement en médecine générale avant de se spécialiser en psychiatrie. Après avoir obtenu un diplôme en médecine (M.D. ou D.O.), ils complètent une résidence en psychiatrie, ce qui les qualifie pour diagnostiquer et traiter les troubles mentaux. Ils sont également habilités à prescrire des médicaments et à offrir des traitements médicaux spécifiques aux troubles mentaux [109].
- **Psychologie** : Les psychologues, quant à eux, poursuivent des études supérieures en psychologie et obtiennent des diplômes tels que Bachelor, Master ou Doctorat (Ph.D. ou Psy.D.). Ils reçoivent une formation approfondie pour évaluer et traiter les troubles émotionnels, comportementaux et cognitifs. Dans certaines juridictions, après une formation complémentaire, ils peuvent prescrire des médicaments en tant que psychologues cliniciens prescripteurs [255].

1.1.2.2 Approches thérapeutiques

- **Psychiatrie** : Les psychiatres adoptent fréquemment une approche médicale pour le traitement des troubles mentaux, utilisant des médicaments psychotropes tels que les antidépresseurs, les anxiolytiques, et les antipsychotiques. Certains psychiatres intègrent également des méthodes de psychothérapie, notamment la thérapie cognitivo-comportementale (TCC) et la thérapie psychodynamique.
- **Psychologie** : Les psychologues privilégient les méthodes de psychothérapie pour assister leurs patients. Ils utilisent diverses approches telles que la TCC, la thérapie comportementale, la thérapie dialectique comportementale (DBT), la thérapie psychodynamique, et d'autres spécialisations comme la neuropsychologie ou la psychologie clinique [103].

1.1.2.3 Domaines d'intervention

- **Psychiatrie** : Les psychiatres traitent souvent des cas de troubles mentaux sévères ou complexes, tels que la schizophrénie, les troubles bipolaires sévères ou les dépressions majeures, et interviennent également dans des cas de comorbidités entre troubles mentaux et conditions médicales.

- **Psychologie** : Les psychologues traitent une gamme plus étendue de problèmes de santé mentale, des troubles anxieux et de l'humeur aux difficultés relationnelles, au stress, à l'estime de soi, et aux défis d'adaptation aux changements de vie [77].

La collaboration entre psychiatres et psychologues est fréquente et enrichissante, chacun apportant une expertise spécifique qui contribue significativement à l'amélioration de la santé mentale des patients [198] [236].

1.2 Exploration des Troubles Mentaux : Origines et Conséquences

Un trouble mental est défini comme une condition clinique manifestée par des modifications notables dans la pensée, l'humeur, le comportement ou la perception, entraînant une détresse significative ou un dysfonctionnement dans les activités sociales, professionnelles ou personnelles de l'individu. Ces perturbations peuvent résulter de multiples causes, y compris des facteurs génétiques, des déséquilibres biochimiques, des expériences traumatiques, et des influences environnementales, souvent en interaction [235].

1.2.1 Définition Clinique

Cliniquement, un trouble mental se caractérise par des symptômes cognitifs, émotionnels et comportementaux qui divergent des normes culturelles et altèrent substantiellement la fonctionnalité de l'individu. Ces symptômes varient grandement en termes d'intensité et de durée, pouvant osciller entre des perturbations mineures et des handicaps sévères [9].

1.2.2 Causes Multifactorielles

Les origines des troubles mentaux sont intrinsèquement complexes et résultent de la combinaison de plusieurs facteurs étiologiques¹ :

- **Facteurs Génétiques** : De nombreuses études ont révélé que certains troubles mentaux, tels que la schizophrénie et les troubles bipolaires, peuvent être influencés par des prédispositions génétiques, où des gènes spécifiques augmentent la susceptibilité à ces maladies [203].
- **Déséquilibres Biochimiques** : Les neurotransmetteurs, messagers chimiques essentiels du système nerveux, jouent un rôle critique dans la régulation de l'humeur et du comportement. Des déséquilibres dans des systèmes neurotransmetteurs comme la sérotonine et la dopamine sont souvent liés à des troubles tels que la dépression et l'anxiété [185].
- **Facteurs Environnementaux** : Les circonstances de vie telles que le stress prolongé, les traumatismes physiques ou émotionnels, et les changements majeurs dans la vie personnelle sont reconnus pour leur impact significatif sur l'apparition et le développement de troubles mentaux [258].
- **Influences Psychosociales** : Les interactions sociales, les conditions de vie, et les influences culturelles peuvent également exercer une influence considérable sur

1. Le terme "étiologique" vient du grec "aitiologia", qui signifie "étude des causes". Ainsi, dans un contexte médical, évoquer les facteurs étiologiques, c'est parler des divers éléments ou conditions (génétiques, environnementaux, psychologiques, etc.) qui peuvent être à la base de l'apparition et de la progression d'une pathologie [119].

la santé mentale, affectant la manière dont les individus perçoivent et gèrent leurs symptômes [110].

1.2.3 Catégorisation des troubles mentaux

La classification des troubles mentaux constitue un processus complexe destiné à organiser et catégoriser les différentes conditions psychiatriques selon leurs caractéristiques cliniques et similitudes. Le Manuel Diagnostique et Statistique des Troubles Mentaux, Cinquième Édition (DSM-5) [9], représente une référence essentielle pour le diagnostic en santé mentale, fournissant des critères diagnostiques détaillés pour une vaste gamme de troubles mentaux. Cette classification est fondée sur une approche catégorielle, impliquant que les troubles sont divisés en catégories distinctes, chacune définie par des critères diagnostiques spécifiques qui doivent être satisfaits pour confirmer le diagnostic.

Selon le DSM-5, les troubles mentaux sont répartis en neuf catégories principales, présentées comme suit :

- **Troubles neurodéveloppementaux** [244] : Ces troubles comprennent le trouble du spectre de l'autisme (TSA), le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH), le trouble spécifique de l'apprentissage, et d'autres conditions affectant le développement neurologique.
- **Troubles schizophréniques et autres troubles psychotiques** [216] : Cette catégorie inclut la schizophrénie, le trouble schizophréniforme, le trouble schizo-affectif, ainsi que les troubles psychotiques induits par des substances ou associés à d'autres conditions médicales.
- **Troubles de l'humeur** [205] : Incluant la dépression majeure, le trouble bipolaire, le trouble de dérèglement de l'humeur, et le trouble cyclothymique, ces troubles impactent principalement l'état émotionnel de l'individu.
- **Troubles anxieux** [45] : Cette catégorie regroupe des troubles comme le trouble panique, le trouble d'anxiété généralisée, le trouble obsessionnel-compulsif, le trouble de stress post-traumatique, et les phobies spécifiques.
- **Troubles liés à des substances et addictions** [281] : Cela comprend les troubles résultant de l'usage d'alcool, de drogues ou de médicaments, ainsi que des comportements addictifs comme le jeu pathologique.
- **Troubles de la personnalité** [125] : Comprend des conditions comme le trouble de la personnalité borderline, le trouble de la personnalité narcissique, et le trouble de la personnalité antisociale, caractérisés par des modèles durables de comportement et de pensée qui s'écartent des attentes culturelles.
- **Troubles de l'alimentation** [108] : Englobant l'anorexie nerveuse, la boulimie nerveuse, et le trouble de l'hyperphagie boulimique, ces troubles représentent des conditions sévères liées aux habitudes alimentaires.
- **Troubles du sommeil** [195] : Cette catégorie comprend des troubles tels que l'insomnie, l'apnée du sommeil, la narcolepsie, et d'autres troubles affectant le sommeil.
- **Troubles de la sexualité** [215] : Ces troubles incluent le trouble de l'excitation sexuelle, le trouble de l'orgasme, la dysfonction érectile, et le trouble du désir sexuel hypoactif, parmi d'autres.

Cette approche structurée permet aux professionnels de la santé mentale d'appliquer des critères diagnostiques précis, facilitant ainsi l'identification et le traitement appropriés des troubles mentaux, tout en reconnaissant la diversité et la complexité des manifestations psychiatriques.

1.2.4 Implications et Gestion

La gestion des troubles mentaux requiert une approche holistique² intégrant la psychothérapie, la pharmacothérapie, et diverses interventions de soutien psychosocial. L'objectif primordial de ces traitements est de restaurer la fonctionnalité optimale de l'individu et de minimiser ou éliminer les symptômes présentés. Les psychothérapies, notamment la thérapie cognitive-comportementale (TCC), se sont révélées efficaces dans le traitement de nombreuses pathologies mentales, souvent en synergie avec des approches pharmacologiques.

La prévention des troubles mentaux met l'accent sur l'importance de l'intervention précoce et de la sensibilisation. La détection précoce des symptômes, surtout chez les jeunes, peut mener à des interventions plus ciblées et préventives, évitant ainsi l'aggravation des troubles.

1.3 Écoles de Traitement en Psychiatrie

Le traitement des troubles mentaux en psychiatrie est dicté par une multitude de facteurs, incluant la nature du trouble, sa sévérité, et les besoins spécifiques du patient. La recherche scientifique distingue principalement deux grandes orientations thérapeutiques [13] [10] [96] :

1.3.1 Thérapies Médicamenteuses

La thérapie médicamenteuse en psychiatrie s'appuie sur l'emploi de médicaments psychotropes qui influencent les neurotransmetteurs et les récepteurs cérébraux, modulant ainsi l'humeur, les émotions et les comportements. Ces médicaments se divisent en plusieurs catégories essentielles [183] :

- **Antidépresseurs** [111] : Principalement prescrits pour la dépression et certains troubles anxieux, ces médicaments ajustent les niveaux de neurotransmetteurs comme la sérotonine, améliorant ainsi l'état émotionnel.
- **Antipsychotiques** [92] : Utilisés pour traiter les symptômes psychotiques tels que les hallucinations et les délires, principalement dans des troubles comme la schizophrénie, ils agissent en inhibant les récepteurs de la dopamine.
- **Anxiolytiques** [229] : Ces agents pharmaceutiques atténuent l'anxiété et sont généralement employés sur une courte période pour gérer les troubles anxieux.
- **Stabilisateurs de l'humeur** [226] : Indispensables dans le traitement des troubles bipolaires, ils contribuent à stabiliser les oscillations extrêmes d'humeur.
- **Hypnotiques** [164] : Prescrits pour lutter contre l'insomnie, ils facilitent l'endormissement et améliorent la qualité du sommeil.

Cette modalité thérapeutique est particulièrement efficace pour les troubles mentaux sévères ou aigus, où les symptômes intenses requièrent une intervention rapide, tout en étant aussi applicable à des symptômes moins graves mais perturbateurs.

1.3.2 Psychothérapie

La psychothérapie, communément appelée thérapie de la parole, implique une interaction structurée entre un patient et un thérapeute. L'objectif est d'explorer et

2. une approche qui considère le patient dans son ensemble, en prenant en compte ses dimensions physique, mentale, émotionnelle et spirituelle. [119]

de modifier les pensées dysfonctionnelles, les émotions perturbatrices et les comportements problématiques [224]. Les modalités de psychothérapie varient selon le contexte clinique :

- **Thérapie cognitivo-comportementale (TCC) [43]** : Cette approche se concentre sur la restructuration des pensées et croyances négatives afin d'améliorer les comportements et les réactions émotionnelles.
- **Thérapie psychodynamique [241]** : Elle explore les influences passées et les relations interpersonnelles pour comprendre et traiter les problèmes psychologiques actuels.
- **Thérapie de groupe [61]** : Utilise le soutien et l'interaction de groupe pour faciliter le processus de guérison.
- **Thérapie d'acceptation et d'engagement (ACT) [87]** : Encourage à accepter les pensées et sentiments difficiles tout en se concentrant sur des actions alignées avec les valeurs personnelles.

Les traitements psychiatriques modernes soulignent l'importance d'une approche intégrée, combinant médication et psychothérapie pour répondre de manière exhaustive aux besoins variés des patients. Cette intégration améliore l'efficacité des interventions et promeut une perspective holistique qui tient compte des facteurs biologiques, psychologiques et sociaux [194] [32].

1.4 La psychothérapie cognitive et comportementale

La psychothérapie cognitive et comportementale (TCC) constitue une approche de traitement prééminente en psychiatrie et en psychologie, destinée à une panoplie de troubles mentaux. Fondée sur le principe que les pensées, les émotions et les comportements sont intrinsèquement liés, la TCC postule que la modification des schémas de pensée dysfonctionnels et des comportements inadaptés peut significativement améliorer la santé mentale [218].

La TCC repose sur deux axes principaux [188] :

- **Cognitive** : Cet aspect se concentre sur l'impact des pensées sur les émotions et les comportements, impliquant l'identification et la réévaluation des pensées automatiques négatives ou irréalistes qui influencent négativement les émotions et les actions. En collaboration avec le thérapeute, le patient travaille à restructurer ces pensées pour adopter des perspectives plus réalistes et constructives.
- **Comportementale** : Cette facette examine les comportements en réponse aux situations, visant à remplacer les actions inadaptées ou nuisibles par des réponses plus appropriées et bénéfiques.

La TCC s'est avérée efficace dans le traitement d'un large éventail de troubles mentaux, y compris la dépression, divers troubles anxieux, les troubles alimentaires, les troubles de l'humeur, et même certains troubles de la personnalité. Elle est fréquemment recommandée comme traitement de première intention, grâce à ses effets bénéfiques constatés à court et à long terme [74].

1.4.1 Fondements et processus de la TCC

La thérapie cognitive et comportementale explore la dynamique entre les pensées, les émotions, les comportements et les sensations physiques. Les pensées occupent une position centrale dans la TCC, les individus expérimentant souvent des pensées automatiques — réflexions spontanées en réaction aux stimuli, qui peuvent être positives ou négatives et influencer directement les émotions. Par exemple, des

pensées négatives peuvent engendrer des sentiments de tristesse, de colère, ou d'anxiété, tandis que des pensées positives peuvent susciter de la joie ou de la confiance [218].

Les émotions dictent les comportements, des émotions fortes pouvant inciter les individus à agir de manière spécifique. Par exemple, l'anxiété peut conduire à éviter certaines situations, ce qui peut à son tour affecter les sensations physiques, telles que la tension musculaire ou l'augmentation du rythme cardiaque, renforçant ainsi les pensées négatives et perpétuant un cycle de mal-être.

La TCC cherche à interrompre ce cycle en aidant les individus à reconnaître leurs pensées automatiques, à les contester, à adopter des comportements plus adaptés, et à gérer efficacement leurs émotions et sensations physiques. En modifiant une de ces dimensions, des améliorations peuvent se manifester dans les autres, contribuant ainsi à un mieux-être mental et émotionnel global.

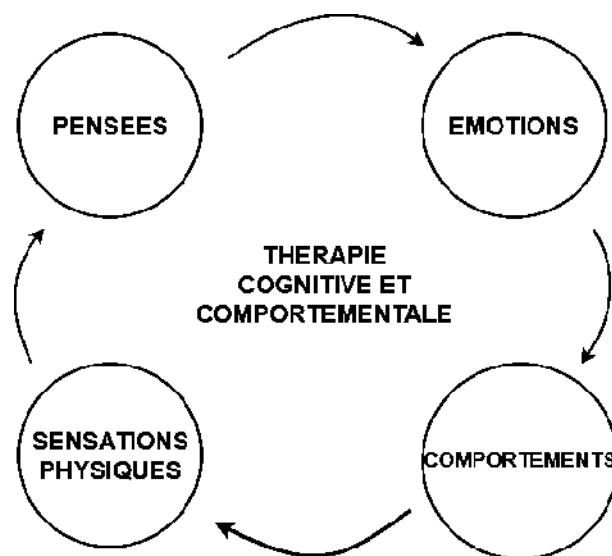


FIGURE 1.1 – Illustration de la boucle fondamentale de la TCC

Les étapes typiques de la TCC incluent l'évaluation initiale, l'éducation sur les principes fondamentaux, l'identification des schémas de pensée négatifs, la restructuration cognitive, l'adoption de techniques comportementales adaptées, et, parfois, des techniques d'exposition et de désensibilisation. Chaque phase est soigneusement adaptée aux besoins spécifiques du patient, offrant ainsi une méthode personnalisée et efficace pour gérer et surmonter les troubles mentaux [19] [58].

1.4.2 La thérapie par exposition : Principes et processus

La thérapie par exposition est une modalité spécialisée de la psychothérapie cognitive et comportementale (TCC), fréquemment utilisée pour traiter divers troubles anxieux, tels que les phobies, le trouble obsessionnel-compulsif (TOC ou OCD) et le trouble de stress post-traumatique (TSPT ou PTSD). Cette approche thérapeutique vise principalement à encourager les patients à affronter progressivement et de manière contrôlée les situations, objets, ou pensées qui suscitent leur anxiété, dans un cadre sécurisé. L'idée sous-jacente est que la répétition de l'exposition aux éléments anxiogènes atténue progressivement la réponse d'anxiété [60].

Cette thérapie s'appuie sur le principe de l'extinction, un processus d'apprentissage où une réponse conditionnée, telle que la peur, se réduit à mesure que le

stimulus déclencheur est présenté de façon répétée sans conséquences néfastes [44]. Le protocole de la thérapie par exposition se déploie en quatre étapes clés [2] :

1. **Hiérarchie d'exposition** : En collaboration avec le thérapeute, le patient établit une hiérarchie des éléments anxiogènes, ordonnée du moins au plus anxiogène, facilitant ainsi une progression méthodique dans l'exposition.
2. **Exposition graduelle** : Le patient est exposé de manière contrôlée et graduelle aux éléments de la hiérarchie, débutant par les moins anxiogènes pour progresser vers les plus provoquants. L'exposition peut se dérouler de manière imaginaire, où le patient visualise la situation, ou réelle, où il confronte directement la situation.
3. **Extinction** : Au fil des sessions d'exposition sans conséquences adverses, la réponse anxieuse du patient diminue progressivement, aidant à désensibiliser le patient face aux stimuli redoutés.
4. **Prévention de la réponse** : Cette étape finale consolide les bénéfices thérapeutiques acquis et prévient les rechutes, en rompant définitivement l'association entre le stimulus et la réaction d'anxiété initialement automatique.

La thérapie par exposition a démontré son efficacité dans de multiples études et constitue désormais un pilier dans le traitement des troubles anxieux. En démantelant systématiquement la réaction de peur à travers une exposition contrôlée, cette méthode permet aux patients de reprendre le contrôle de leur vie, diminuant ainsi significativement l'anxiété et améliorant leur qualité de vie. Cette approche souligne l'importance de l'adaptabilité et de la personnalisation dans les traitements psychothérapeutiques, affirmant que la compréhension approfondie des mécanismes sous-jacents de la peur et de l'anxiété est cruciale pour aider efficacement les individus à surmonter leurs phobies et angoisses [37].

1.5 Comprendre la Pédopsychiatrie

1.5.1 Définition et Fondements

La pédopsychiatrie, sous-spécialité de la psychiatrie, est dédiée à l'évaluation, au diagnostic et au traitement des troubles mentaux chez les enfants et les adolescents. Elle aborde les dimensions développementales, neurobiologiques, psychologiques et sociales qui influencent la santé mentale des jeunes [106].

Cette discipline privilégie une approche multidisciplinaire, intégrant les compétences de professionnels de santé mentale, de psychologues du développement, d'éducateurs, et de la famille des patients. Les techniques d'évaluation adaptées à l'âge des patients, comprenant des entretiens cliniques, des questionnaires standardisés tels que l'ABC (Aberrant Behavior Checklist) [149] et le M-CHAT (Modified Checklist for Autism in Toddlers) [212], ainsi que des observations comportementales [42] [240], sont cruciales pour garantir un diagnostic précis.

Les pathologies fréquemment traitées incluent le trouble du spectre de l'autisme [277], le trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) [69], ainsi que divers troubles de l'humeur, troubles anxieux et troubles du comportement. Les plans de traitement tiennent compte des aspects du développement cognitif, émotionnel et social de l'enfant [161].

La pédopsychiatrie accentue également la sensibilisation aux facteurs de risque et de protection pouvant influencer la santé mentale des enfants, des composantes

génétiques aux environnements de vie [220], en passant par les dynamiques familiales et les expériences traumatiques. L'intervention précoce est jugée essentielle et peut prévenir la persistance des troubles mentaux jusqu'à l'âge adulte [214].

Les interventions peuvent inclure une combinaison de psychothérapie, pharmacothérapie, éducation parentale et mesures éducatives. Les méthodes ludiques et l'expression créative sont fréquemment employées pour faciliter la communication et l'engagement des jeunes patients [127].

En conclusion, la pédopsychiatrie occupe une place fondamentale dans la compréhension et le traitement des troubles mentaux chez les enfants et les adolescents, contribuant significativement à la promotion de la santé mentale dès le plus jeune âge et favorisant le développement d'un bien-être émotionnel et psychologique durable chez cette population vulnérable [106].

1.5.2 Enjeux et implications

La pédopsychiatrie, en tant que sous-discipline spécialisée de la psychiatrie, revêt une importance cruciale en raison des distinctions significatives entre les enfants et les adultes, tant sur le plan du développement physique que psychologique. Voici plusieurs motifs pour lesquels la psychiatrie générale ne suffit pas et pourquoi la spécialisation en pédopsychiatrie est indispensable :

- **Développement Cognitif et Émotionnel** : Les enfants suivent des trajectoires de développement cognitif, émotionnel et social qui diffèrent radicalement de celles des adultes. Les troubles mentaux chez les enfants peuvent se manifester avec des symptômes spécifiques qui sont intrinsèquement liés à ces étapes de développement [220].
- **Communication Limitée** : Particulièrement chez les plus jeunes, la capacité des enfants à exprimer leurs émotions et pensées de manière verbale est souvent limitée. Les pédopsychiatres sont spécialement formés pour interpréter les signaux non verbaux et employer des méthodes de communication adaptées à l'âge des enfants.
- **Influence de l'Environnement Familial** : Les dynamiques familiales jouent un rôle prépondérant dans le développement de l'enfant. Les pédopsychiatres possèdent l'expertise nécessaire pour comprendre et intégrer ces dynamiques dans les stratégies de traitement, ce qui est souvent crucial pour le bien-être mental des enfants.
- **Sensibilité aux Médicaments** : Les enfants réagissent différemment aux médicaments psychotropes en comparaison avec les adultes, due aux différences physiologiques et métaboliques. Ainsi, la prescription de médicaments chez les jeunes nécessite une expertise spécialisée pour éviter les effets secondaires et optimiser les résultats.
- **Prévention et Intervention Précoce** : Intervenir tôt dans le développement des troubles mentaux chez les enfants est souvent décisif pour leur traitement. Les pédopsychiatres sont qualifiés pour détecter les premiers signes de troubles mentaux et mettre en œuvre des stratégies préventives efficaces.
- **Approches Thérapeutiques Spécifiques** : Les traitements doivent être adaptés non seulement à l'âge, mais également au stade de développement de l'enfant. Les pédopsychiatres utilisent des techniques thérapeutiques spécialisées pour engager activement les enfants dans le processus de guérison.

- **Collaboration Interdisciplinaire** : La pratique de la pédopsychiatrie nécessite souvent une collaboration étroite avec d'autres spécialistes, tels que les éducateurs, les travailleurs sociaux et les pédiatres, pour assurer une prise en charge holistique du bien-être de l'enfant.
- **Éthique et Consentement** : La pédopsychiatrie soulève des questions éthiques complexes, notamment en ce qui concerne le consentement éclairé des enfants, tout en respectant leur autonomie et en promouvant leur bien-être.

En somme, la pédopsychiatrie se distingue de la psychiatrie générale par sa concentration sur les troubles mentaux spécifiques aux enfants et aux adolescents. Le tableau ci-dessous illustre les différences clés entre la psychiatrie et la pédopsychiatrie.

Critère	Psychiatrie	Pédopsychiatrie
Population Cible	S'occupe des adultes, généralement à partir de l'âge de 18 ans.	Spécialisée dans la santé mentale des enfants et adolescents, depuis la petite enfance jusqu'à l'adolescence.
Approche Développementale	Aborde les aspects développementaux chez les adultes.	Prend en compte les particularités du développement psychologique, émotionnel et social des jeunes.
Méthodes d'Évaluation et d'Intervention	Emploie des méthodes adaptées à des adultes.	Utilise des techniques spécifiques aux jeunes, incluant le jeu thérapeutique et d'autres approches adaptées à leur développement.
Problématiques Spécifiques	Traite des troubles observés dans la population adulte.	Adresse des troubles propres à l'enfance et à l'adolescence, tels que les troubles du développement, du comportement et de l'apprentissage.

TABLE 1.1 – Comparatif entre la psychiatrie et la pédopsychiatrie

La pédopsychiatrie adapte ses interventions pour respecter les caractéristiques développementales uniques des enfants, nécessitant une spécialisation approfondie afin d'offrir des soins adaptés et efficaces pour cette population vulnérable.

1.5.3 Trouble du Spectre de l'Autisme

1.5.3.1 Définition

Le Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) est une catégorie nosologique³ intégrée dans les troubles neurodéveloppementaux, caractérisée par des déficits notables dans la communication sociale, des comportements répétitifs, des intérêts restreints, et des réactions sensorielles atypiques, se manifestant dès les premières étapes de la vie [12]. Selon la Classification Internationale des Maladies (CIM-11), l'autisme est classé parmi les troubles du développement neurologique [272].

1.5.3.2 Prévalence de l'Autisme

La prévalence de l'autisme a notablement augmenté au fil des décennies. Historiquement estimée entre 4 et 6 cas pour 10 000 personnes entre 1966 et 1980, elle

3. La nosologie détermine les critères à partir desquels telle ou telle classification est possible. Ces critères peuvent concerner la sémiologie (étude des symptômes), l'étiologie (l'origine de la maladie, ses causes) ou la pathologie (pathogénèse, mécanisme de l'agent provoquant la pathologie).

a grimpé à 6 à 10 cas dans les années 1980 et 1990. Les données récentes suggèrent une prévalence encore plus élevée, avec environ 52 millions de personnes affectées dans le monde, soit approximativement 1 personne sur 132, avec une incidence plus élevée chez les garçons par rapport aux filles, présentant un ratio de 4 garçons pour chaque fille [142] [139].

Aux États-Unis, le réseau Autism and Development Disabilities Monitoring (ADDM) a révélé une augmentation de 317% de la prévalence de l'autisme depuis le début des années 2000, une hausse attribuée à une meilleure sensibilisation et à des améliorations dans les méthodes de diagnostic [142].

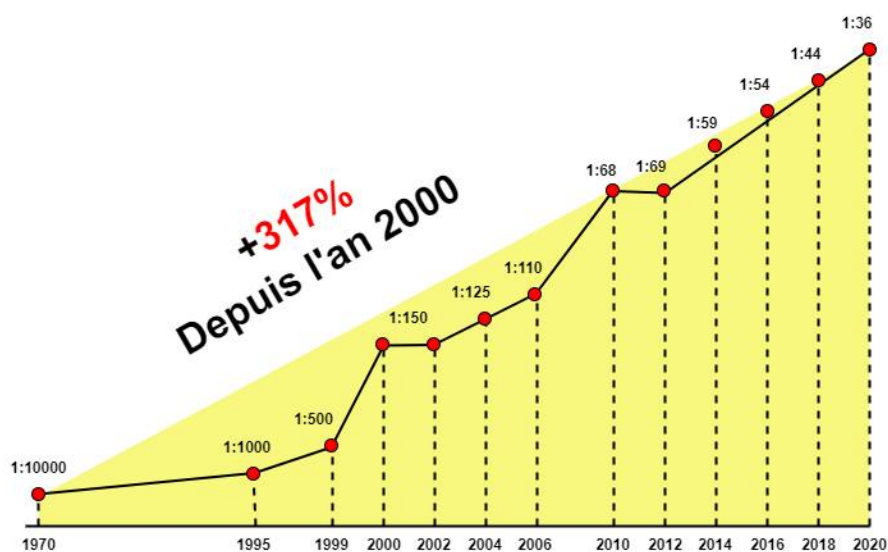


FIGURE 1.2 – Prévalence de l'autisme aux USA depuis l'an 2000

1.5.3.3 Représentation Visuelle du Spectre Autistique

Les troubles du spectre autistique ont été initialement décrits dans les années 1940 et 1950 par Leo Kanner et Hans Asperger, qui ont indépendamment caractérisé ce qui est aujourd'hui reconnu comme le TSA [94].

Depuis 1960 jusqu'à 1980, l'autisme a été progressivement reconnu comme un trouble distinct du développement. La période des années 1980 a marqué une prise de conscience accrue de la variabilité des symptômes du TSA, entraînant l'identification de sous-catégories telles que le syndrome d'Asperger [94].

L'adoption du DSM-5 en 2013 constitue un jalon important, avec l'intégration de divers troubles autistiques sous une seule et même catégorie, ce qui reflète mieux la variabilité des symptômes et des niveaux de sévérité au sein du spectre [12]. Cette classification en tant que spectre illustre la diversité des expériences et des symptômes associés au TSA, couvrant un continuum de formes légères à sévères.

En parallèle, l'émergence du concept de neurodiversité a commencé à façonner la perception de l'autisme, le reconnaissant non seulement comme un déficit mais aussi comme une variation naturelle de la neurodiversité humaine, soulignant que chaque individu autiste est unique et doté d'un ensemble de caractéristiques qui peuvent varier grandement [25].

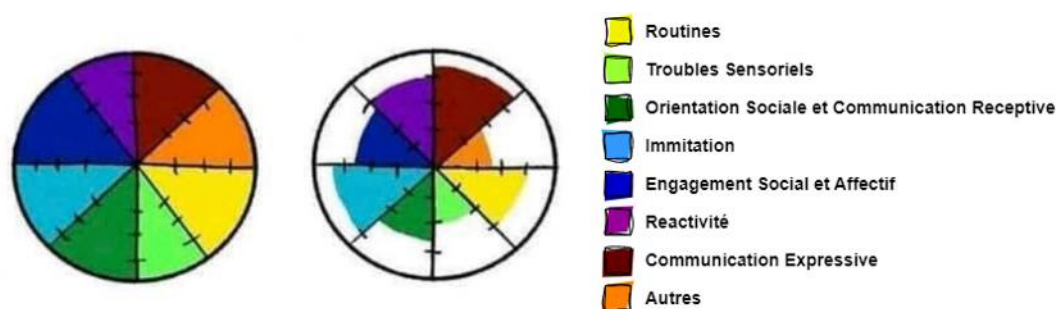


FIGURE 1.3 – La diversité du spectre autistique illustrée par ‘la roue de l’autisme’ [25]

1.5.3.4 Cycle de Vie de l’Autisme

1. **Le Dépistage** : Le dépistage constitue une étape fondamentale dans l’identification précoce des enfants présentant des caractéristiques autistiques ainsi que d’autres défis liés au développement. Il joue également un rôle clé dans la sensibilisation des professionnels de santé et du grand public aux symptômes initiaux de l’autisme [148]. Les consultations médicales régulières représentent une occasion précieuse pour le dépistage précoce qui, en présence de signes suspects, conduit à une évaluation plus détaillée et à une intervention rapide [210]. Ce processus implique une collaboration étroite entre les professionnels de santé et les parents, et fait appel à des tests spécifiques. Lorsque ces tests sont combinés avec les observations des parents, ils peuvent significativement améliorer l’efficacité du dépistage [38].
2. **Le Diagnostic** : Le diagnostic de l’autisme s’appuie sur divers outils structurés d’entretiens diagnostiques et d’évaluations basées sur l’observation, dont la précision a été largement testée [151]. Ces instruments permettent de recueillir un historique de développement détaillé grâce aux témoignages des parents et incluent l’observation directe des interactions de l’enfant avec ses parents et avec d’autres enfants. Les difficultés à reconnaître et exprimer les émotions peuvent aussi être évaluées à travers les descriptions parentales [144].
3. **Le Traitement** : Bien que les options de traitement disponibles pour les Troubles du Spectre de l’Autisme (TSA) restent limitées, elles doivent être adaptées aux besoins individuels de la personne affectée, malgré les coûts économiques et sociaux significatifs associés [150]. Chaque plan thérapeutique est personnalisé et peut comprendre une combinaison d’interventions comportementales, thérapeutiques et pharmacologiques. Des interventions spécifiques comme l’ergothérapie⁴ ou l’enseignement des compétences sociales peuvent s’avérer bénéfiques pour certains enfants [29].

4. Méthode de rééducation et de réadaptation sociale par l’activité physique, spécialement le travail manuel [119].

1.6 Concepts autour de l'Addiction

1.6.1 Définition

L'addiction est caractérisée comme un état pathologique marqué par une dépendance accrue à une substance ou à une activité, engendrant des conséquences négatives et une perte de contrôle notable, accompagnées souvent d'une tolérance croissante et d'une dépendance tant physique que psychologique. Ce comportement compulsif persiste malgré des répercussions préjudiciables sur la santé physique, mentale, sociale, ou professionnelle [113], [90], [267].

L'addiction peut se manifester sous diverses formes, incluant la dépendance à des substances psychoactives telles que l'alcool, les drogues ou les médicaments, ainsi que des addictions comportementales comme le jeu pathologique ou les troubles alimentaires. Les mécanismes sous-jacents de l'addiction comportent des altérations neurobiologiques et des composantes psychologiques [113].

1.6.2 Diagnostic

Le diagnostic d'addiction repose sur des critères diagnostiques définis par des classifications internationalement reconnues telles que le DSM-5 [12] et la CIM-10 [172]. Les principaux critères pour diagnostiquer une addiction incluent :

1. Une perte de contrôle significative sur l'utilisation de la substance ou le comportement concerné.
2. Un désir intense ou une obsession de consommer la substance ou de s'engager dans le comportement en question.
3. Le développement d'une tolérance nécessitant des quantités croissantes pour obtenir l'effet recherché.
4. L'apparition de symptômes de sevrage lors de la réduction ou de l'arrêt de la consommation.
5. La continuation de l'utilisation malgré la conscience des conséquences néfastes.
6. Une réduction des activités sociales ou professionnelles en raison de l'addiction.
7. Une incapacité répétée à réduire ou à contrôler l'utilisation malgré le désir de le faire.
8. L'utilisation dans des situations où cela présente un danger physique.
9. Une diminution des intérêts en dehors de l'addiction.

La sévérité de l'addiction est évaluée selon le nombre de critères présents :

- **Léger** : Présence de 2 à 3 symptômes.
- **Modéré** : Présence de 4 à 5 symptômes.
- **Sévère** : Présence de 6 symptômes ou plus.

1.6.3 Addictologie

1.6.3.1 Définition

L'addictologie constitue une discipline médicale et psychiatrique spécialisée dans l'étude, la prévention, le diagnostic et le traitement des dépendances, qu'elles concernent des substances ou des comportements [177].

1.6.3.2 Approches et traitement

Cette discipline emploie une méthode multidisciplinaire pour le traitement des addictions, combinant des interventions médicales, psychologiques et sociales [51].

Les stratégies thérapeutiques comprennent :

- La désintoxication médicale, essentielle pour gérer le sevrage.
- La thérapie comportementale, visant à modifier les comportements addictifs.
- La thérapie de groupe, offrant un soutien par les pairs.
- L'utilisation de médicaments destinés à réduire les envies ou à atténuer les effets du sevrage.
- L'inclusion du soutien familial pour renforcer le réseau de soutien du patient.
- Le traitement des comorbidités psychiatriques associées.
- Un suivi continu pour prévenir les rechutes et maintenir la sobriété.

1.6.4 Focus sur l'alcoolisme

1.6.4.1 Définition

L'alcoolisme, ou trouble lié à l'utilisation d'alcool, est reconnu comme une maladie chronique et une forme d'addiction caractérisée par une dépendance physique et psychologique à l'alcool. Les individus affectés manifestent un besoin compulsif de consommer de l'alcool et une incapacité à contrôler leur consommation, entraînant des conséquences délétères notables sur leur santé physique, mentale, ainsi que sur leur vie personnelle, professionnelle et sociale [20].

Les conséquences de l'alcoolisme incluent de graves problèmes de santé tels que la cirrhose du foie, des troubles cardiovasculaires, des affections mentales comme la dépression et l'anxiété, ainsi que des dommages neurologiques [75], [85]. Socialement, cela peut conduire à des conflits relationnels, des difficultés professionnelles, des démêlés judiciaires et des accidents.

1.6.4.2 Prévalence

L'alcoolisme représente un enjeu majeur de santé publique mondiale, contribuant de manière significative à la morbidité et à la mortalité globales. Impliqué dans plus de 200 conditions médicales et traumatiques, il est estimé que près de 3 millions de décès par an, soit environ 5,3 % de tous les décès mondiaux, sont attribués à la consommation excessive d'alcool [14], [273]. Cette prévalence élevée contribue également à une charge globale de morbidité, représentant 5,1 % des années de vie ajustées en fonction de l'incapacité (AVCI) [237].

L'alcool est également lié à des conséquences graves, notamment des décès prématurés et des incapacités, particulièrement parmi les jeunes adultes, avec environ 13,5 % des décès chez les 20 à 39 ans attribués à sa consommation [237]. De plus, une corrélation a été établie entre la consommation d'alcool et divers troubles psychiatriques et autres maladies non transmissibles, ainsi qu'avec des blessures [211].

	Région OMS	Parmi tous (%)				Parmi les buveurs (%)			
		2000	2005	2010	2016	2000	2005	2010	2016
15 à 19 ans	AFR	17.3	15.7	14.3	12.7	59.7	58.3	56.8	55.1
	AMR	25.8	23.4	21.4	18.5	55.7	53.5	51.8	49.3
	EMR	0.4	0.3	0.2	0.2	13.3	12.0	11.9	10.9
	EUR	35.1	33.5	29.0	24.1	61.7	60.0	56.3	51.2
	SEAR	10.2	9.6	10.4	10.2	48.1	46.9	47.3	46.8
	WPR	18.1	16.2	20.3	18.8	48.9	46.6	50.7	49.0
	Monde	17.1	15.6	15.6	13.6	49.3	47.4	47.5	45.7
20 à 24 ans	AFR	26.9	24.8	22.9	20.8	62.1	60.6	59.3	57.4
	AMR	36.3	33.4	31.2	28.0	57.9	56.0	54.4	51.8
	EMR	0.9	0.8	0.7	0.5	15.6	14.2	14.2	13.0
	EUR	46.0	44.2	40.0	33.9	64.0	62.5	60.2	54.7
	SEAR	17.4	16.6	17.8	17.6	51.0	49.9	50.2	49.9
	WPR	27.2	24.7	29.9	28.2	52.0	49.7	53.5	51.8
	Monde	25.8	23.7	24.2	21.8	52.3	50.3	50.4	48.5

TABLE 1.2 – Prévalence de la consommation épisodique excessive d'alcool chez les jeunes dans différentes régions de l'OMS [274]

1.7 Conclusion

Ce premier chapitre a posé les jalons essentiels de la psychiatrie en explorant ses concepts fondamentaux et les modalités thérapeutiques prévalentes dans le traitement des troubles mentaux. Nous avons détaillé les définitions et les protocoles de traitement pour une diversité de conditions, en mettant un accent particulier sur la psychothérapie cognitive et comportementale, la thérapie par exposition, ainsi que sur les spécificités de la pédopsychiatrie. L'importance cruciale du dépistage précoce et des interventions ciblées a été mise en exergue, soulignant la nécessité impérieuse d'adopter des approches personnalisées et efficaces afin d'optimiser les résultats pour les patients.

Nous avons aussi examiné les défis inhérents à l'addiction, reconnaissant les répercussions considérables que ces troubles exercent sur la santé et le bien-être des individus. Une revue des méthodes actuelles en addictologie a mis en lumière une évolution vers des stratégies de traitement plus intégrées et holistiques.

Fort de ces connaissances, nous sommes désormais prêts à nous aventurer dans un domaine tout aussi crucial mais distinct dans le Chapitre 2, celui des technologies avancées. Le prochain chapitre s'éloignera de l'application directe de ces technologies en psychiatrie pour se concentrer sur leur développement et leurs caractéristiques intrinsèques. Nous aborderons des innovations telles que la réalité virtuelle et l'intelligence artificielle, en évaluant comment elles redéfinissent divers secteurs au-delà de la psychiatrie. Cette exploration approfondie nous éclairera sur le potentiel et les limites de ces technologies, préparant le terrain pour envisager leur intégration future dans des cadres cliniques et thérapeutiques.

Chapitre 2

Explorations Technologiques : Réalité Virtuelle, Apprentissage Automatique et Informatique Affective

Le premier chapitre ayant posé les jalons de la psychiatrie et exploré la diversité des troubles mentaux, nous abordons à présent un domaine distinct, mais tout aussi captivant, dans ce deuxième chapitre. Celui-ci se consacre à l'exposition détaillée et à l'analyse critique de technologies de pointe telles que la réalité virtuelle et l'intelligence artificielle, dont les contributions innovantes ont bouleversé de multiples secteurs d'activité.

L'ambition de ce chapitre ne réside pas dans l'étude immédiate des applications de ces technologies au domaine de la psychiatrie, mais plutôt dans une compréhension approfondie et autonome de ces outils. Nous aborderons leurs principes fondateurs, leur trajectoire évolutive, ainsi que leur impact transversal dans divers champs d'action. Par cette exploration, nous visons à discerner les enjeux techniques et éthiques qu'elles soulèvent, tout en identifiant les défis et les perspectives qu'elles dévoilent.

En outre, ce chapitre mettra en exergue la manière dont ces technologies continuent de remodeler notre monde, modifiant nos interactions tant avec notre environnement qu'au sein de notre tissu social. Par la compréhension de ces technologies hors du contexte strictement psychiatrique, nous nous équiperons pour mieux évaluer leur potentiel à enrichir et à perfectionner les approches thérapeutiques en psychiatrie dans les discussions ultérieures.

Ainsi, ce chapitre fait le lien entre les notions fondamentales de la psychiatrie précédemment abordées et les applications futures possibles des technologies émergentes dans l'amélioration de la santé mentale et du bien-être des patients.

2.1 Réalité Virtuelle

2.1.1 Définition de la Réalité Virtuelle

La réalité virtuelle (RV) représente une technologie immersive qui simule des environnements visuels, auditifs et parfois tactiles, engendrant ainsi un monde artificiel. Cette technologie élabore l'illusion pour l'utilisateur d'être physiquement présent dans un univers généré numériquement, qu'il soit le reflet du réel ou une pure

création fantastique. L'expérience de la réalité virtuelle s'effectue au moyen de dispositifs dédiés tels que des casques de réalité virtuelle, des lunettes spéciales ou des interfaces tactiles [121].



FIGURE 2.1 – Casque de réalité virtuelle HTC Vive pro 2

2.1.2 Fondements de la réalité virtuelle

Les principes fondamentaux sur lesquels repose la réalité virtuelle comprennent [271] :

1. **Immersion** : La RV vise essentiellement à plonger l'utilisateur dans un environnement artificiel. Cette immersion est facilitée par l'utilisation de technologies avancées telles que des écrans à haute résolution, des capteurs de mouvement, et des systèmes audio performants.
2. **Interactivité** : La réalité virtuelle offre à l'utilisateur la possibilité d'interagir de manière dynamique avec l'environnement virtuel. Les interactions peuvent se manifester par l'utilisation de contrôleurs manuels, le suivi des mouvements corporels ou encore par des commandes vocales.
3. **Sens du Présent** : Un attribut distinctif de la RV est sa capacité à engendrer chez l'utilisateur une sensation de présence immédiate, le faisant vivre les événements du monde virtuel comme s'ils se produisaient réellement.
4. **Variété d'Expériences** : La réalité virtuelle se prête à une gamme étendue d'applications, depuis les jeux et divertissements jusqu'à des simulations pour la formation professionnelle, en passant par la thérapie, la visualisation architecturale et la recherche scientifique.

2.1.3 L'histoire de la réalité virtuelle

L'histoire de la réalité virtuelle représente une quête continue d'innovations technologiques s'étendant sur plusieurs décennies, caractérisée par quatre phases distinctes :

1. **Les Prémices (années 1950-1960)** : Les concepts initiaux de RV remontent aux années 1950 et 1960, marquées par les travaux de pionniers tels que Morton Heilig, qui conçut des appareils de vision stéréoscopique [79]. En 1968, Ivan Sutherland développe le "Sword of Damocles" [50], un des premiers dispositifs de réalité virtuelle, introduisant le concept du Heads-Up Display (HUD) et de suivi de mouvements de la tête.

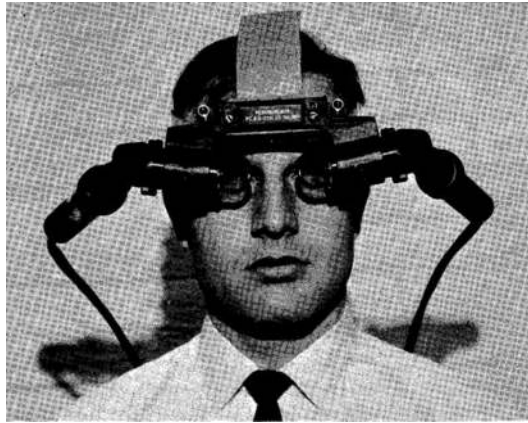


FIGURE 2.2 – L'Épée de Damoclès, ancêtre des casques de RV modernes

2. **Les Années de Recherche (années 1970-1980)** : Cette période voit la réalité virtuelle confinée principalement aux laboratoires de recherche. Les innovations portent sur les affichages stéréoscopiques et les gants de données. En 1987, Jaron Lanier fonde VPL Research [118], produisant certains des premiers équipements commerciaux de RV, tels que le "Data Glove" [280] et l'"EyePhone" [24], bien que leur adoption commerciale reste limitée.



FIGURE 2.3 – Les Datagloves [280] (gants de données)

3. **Les Années du Boom (années 1990)** : Cette décennie est marquée par un essor significatif de l'intérêt pour la RV, avec l'apparition de dispositifs de jeu de la part d'entreprises telles que Sega et Nintendo. Oculus est fondée en 1992, établissant les bases pour le futur développement des casques de réalité virtuelle.
4. **L'Ère Moderne (années 2010 à aujourd'hui)** : Les années 2010 sont témoins d'une recrudescence de l'intérêt pour la RV, avec des entreprises comme Oculus (acquise par Facebook), HTC, et Sony qui commercialisent des casques de RV grand

public. Le développement de plateformes comme Unity et Unreal Engine démocratise la création de contenu en RV. La RV s'étend à de nombreux domaines, allant de la formation médicale au divertissement, en passant par les simulations militaires.

2.1.4 Réalité Virtuelle vs Réalité Augmentée

La réalité virtuelle (RV) et la réalité augmentée (RA) incarnent deux paradigmes technologiques qui ont profondément transformé notre manière d'interagir avec les environnements numériques et physiques. Ces technologies, bien qu'ayant des points communs, se distinguent par des aspects fondamentaux d'immersion, d'interaction et d'applications.

Contrairement à la RV, qui isole l'utilisateur du monde réel pour le plonger dans un univers entièrement synthétique, la RA enrichit le réel en y superposant des éléments virtuels, tels que des graphiques, des sons ou des données interactives. Ces éléments sont intégrés à l'environnement physique de l'utilisateur via des dispositifs tels que des smartphones, des lunettes de RA ou des casques spécifiques [36].

Les différences principales entre la RV et la RA sont articulées autour des axes suivants :

- **Niveau d'Immersion** : La RV offre une immersion totale dans un environnement virtuel, coupant l'utilisateur du monde réel, tandis que la RA maintient une connexion avec l'environnement réel, enrichi par des éléments virtuels. La RV propose ainsi une immersion complète, contre une expérience semi-immersive pour la RA.
- **Interaction** : En RV, l'interaction se concentre exclusivement sur l'environnement virtuel à travers des contrôleurs ou des capteurs de mouvements corporels, alors qu'en RA, l'interaction inclut des éléments réels augmentés par le virtuel, comme les hologrammes qui se superposent aux objets physiques.
- **Utilisation et Applications** : Les usages de la RV et de la RA divergent significativement. La RV est privilégiée pour les jeux vidéo, les simulations, la formation et le divertissement immersif, alors que la RA trouve ses applications dans des contextes plus pratiques comme la navigation, l'éducation professionnelle, la médecine, ou encore la maintenance industrielle.

Malgré leurs différences, la réalité virtuelle et la réalité augmentée coexistent et se complètent, formant un continuum d'expériences qui allie le monde virtuel et le monde réel. Cette complémentarité est conceptualisée dans le modèle du Reality-Virtuality Continuum, introduit par Milgram et Kishino [165], qui illustre la gamme complète des interactions possibles entre les environnements réels et virtuels.



FIGURE 2.4 – Le Reality-Virtuality Continuum de Milgram

2.2 Apprentissage Automatique

2.2.1 Définition

L'apprentissage automatique, communément désigné sous l'appellation "machine learning" en langue anglaise, représente une sous-discipline intrinsèque au domaine de l'intelligence artificielle (IA). Son fondement conceptuel réside dans la formulation et le perfectionnement de méthodologies et d'algorithmes destinés à doter les systèmes informatiques de la capacité d'assimiler des connaissances à partir d'ensembles de données. L'objectif prédominant de l'apprentissage automatique est d'octroyer aux machines la compétence de prendre des décisions éclairées, d'émettre des projections, ou d'exécuter diverses opérations sans qu'une programmation explicite ne soit requise pour chaque étape du processus [163].

L'apprentissage automatique s'inscrit dans une relation de proximité conceptuelle avec l'intelligence artificielle (IA), et il est fréquemment perçu comme un des sous-domaines prépondérants au sein de cette discipline évolutive [89]. L'intelligence artificielle se caractérise par une compilation de techniques et de procédés dont la finalité réside dans la création de systèmes informatiques susceptibles d'accomplir des tâches qui, lorsqu'elles sont exécutées par des êtres humains, requièrent l'expression d'une forme d'intelligence [263] [112]. L'apprentissage automatique, au sein de l'ensemble de méthodologies de l'IA, se démarque en tant que technique pivot permettant l'acquisition et la mise à profit de connaissances à partir de données, tout en assumant un rôle central dans la conception de systèmes d'IA aptes à s'auto-améliorer au fil de l'expérience accumulée [53].

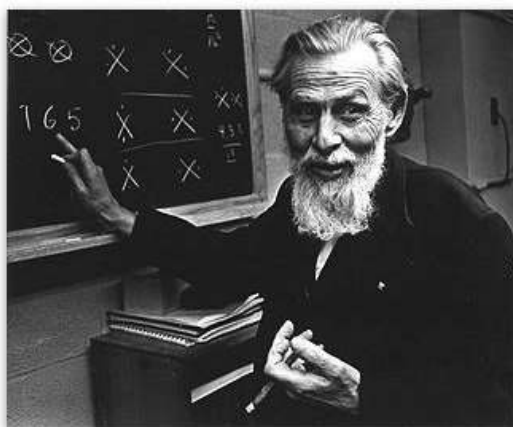
2.2.2 Histoire

L'évolution de l'apprentissage automatique depuis son émergence dans le contexte de l'intelligence artificielle a été un processus dynamique, marqué par des phases distinctes ayant façonné sa trajectoire et influencé son développement. Cette évolution a vu l'apprentissage automatique évoluer à travers différentes périodes, chacune apportant des avancées et des transformations significatives. Dans ce qui suit, nous entreprendrons une synthèse des phases les plus notables de cette progression historique de l'apprentissage automatique.

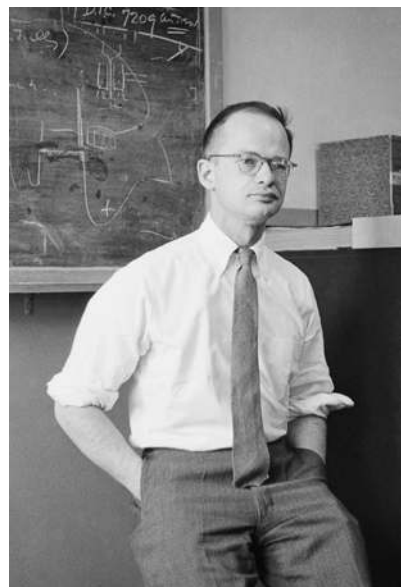
2.2.2.1 Les Fondements Théoriques Précoces (Années 1940-1950)

Les prémices de l'apprentissage automatique trouvent leurs racines dans les travaux visionnaires de Warren McCulloch et Walter Pitts (voir figure 2.5) au cours des années 1940. Leur collaboration a abouti à la publication d'un article majeur en 1943, intitulé "A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity" [158] qui a jeté les bases théoriques de la modélisation des neurones biologiques et a posé les fondements conceptuels des réseaux de neurones artificiels. Ils ont formulé une représentation mathématique des neurones, montrant comment les signaux électriques et les seuils de déclenchement pouvaient être modélisés pour simuler la façon dont les neurones biologiques transmettent et traitent l'information [200].

Ces travaux novateurs ont ouvert la voie à une compréhension plus profonde de la manière dont le cerveau fonctionne et ont suscité un intérêt croissant pour la possibilité de reproduire ce fonctionnement dans des machines. Cependant, à cette époque, les ordinateurs étaient encore primitifs, et la mise en œuvre pratique de ces idées était limitée par la puissance de calcul disponible.



(A) Warren McCulloch



(B) Walter Pitts

FIGURE 2.5 – Warren McCulloch and Walter Pitts [33]

2.2.2.2 L'Apprentissage Symbolique et l'IA (Années 1950-1970)

Durant les années 1950 à 1970, une période charnière dans l'évolution de l'apprentissage automatique, la communauté scientifique internationale a focalisé son intérêt sur le domaine florissant de l'intelligence artificielle (IA). Cette ère est marquée par les contributions de pionniers tels que John McCarthy et Marvin Minsky, qui ont influencé de manière indélébile le progrès de l'IA.



(A) John McCarthy



(B) Marvin Minsky

FIGURE 2.6 – John McCarthy et Marvin Minsky [33]

L'apprentissage symbolique [169] s'est imposé comme un fondement de cette période, se basant sur la représentation de la connaissance via des symboles et des règles logiques. Ces systèmes d'apprentissage symbolique ont dominé, cherchant à résoudre des problématiques complexes par la manipulation d'entités symboliques et le suivi de procédures logiques [168]. Un exemple illustre de cette époque est le

langage de programmation LISP [157], conçu par McCarthy pour faciliter le traitement des opérations symboliques et la résolution de problèmes.

Néanmoins, malgré ces avancées notables, l'apprentissage symbolique a rencontré des obstacles dans la gestion de la complexité du traitement des données. Les systèmes basés sur des règles logiques étaient souvent en proie à des problèmes de dimensionnalité et de représentation des connaissances, ce qui compliquait la résolution de problèmes réels impliquant des connaissances tacites ou de vastes ensembles de données. Il est devenu évident que l'apprentissage symbolique devait être complété par d'autres méthodologies pour aborder efficacement les défis complexes.

2.2.2.3 L'Ère de l'Apprentissage par l'Erreur (Années 1980)

Les années 1980 ont constitué un tournant décisif dans l'évolution de l'apprentissage automatique, marquées par l'émergence significative de l'algorithme de rétropropagation de l'erreur [219]. Cette innovation, considérée comme une percée majeure, a permis d'optimiser l'apprentissage au sein des réseaux de neurones artificiels.

L'algorithme de rétropropagation a été conçu pour résoudre un défi majeur des réseaux neuronaux : l'ajustement optimal des poids des connexions neuronales afin de minimiser l'erreur de prédiction. Cette technique a rendu possible le calcul des écarts entre les prédictions et les valeurs réelles, et l'ajustement conséquent des paramètres du réseau pour atténuer ces erreurs (voir figure 2.7).

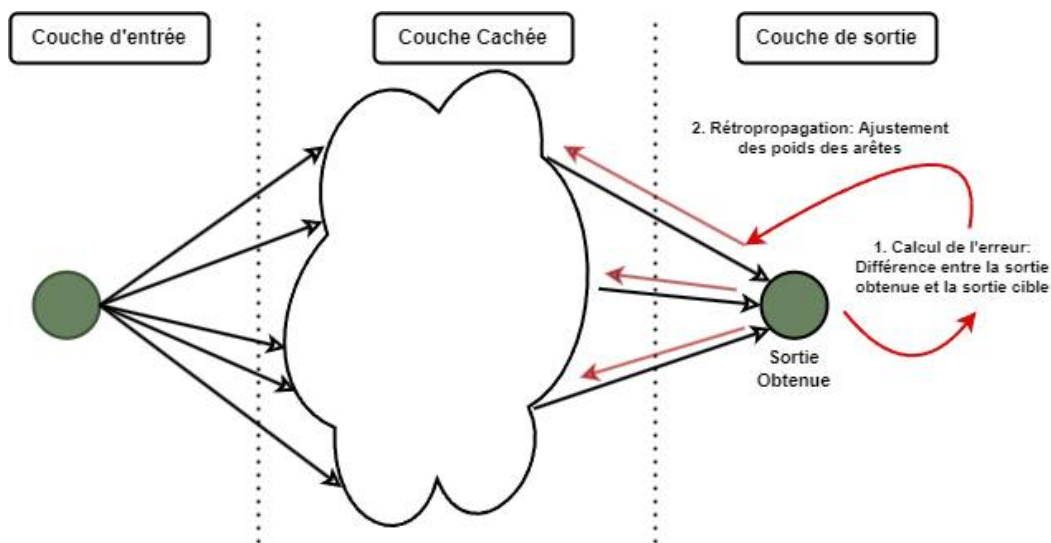


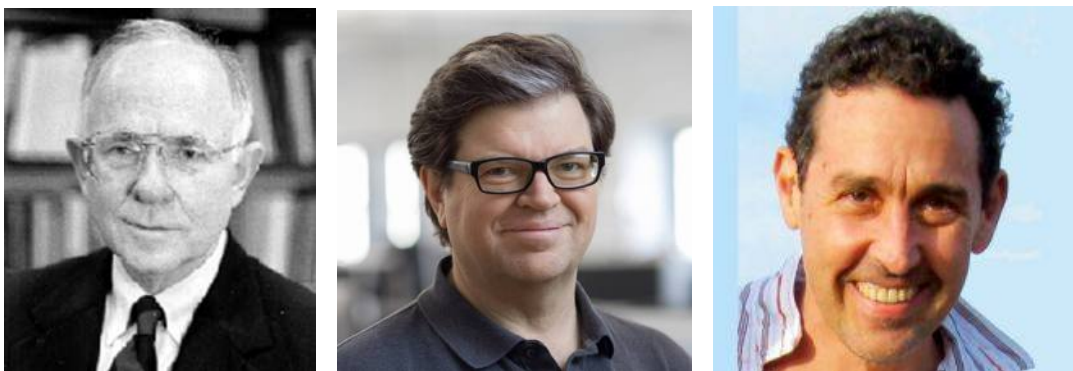
FIGURE 2.7 – Algorithme de rétropropagation

Cette méthode a révolutionné la reconnaissance de motifs et le traitement du signal dans les réseaux neuronaux. Les réseaux formés via la rétropropagation ont démontré une capacité accrue à accomplir des tâches de classification et de prédiction avec une précision remarquable, ouvrant la voie à de multiples applications pratiques, y compris la reconnaissance visuelle et vocale, ainsi que la compression de données.

2.2.2.4 L'Explosion des Données et de l'Apprentissage en Ligne (Années 1990)

La décennie des années 1990 a été caractérisée par une prolifération massive de données et l'émergence de l'apprentissage en ligne et en temps réel [41], propulsée par l'expansion de l'Internet. Cette ère numérique a généré une quantité sans précédent de données, constituant une ressource inestimable pour le développement de modèles d'apprentissage automatique [41].

Pour capitaliser sur cette manne informationnelle, des pionniers tels que Bernard Widrow, Yann LeCun, et Yoav Freund ont innové avec des algorithmes d'apprentissage en temps réel [269] [124] [64], conçus pour traiter des flux de données continus. Ces algorithmes permettaient une adaptation dynamique aux nouvelles informations, essentielle pour des applications telles que la surveillance réseau, la personnalisation de contenu en ligne, et la détection de fraudes.



(A) Bernard Widrow

(B) Yann Lecun

(C) Yoav Freund

FIGURE 2.8 – Bernard Widrow, Yann LeCun et Yoav Freund [33]

L'apprentissage en ligne s'est imposé comme une méthode efficace pour des applications nécessitant une réponse dynamique, permettant une adaptation en temps réel des modèles d'apprentissage automatique à mesure que de nouvelles données étaient disponibles [171].

2.2.2.5 L'Ère de l'Apprentissage Profond (Années 2010 à nos jours)

L'avènement de l'ère de l'apprentissage profond, désigné sous le terme anglais "Deep Learning" [123], a débuté dans les années 2010 et se poursuit jusqu'à ce jour. Cette période représente un jalon crucial dans l'évolution de l'apprentissage automatique, caractérisée par l'émergence et la maturation des architectures de réseaux de neurones profonds.

Ces architectures, comprenant des modèles tels que les Convolutional Neural Networks (CNN) [275] et les Recurrent Neural Networks (RNN) [160], ont permis de traiter des problèmes d'une complexité sans précédent avec une efficacité et une précision accrues. Les CNN, par exemple, ont révolutionné le domaine de la vision par ordinateur [22], facilitant des avancées significatives dans la reconnaissance d'objets, la détection de motifs, et la segmentation d'images. Leur utilisation s'est étendue à diverses applications, de la navigation autonome à l'analyse d'images médicales.

De leur côté, les RNN ont innové dans le traitement du langage naturel (NLP) et d'autres tâches séquentielles [247], devenant des outils indispensables pour la compréhension et la génération de textes, la traduction automatique, et la prédiction de séquences temporelles. Ces modèles ont permis l'émergence de chatbots, d'assistants vocaux, et de modèles de langage sophistiqués.

Dans le domaine de la robotique, l'apprentissage profond a été particulièrement transformatif [202]. Les réseaux de neurones profonds sont utilisés pour l'apprentissage par renforcement, permettant aux robots d'apprendre des tâches complexes par interaction directe avec leur environnement. Cela a des implications profondes pour la robotique industrielle et autonome.

L'histoire de l'apprentissage automatique est marquée par une progression incessante d'idées novatrices, d'expérimentations et d'innovations technologiques. Les fondations établies par les découvertes antérieures continuent d'enrichir les avancées actuelles, faisant de l'apprentissage automatique un champ dynamique et en constante évolution. Ce domaine promet un avenir riche de possibilités pour l'intelligence artificielle et l'informatique.

2.2.3 Fondements et Principes de l'Apprentissage Automatique

Le processus d'apprentissage automatique est structuré en plusieurs étapes cruciales, chacune contribuant à la création de modèles capables de résoudre des problèmes complexes à travers l'analyse de données. Nous explorerons ici les sept étapes fondamentales de ce processus, illustrant leur importance dans le développement de solutions avancées d'apprentissage automatique [279].

1. **Collecte de données** : La collecte de données constitue la première étape essentielle du processus d'apprentissage automatique. Elle implique la recherche et l'agrégation de données pertinentes issues de diverses sources, telles que des bases de données, des capteurs, ou des API. La qualité des données recueillies est primordiale, car elle doit refléter fidèlement la problématique à résoudre [48].
2. **Prétraitement des données** : Les données collectées requièrent un nettoyage et une préparation rigoureuse pour être utilisables dans l'analyse. Cette étape inclut la correction des valeurs manquantes, l'encodage des variables catégorielles, la normalisation des valeurs numériques, et l'élimination des bruits, afin d'obtenir un ensemble de données structuré et exploitable [67].
3. **Exploration des données** : L'exploration des données permet de comprendre leurs caractéristiques intrinsèques à travers des techniques de visualisation et d'analyse exploratoire (EDA). Cette phase est cruciale pour identifier les tendances, les corrélations, et les anomalies potentielles dans les données [56].
4. **Séparation des données** : Pour une évaluation robuste, les données sont divisées en trois ensembles : entraînement, validation, et test. Cette séparation permet de former le modèle, d'ajuster les hyperparamètres et d'évaluer de manière impartiale les performances du modèle final [266].
5. **Entraînement du modèle** : Cette étape consiste à sélectionner et à former l'algorithme ou l'architecture du modèle approprié. L'ensemble d'entraînement est utilisé pour ajuster les paramètres du modèle afin de minimiser la fonction de perte et d'améliorer l'alignement des prédictions avec les données réelles [170].
6. **Évaluation du modèle** : Après l'entraînement, les performances du modèle sont analysées à l'aide de l'ensemble de validation. Cette évaluation permet d'optimiser les hyperparamètres, de détecter les problèmes de surajustement, et de sélectionner le modèle le plus performant pour l'application envisagée [227].
7. **Test et déploiement du modèle** : Le modèle final est testé en utilisant l'ensemble de test pour garantir une évaluation précise de ses performances dans des conditions réelles. Si les résultats sont concluants, le modèle est alors déployé en production, offrant des prédictions en temps réel et contribuant à la prise de décisions basées sur les données [192].

2.2.4 Types et Paradigmes d'Apprentissage

Le machine learning (apprentissage automatique) se divise en plusieurs types en fonction des approches et des méthodes utilisées pour résoudre des problèmes. Une méthode fréquemment utilisée pour classifier les algorithmes d'apprentissage automatique consiste à les catégoriser en fonction du degré de supervision nécessaire. Par conséquent, cette classification conduit aux résultats suivants [8] :

2.2.4.1 Apprentissage Supervisé

L'apprentissage supervisé implique qu'un programme apprenne à partir d'exemples étiquetés dans un ensemble de données d'entraînement afin de faire des prédictions ou des décisions. Le programme apprend une fonction de mappage pour prédire les résultats pour de nouvelles entrées en optimisant les paramètres avec un algorithme qui minimise une fonction de perte. Une fois entraîné, le modèle peut prédire de nouveaux exemples. Les algorithmes de classification visent à trouver la meilleure frontière, appelée hyperplan de classification, pour séparer différentes classes en fonction des attributs ou des caractéristiques [101].

2.2.4.2 Apprentissage Non-Supervisé

L'apprentissage non supervisé, également appelé apprentissage non guidé, est un autre paradigme important de l'apprentissage automatique, mais il diffère de l'apprentissage supervisé de plusieurs manières importantes. L'apprentissage non supervisé fait référence à l'entraînement d'un algorithme à l'aide de données non étiquetées afin de découvrir des motifs et de regrouper des points de données similaires sans étiquettes préalablement définies. L'apprentissage non supervisé présente de nombreuses applications pratiques, notamment dans les domaines de la vision par ordinateur, de l'imagerie médicale et des moteurs de recommandation. Le regroupement, l'association et la réduction de dimension sont ses principales utilisations [83].

L'apprentissage supervisé et non supervisé sont deux approches fondamentalement distinctes en matière d'apprentissage automatique. Leur différenciation s'étend à plusieurs aspects essentiels [8], La table 2.1 présente une comparaison des deux paradigmes.

2.2.5 Réseaux de neurones et apprentissage profond

2.2.5.1 Généralités sur les réseaux de neurones

Les réseaux de neurones artificiels sont des techniques d'apprentissage automatique inspirées par le fonctionnement biologique du cerveau humain. Les neurones, les unités de base du système nerveux, communiquent via des connexions formées par des axones et des dendrites, avec des jonctions appelées synapses. De manière similaire, un réseau de neurones artificiels est constitué d'un ensemble de 'neurones' interconnectés qui forment un modèle abstrait. Ces réseaux sont configurés pour reconnaître des modèles et résoudre des problèmes dans divers domaines, tels que les statistiques, la technologie et l'économie, en imitant la manière dont les neurones biologiques traitent les informations [1].

	Apprentissage supervisé	Apprentissage non supervisé
Données	Données étiquetées	Données non étiquetées
Objectif	Faire des prédictions précises	Découvrir des structures
Tâches Courantes	Classification, régression	Clustering, réduction de dimension, détection d'anomalies
Exemples d'applications	Reconnaissance d'image, détection de spam, prévision de ventes	Segmentation de clients, analyse de réseaux sociaux, compression de données
Évaluation de la performance	Basée sur la précision des prédictions par rapport aux étiquettes connues	Souvent plus subjective, en fonction de la pertinence des structures découvertes
Avantages	Adapté aux tâches de classification et de régression avec des données étiquetées	Utile pour explorer des données non étiquetées, découvrir des informations cachées et simplifier la représentation des données
Inconvénients	Nécessite des étiquettes pour l'entraînement, peut être difficile à obtenir	Nécessite une interprétation subjective des résultats, peut être moins précis pour certaines tâches de prédiction

TABLE 2.1 – comparatif des points fondamentaux de l'apprentissage supervisé et de l'apprentissage non supervisé

2.2.5.2 Composants d'un Réseau Neuronal

Un réseau de neurones est généralement composé de quatre éléments principaux :

1. **Les nœuds** : Également appelés neurones artificiels, ces unités constituent les composantes de base du réseau. Inspirés par les neurones biologiques du cerveau humain, chaque nœud stocke une valeur numérique qui est traitée et transmise à travers le réseau, jouant un rôle crucial dans le traitement des informations.
2. **Les couches** : Les nœuds dans un réseau de neurones sont organisés en couches qui structurent le flux d'information :
 - *La couche d'entrée* : Reçoit les données initiales pour le réseau, où chaque nœud représente une variable d'entrée.
 - *Les couches cachées* : Situées entre l'entrée et la sortie, ces couches traitent les données reçues de la couche d'entrée. Le traitement devient progressivement plus abstrait à mesure que l'information avance dans ces couches.
 - *La couche de sortie* : Produit le résultat final du réseau. Le nombre de nœuds dans cette couche dépend des types de réponses que le réseau est conçu pour fournir, chaque nœud correspondant à une catégorie de sortie potentielle.
3. **Les connexions** : Chaque nœud est connecté à d'autres par des liens qui représentent les synapses en biologie. Ces connexions transmettent les signaux entre les nœuds et peuvent être renforcées ou affaiblies au cours de l'apprentissage, modulant ainsi le flux et le traitement de l'information dans le réseau.

Ces trois éléments interagissent pour permettre au réseau de neurones de fonctionner comme un système de traitement d'information complexe, capable d'apprendre et de s'adapter à partir des données fournies.

La figure 2.9 illustre la structure d'un réseau de neurones avec une seule couche cachée.

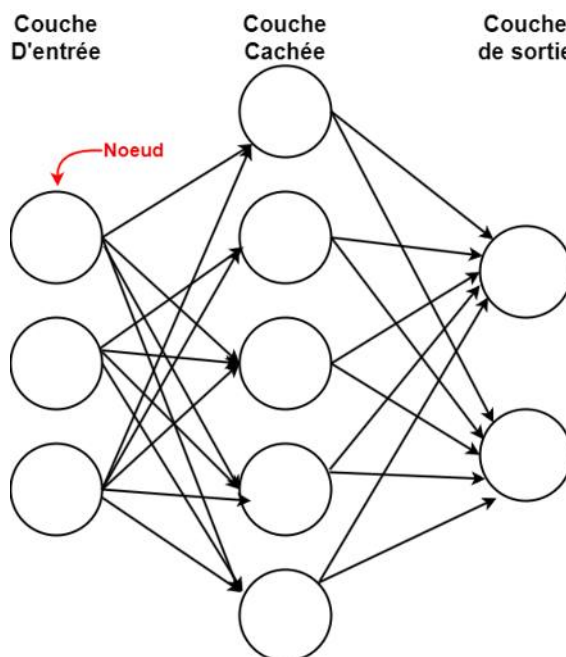


FIGURE 2.9 – Réseau neuronal avec une seule couche cachée

4. **Poids et Biais** : Pour permettre aux réseaux de neurones de traiter efficacement l'information et d'apprendre de manière adaptative, ils utilisent des paramètres clés appelés poids et biais. Ces éléments sont essentiels pour ajuster le modèle itérativement afin d'améliorer la précision du réseau. Chaque poids est associé à une entrée spécifique de chaque neurone et joue un rôle crucial dans le calcul des sorties. Au cours de l'apprentissage, ces poids sont constamment mis à jour grâce à un processus de rétroaction, permettant ainsi au réseau de s'ajuster et de s'optimiser en fonction des données reçues.

Quant aux biais, il s'agit de valeurs numériques ajoutées à la somme pondérée des entrées pour aider à décaler la fonction d'activation du neurone. En d'autres termes, les biais permettent de modifier l'activité du neurone même en l'absence d'entrées actives, influençant ainsi la sortie du réseau. Ensemble, les poids et les biais sont des mécanismes d'ajustement automatique qui facilitent la calibration et la précision des prédictions du réseau de neurones [114].

La figure 2.10 illustre le rôle et le fonctionnement des poids et des biais au sein d'un réseau de neurones.

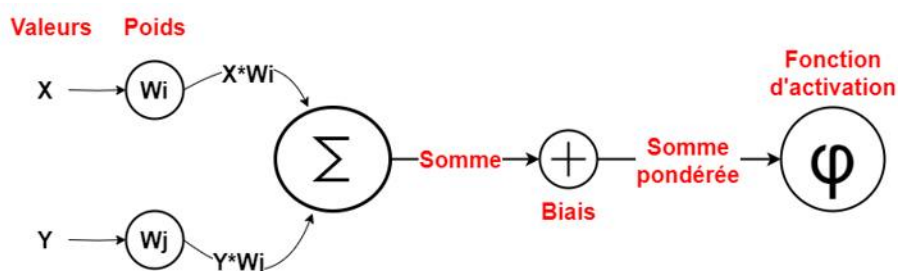


FIGURE 2.10 – Fonctionnement des poids et des biais

2.2.5.3 Apprentissage profond

L'apprentissage profond, ou *deep learning*, constitue une branche avancée de l'apprentissage automatique qui a transformé de nombreux secteurs de l'intelligence artificielle (IA) ces dernières années. Cette technique est ainsi nommée en raison de son utilisation de réseaux de neurones artificiels profonds, qui sont des structures composées de multiples couches de neurones. Ces architectures en profondeur sont capables d'apprendre des représentations hiérarchiques de données complexes. Cette capacité rend l'apprentissage profond particulièrement efficace pour traiter des données non linéaires et de grande dimension, facilitant ainsi des avancées significatives dans des domaines tels que la reconnaissance d'images, la traduction automatique, et la compréhension du langage naturel [123].

La figure 2.11 illustre le modèle VGG-16 [179] une architecture de réseau de neurones profond largement utilisée dans le domaine de la vision par ordinateur et de la reconnaissance des formes.

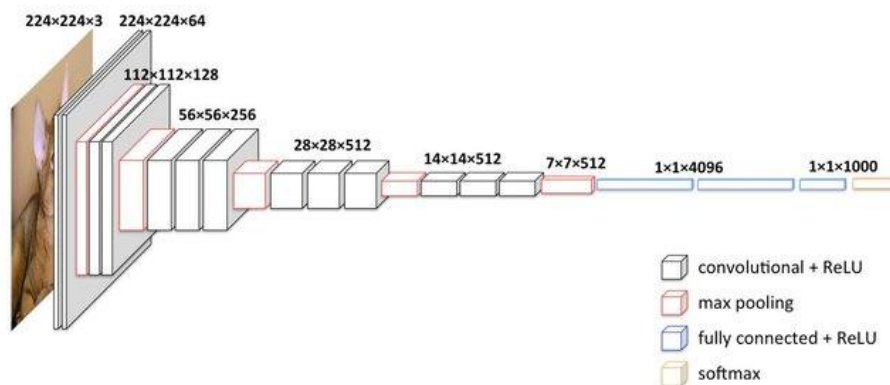


FIGURE 2.11 – Modèle d'architecture multicouches VGG16

À la différence de certaines méthodes traditionnelles d'apprentissage automatique qui nécessitent une extraction manuelle de caractéristiques, l'apprentissage profond automatise ce processus en apprenant les caractéristiques directement à partir des données. Cette capacité réduit considérablement la dépendance à l'expertise humaine, rendant l'apprentissage plus efficace et accessible.

L'apprentissage profond a été appliqué avec succès dans une variété de domaines, y compris la vision par ordinateur pour la reconnaissance d'images et la détection d'objets, le traitement automatique du langage naturel pour la traduction automatique, la création de chatbots et l'analyse de sentiments, ainsi que la reconnaissance vocale et la génération de contenu, comme les images créées par IA [123].

L'entraînement des réseaux de neurones profonds exige de vastes ensembles de données et des capacités de calcul importantes. Des techniques d'optimisation, telles que la descente de gradient, sont fréquemment employées pour ajuster les poids et les biais dans le but de minimiser la fonction de coût, facilitant ainsi l'amélioration continue des performances du modèle [124].

2.3 Informatique Affective

2.3.1 Définition et fondement

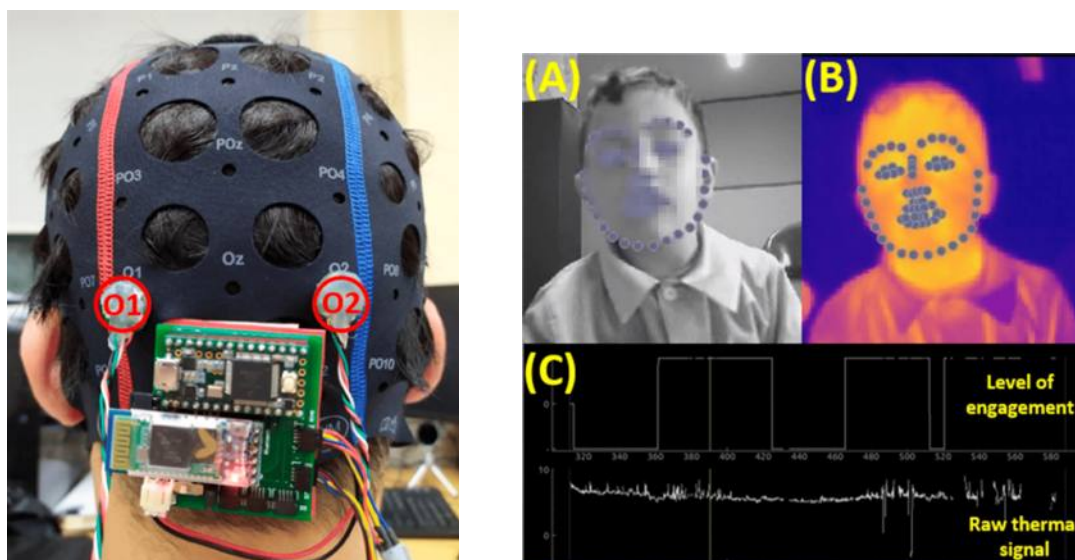
L'informatique affective constitue une spécialité de l'intelligence artificielle dédiée à la conception de systèmes et de dispositifs aptes à reconnaître, interpréter et simuler les émotions humaines. Introduite par Rosalind Picard en 1995 [199], cette discipline a transformé les interactions entre humains et machines, en préconisant l'intégration des réponses émotionnelles pour enrichir ces échanges. L'objectif est de doter les ordinateurs de la capacité de saisir et de répondre aux émotions humaines à travers des analyses de données physiologiques, des expressions faciales, des modulations vocales, et d'autres manifestations de communication non verbale, afin de rendre les interactions plus intuitives et effectives [138].

En intégrant des capacités de perception émotionnelle, les systèmes informatiques peuvent offrir des interactions plus personnalisées et améliorer significativement les applications dans les domaines du service client, de l'éducation, de la thérapie et du divertissement[46].

2.3.2 Applications et techniques

Les méthodes de l'informatique affective pour la collecte et l'analyse des données émotionnelles sont diversifiées, impliquant l'usage de capteurs biométriques, de caméras, de microphones, et de logiciels avancés de traitement d'images. La reconnaissance faciale, par exemple, est capable de détecter et d'interpréter des expressions faciales subtiles pour identifier des émotions précises. De même, des systèmes de reconnaissance vocale analysent les variations tonales de la voix pour déduire les états affectifs [145].

Ces technologies enrichissent de nombreuses applications, améliorant l'expérience utilisateur dans les interfaces numériques et adaptant les contenus éducatifs aux réponses émotionnelles des apprenants. Elles jouent également un rôle crucial dans le domaine de la santé mentale, en aidant les thérapeutes à obtenir des analyses détaillées de l'état émotionnel des patients [59].



(A) capture d'émotions via EEG [145]

(B) Analyse d'émotions via caméra thermique [59]

FIGURE 2.12 – Capture d'émotions via différentes modalités

2.3.3 Chatbots

2.3.3.1 Définition

Un chatbot est un logiciel conçu pour simuler des conversations avec des utilisateurs humains, que ce soit par texte, par voix, ou les deux. Ces agents conversationnels sont capables de fournir des informations, de répondre à des questions, d'aborder des sujets spécifiques, ou d'effectuer des tâches, rendant ainsi l'interaction avec les technologies numériques plus naturelle et intuitive [233].

2.3.3.2 Composante et architecture des chatbots

Un chatbot typique intègre plusieurs composants clés pour assurer son fonctionnement optimal [173] :

- **Composant d'interface utilisateur** : Ce module initie l'interaction en captant les requêtes de l'utilisateur, que ce soit via du texte ou de la voix.
- **Composant d'analyse de message** : Ce module traite les messages des utilisateurs pour déduire les intentions et extraire les informations pertinentes, utilisant des techniques avancées de traitement du langage naturel.
- **Composant de gestion du dialogue** : Il gère le contexte de la conversation en suivant les intentions et les données recueillies, et demande des précisions si nécessaire.
- **Composant backend** : Ce composant interagit avec des bases de données ou des API externes pour récupérer les informations nécessaires à la construction des réponses.
- **Composant de génération de réponse** : Il est responsable de formuler les réponses qui seront envoyées à l'utilisateur, en s'appuyant sur des modèles basés sur des règles, la récupération de données ou la génération de contenu.

2.3.3.3 Logique de fonctionnement des chatbots

Le processus de fonctionnement d'un chatbot s'articule autour de plusieurs étapes essentielles [3] [208] [178] [173] :

1. **Accès à l'interface** : L'utilisateur interagit avec le chatbot à travers une interface dédiée, où il peut saisir ses requêtes.
2. **Normalisation** : Les entrées de l'utilisateur sont décomposées et analysées afin de détecter les éléments clés qui orienteront la réponse du chatbot.
3. **Correspondance** : Les éléments identifiés sont comparés aux modèles du chatbot pour sélectionner la réponse la plus appropriée.
4. **Réponse** : Le chatbot génère une réponse basée sur les informations collectées et les instructions de son modèle interne, qu'il transmet ensuite à l'utilisateur.

2.3.3.4 Chatbots et informatique affective

Les chatbots, définis comme des agents logiciels capables de simuler des conversations humaines via des interfaces textuelles ou vocales, ont révolutionné de nombreux secteurs en fournissant des services de communication automatisés. Toutefois, leur aptitude à gérer des interactions complexes et émotionnellement nuancées a traditionnellement été limitée. L'intégration de l'informatique affective enrichit ces interactions en permettant aux chatbots de reconnaître et de réagir aux émotions humaines [23].

Les principes de l'intégration de l'informatique affective dans les chatbots comprennent [261] :

1. **Reconnaissance des Émotions** : Des techniques avancées de traitement du langage naturel et d'analyse des expressions faciales ou vocales permettent aux chatbots de détecter les émotions des utilisateurs, facilitant une réponse adaptée.
2. **Adaptation des Réponses** : En comprenant les émotions de l'utilisateur, les chatbots peuvent adapter leurs réponses pour mieux correspondre aux besoins émotionnels de l'utilisateur, offrant des interactions plus empathiques.
3. **Amélioration de l'Interaction** : Les chatbots dotés de capacités affectives offrent une interaction plus riche et naturelle, ce qui est particulièrement bénéfique dans les secteurs nécessitant empathie et compréhension émotionnelle.

La recherche en informatique affective appliquée aux chatbots démontre des avantages significatifs, tels que l'amélioration de la fidélisation des utilisateurs et de l'expérience utilisateur, particulièrement dans le secteur de la santé mentale où ils fournissent un soutien émotionnel et aident à gérer des troubles tels que l'anxiété ou la dépression [193].

2.4 Conclusion

En conclusion de ce chapitre dédié aux technologies fondamentales telles que la réalité virtuelle, l'apprentissage automatique et l'informatique affective, nous avons examiné comment ces avancées transforment radicalement notre manière d'interagir avec les machines. Ces technologies ne se limitent pas à étendre les capacités des systèmes informatiques ; elles rendent également ces systèmes plus intuitifs et mieux adaptés aux besoins humains, établissant ainsi les prémisses d'une intégration plus poussée et plus efficace dans diverses applications pratiques.

Le chapitre suivant s'appuiera sur cette base technologique pour explorer des études de cas spécifiques dans lesquelles ces technologies sont mises en œuvre dans le domaine de la psychiatrie. Nous étudierons comment la réalité virtuelle, l'apprentissage automatique et l'informatique affective sont non seulement utilisées pour améliorer les diagnostics et le suivi des traitements mais également pour révolutionner les approches traditionnelles de la prise en charge médicale. En intégrant ces technologies dans des contextes réels de traitement psychiatrique, nous pourrions non seulement apprécier leur potentiel mais également identifier les défis qu'elles représentent, ouvrant ainsi la voie à une réflexion approfondie sur leur impact futur dans le secteur de la santé.

Chapitre 3

Avancées Technologiques en Psychiatrie : Applications et Implications

3.1 Introduction

Dans un monde en mutation constante, les progrès technologiques transforment radicalement notre approche des défis complexes inhérents à la médecine et à la santé mentale. Dans ce contexte dynamique, l'adoption judicieuse de technologies émergentes telles que l'apprentissage automatique, l'apprentissage profond, l'informatique affective, la réalité virtuelle et la réalité augmentée dans le domaine de la psychiatrie s'impose désormais comme une nécessité. Ces outils avant-gardistes ouvrent de nouvelles avenues pour les praticiens, leur offrant des approches innovantes pour répondre aux besoins diversifiés et complexes de leurs patients.

Ce chapitre explore l'intersection prometteuse entre la psychiatrie et ces technologies de pointe, en soulignant les bénéfices considérables que ces dernières apportent. Nous examinerons comment ces innovations, y compris l'informatique affective qui permet une interaction plus empathique et nuancée avec les patients, transforment les pratiques des professionnels de la santé mentale. Particulièrement dans les domaines cruciaux de la prévention, du dépistage, du diagnostic, et de la gestion des troubles psychiatriques.

À travers une revue des études scientifiques actuelles, nous démontrerons comment l'application de ces technologies commence déjà à redéfinir les standards de soins en psychiatrie, en proposant des solutions innovantes et en améliorant les résultats cliniques pour les individus confrontés à des enjeux de santé mentale.

3.2 Réalité Virtuelle et Augmentée en Psychothérapie

Au sein du panorama des innovations technologiques révolutionnant la pratique psychiatrique, la réalité virtuelle émerge comme une avancée capitale, réinventant radicalement l'approche traditionnelle de la psychothérapie. L'alliance entre la psychiatrie et la réalité virtuelle ouvre un champ prometteur, où la science et la technologie s'unissent pour repousser les frontières établies de la thérapie. Offrant une immersion interactive dans des environnements simulés, la réalité virtuelle permet aux patients de participer à des expériences thérapeutiques inédites et hautement personnalisées.

Cette section se propose de décortiquer le potentiel de la réalité virtuelle en tant qu'outil d'avant-garde pour les praticiens en psychiatrie, en se focalisant spécifiquement sur son application en psychothérapie. Nous explorerons les diverses modalités d'emploi de cette technologie innovante dans le traitement des troubles mentaux, la gestion des phobies, la thérapie du stress post-traumatique, la régulation des émotions, entre autres applications. À travers une analyse rigoureuse des recherches et des progrès récents, nous démontrerons comment la réalité virtuelle transforme la psychothérapie, offrant des solutions interactives, immersives et efficaces pour améliorer le bien-être mental des patients.

3.2.1 Thérapie d'exposition par réalité virtuelle pour les phobies

Une phobie se caractérise par une peur intense, irrationnelle et persistante d'un objet, d'une situation, d'un animal, d'une activité ou d'un environnement particulier. Cette peur, excédant largement l'anxiété ordinaire, peut provoquer des réactions de panique et des comportements d'évitement extrêmes, entravant de manière significative le quotidien des personnes affectées. Les phobies sont classifiables en diverses catégories, incluant les phobies spécifiques, les phobies sociales et l'agoraphobie, cette dernière désignant la peur des espaces ou des situations d'où il pourrait être difficile de s'échapper.

Au sein de la psychiatrie moderne, en constante évolution, l'incorporation de la réalité virtuelle a inauguré de nouvelles voies pour le traitement des phobies. Parmi les méthodes thérapeutiques novatrices, la thérapie d'exposition par réalité virtuelle (TERV) se distingue comme une approche particulièrement prometteuse et révolutionnaire. Cette modalité thérapeutique s'appuie sur l'utilisation stratégique de simulations virtuelles pour exposer progressivement les individus aux éléments redoutés, fournissant ainsi un cadre contrôlé et sécurisé pour surmonter des peurs invalidantes.

L'étude de Daniel Freeman et al. [63] a utilisé la thérapie d'exposition en réalité virtuelle pour traiter l'acrophobie, la peur des hauteurs, auprès de 100 adultes divisés en deux groupes : un groupe expérimental soumis à la TERV et un groupe témoin. L'environnement virtuel de la TERV proposait différentes scènes de difficultés variables (voir figure 3.1).



FIGURE 3.1 – extrait de l'expérimentation de l'étude de Freeman et al

Les patients étaient guidés par un coach virtuel et participaient à six sessions de 30 minutes sur une période de deux à quatre semaines. Les résultats ont montré une amélioration significative comparativement au groupe témoin, suggérant une efficacité au moins équivalente, sinon supérieure, aux traitements traditionnels. Cependant, les expériences présentaient des limites, reposant essentiellement sur les questionnaires évaluant la peur des hauteurs, qui ne reflètent pas fidèlement une situation en hauteur. De plus, les auteurs ne disposent pas d'une compréhension précise des éléments de leur TERV ayant contribué à réduire la peur des hauteurs.

Dans l'étude menée par Alexander Miloff et al. [166], 100 patients diagnostiqués comme souffrant d'arachnophobie (la peur des araignées) ont été répartis en 2 groupes égaux. L'un d'eux a suivi un Traitement en une Seule Session (OST) standard in-vivo, tandis que l'autre a expérimenté la Thérapie par Exposition en Réalité Virtuelle (TERV). Dans le cadre de la TERV, les patients étaient immergés dans une salle de laboratoire où ils devaient approcher une araignée placée sur une table, dans un coin de la pièce. L'araignée était contenue dans une boîte en verre, et les patients devaient suivre des instructions pour ouvrir la boîte et manipuler l'araignée.



FIGURE 3.2 – extrait de l'expérimentation de l'étude de Miloff et al. [167]

Les résultats de cette expérience ont révélé une amélioration significative dans les deux méthodes. L'évaluation des résultats a été effectuée en termes d'évitement comportemental et de peur auto-déclarée, utilisant le Test d'Approche Comportementale (BAT) [40], le Questionnaire sur la Peur des Araignées (FSQ) [243], le Questionnaire sur la Phobie des Araignées (SPQ) [189], le Questionnaire sur la Santé du Patient (PHQ) [141], l'Évaluation du Trouble d'Anxiété Généralisée (GAD) [238] et l'Inventaire Brunsviken sur la Qualité de Vie (BBQ) [135].

Dans l'expérience menée par Philip Lindner et al. [137], la réalité virtuelle a été exploitée pour traiter les patients souffrant d'anxiété liée à la prise de parole en public (PSA). Cinquante patients ont été répartis en 2 groupes. Dans la première phase, un groupe a suivi une seule session d'OST, suivie de 4 semaines de VRET administrées à domicile. Le deuxième groupe constituait le groupe témoin. Dans la seconde phase, le groupe 1 a conclu la thérapie en suivant 12 mois de thérapie par exposition in vivo, tandis que le groupe 2 a suivi la même TERV et a terminé par la même transition. Dans la première phase, les auteurs ont noté une amélioration significative de la réduction de l'anxiété pour le groupe 1 par rapport au groupe 2. Dans la seconde phase, le groupe 2 a montré une amélioration significative tandis que le groupe 1 a maintenu ou amélioré ses résultats lors des suivis à 6 et 12 mois. Cette expérience met en évidence la faisabilité et l'efficacité d'une thérapie d'exposition avec un équipement peu coûteux depuis le domicile des patients. Cependant, les auteurs ont souligné que la plupart des résultats étaient auto-évalués et qu'il n'y avait pas de TERV lors de la phase de transition in vivo, rendant ainsi l'étude hybride.



FIGURE 3.3 – extrait de l'expérimentation de l'étude de Lindner [134]

3.2.2 Thérapie d'exposition à par réalité virtuelle dans la pédo-psychiatrie

La RV offre des opportunités uniques pour le diagnostic précoce et précis des troubles mentaux chez les enfants. Les environnements virtuels peuvent être conçus pour simuler des interactions sociales, des comportements, ou des situations du quotidien, permettant ainsi aux cliniciens d'observer et d'évaluer les réactions des enfants dans un environnement contrôlé et sécurisé.

Dans le domaine de la prévention, la RV peut être utilisée pour enseigner et renforcer les compétences sociales, émotionnelles et cognitives chez les enfants, ce qui pourrait avoir un impact significatif sur leur bien-être mental à long terme. Les programmes de prévention basés sur la RV peuvent être adaptés à diverses tranches d'âge et à différents troubles mentaux courants.

Dans une étude menée par Horace et al. [98], la Thérapie par Exposition en Réalité Virtuelle (TERV) a été utilisée dans le but d'aider les enfants atteints de Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) à améliorer leurs réponses lors des interactions sociales quotidiennes et à adopter des comportements appropriés. L'étude a porté sur 94 enfants diagnostiqués avec un TSA, âgés de 7 à 10 ans. L'expérience comprenait six scénarios, dont un axé sur le contrôle des émotions et la relaxation, quatre sur des situations de la vie quotidienne et des interactions sociales, et un pour la consolidation et la généralisation des compétences (voir figure 3.4).



(A) Contenu divers de l'application de TERV



(B) scénario de contrôle des émotions

FIGURE 3.4 – Extrait de l'expérimentation de Horace et al. [98]

Diverses techniques d'évaluation et questionnaires ont été utilisés avant et après les expériences. Les résultats ont mis en lumière une amélioration significative, notamment au niveau des expressions affectives et de la réciprocité sociale. Il convient cependant de noter qu'une partie importante de l'analyse des résultats reposait sur les réponses des parents à des questionnaires spécifiques, avant et après les expériences, plutôt que directement sur les enfants. De plus, les auteurs ont souligné que le matériel de réalité virtuelle utilisé dans l'expérience était relativement coûteux et que l'espace d'entraînement était sous la forme d'un cube d'un volume de 2,75 m³ (nommé half-CAVE) (voir figure 3.5), construit à partir de quatre grands écrans de projection. Malheureusement, en raison du coût et de la complexité de cette configuration matérielle, son utilisation à grande échelle peut être limitée.

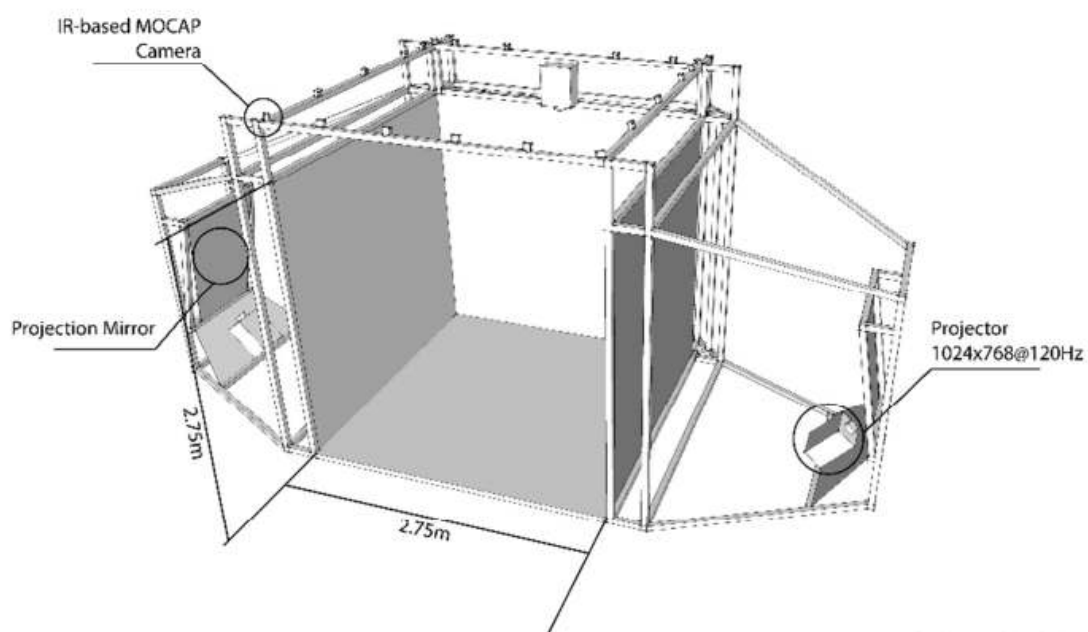


FIGURE 3.5 – Illustration de l'environnement de réalité virtuelle half-CAVE [98]

Dans l'étude menée par Katharina Krosch et al. [115], l'objectif était d'aider les enfants atteints de Trouble du Déficit de l'Attention avec Hyperactivité (TDAH) à améliorer leur concentration quotidienne, à maintenir leur focalisation de manière soutenue et contrôlée. À cette fin, ils ont mis en œuvre une thérapie en utilisant un jeu sérieux appelé "The Virtual Schoolyard". Le jeu était composé de 4 modules (niveaux), chacun ayant un objectif spécifique : l'inhibition de la réponse, l'attention focalisée, la vigilance et la mémoire de travail (voir figure 3.6). Les auteurs ont souligné que l'Environnement Virtuel (EV) était hautement immersif. Le choix d'opter pour une thérapie basée sur un jeu sérieux était motivé par le manque de motivation des enfants atteints de TDAH. Ainsi, la gamification de l'expérience les a aidés à accroître leur motivation.

L'étude a été réalisée auprès de seulement 6 patients, ce qui rend les résultats préliminaires. Ils concernent principalement l'évaluation de l'application. Une étude en cours utilise ces modules pour les tester sur un échantillon plus large, composé d'enfants souffrant de TDAH, afin de déduire les impacts à court et à long terme de l'application sur leur trouble.



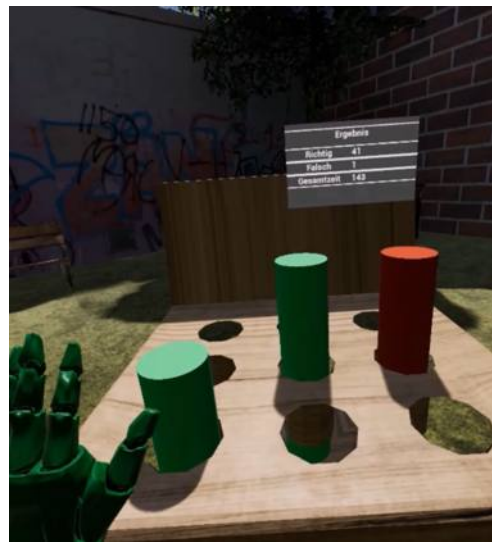
(A) Contenu du niveau 1



(B) Contenu du niveau 2



(C) Contenu du niveau 3



(D) Contenu du niveau 4

FIGURE 3.6 – Extraits de l'expérimentation de Katharina Krosi et al. [115]

Dans l'étude menée par Maoadah Sait et al. [221], un système de réalité virtuelle basé sur le web a été développé spécifiquement pour les enfants atteints de Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA). Neuf participants diagnostiqués avec un TSA, âgés entre 4 et 12 ans, ont suivi ce programme novateur. L'objectif de ce système était de permettre aux enfants de vivre des situations de vie scolaire réelles dans un environnement sûr et contrôlé. Les scènes et les scénarios impliquaient des salles de classe, des cours d'école avec des personnages virtuels. Les résultats rapportés par les auteurs étaient plus axés sur l'évaluation du système que sur l'évaluation du comportement des enfants.

3.2.3 Thérapie d'exposition par réalité virtuelle pour troubles divers

3.2.3.1 TERV pour les troubles obsessionnels compulsifs

Un trouble obsessionnel-compulsif (TOC) est un trouble mental caractérisé par des pensées obsessionnelles récurrentes, indésirables et intrusives, ainsi que par des comportements compulsifs répétitifs que la personne sent qu'elle doit effectuer en réponse à ces obsessions. Ces obsessions et compulsions sont souvent excessives, envahissantes et peuvent entraîner une grande anxiété et un sentiment d'impuissance.

Les obsessions sont des pensées, des images mentales ou des idées récurrentes et persistantes qui provoquent de l'anxiété et du stress. Les personnes atteintes de TOC ont souvent conscience que leurs obsessions ne sont pas fondées, mais elles ont du mal à les ignorer ou à les contrôler. Les compulsions, d'autre part, sont des comportements répétitifs que la personne effectue en réponse aux obsessions pour soulager l'anxiété ou prévenir un événement redouté. Par exemple, quelqu'un ayant peur des germes peut se laver les mains de manière excessive.

Dans l'étude de Razieh Javaherirenani et al. [100] où l'objectif était d'évaluer l'efficacité de l'Exposition et de la Prévention des Réponses en Réalité Virtuelle (VRERP), spécialement adaptée pour les personnes atteintes du sous-type de contamination du TOC. Un total de 36 adultes présentant ce sous-type ont été enrôlés et répartis de manière aléatoire dans les groupes d'intervention et témoin. Le groupe d'intervention a suivi une séance de TCC de 60 minutes intégrant une exposition à un environnement virtuel 'contaminé', tandis que le groupe témoin a reçu une TCC standard conformément aux protocoles établis.

Les résultats ont été évalués à l'aide d'échelles bien établies, notamment l'Échelle d'Obsessions et de Compulsions de Yale-Brown (Y-BOCS) [54], l'Inventaire de Dépression de Beck-II (BDI-II) [264], l'Inventaire d'Anxiété de Beck (BAI) [18], le Questionnaire des Croyances Obsessionnelles-44 (OBQ-44) [181] et l'Échelle d'Évaluation du Handicap de l'Organisation Mondiale de la Santé-2 (WHODAS-2) [68]. Le groupe d'intervention a montré une réduction significative des scores d'obsessions et de compulsions selon la Y-BOCS, démontrant une diminution remarquable des symptômes du TOC.

De plus, les deux groupes ont affiché une réduction des scores de dépression et d'anxiété (BDI-II et BAI), sans différences significatives entre eux. Cependant, une différence notable a été observée dans les croyances obsessionnelles (OBQ-44) et le handicap fonctionnel global (WHODAS-2) entre les groupes d'intervention et témoin, soulignant le potentiel de la VRERP pour atténuer l'impact du TOC sur le fonctionnement quotidien.

Dans une autre étude menée par Iveta Fajnerová et al. [55], le but était d'évaluer l'efficacité de l'environnement virtuel de maison en réalité virtuelle (RV) en tant qu'outil pour la thérapie d'exposition chez les patients atteints de Trouble Obsessionnel-Compulsif (TOC). Un groupe de patients TOC (n = 44) a été comparé à un groupe témoin de personnes en bonne santé (n = 31). Les participants ont été exposés à 10 stimuli en RV couvrant quatre dimensions du TOC, et ont évalué leur niveau actuel de détresse/anxiété et leurs tendances compulsives. Avant et après l'exposition en RV, les participants ont rempli des questionnaires évaluant l'anxiété, leur sensation de présence en RV et les symptômes de vertige.

Les résultats ont montré que le groupe TOC a signalé des niveaux élevés de détresse et de comportements compulsifs face aux stimuli VR par rapport au groupe témoin. Cependant, aucune augmentation des niveaux d'anxiété n'a été observée



FIGURE 3.7 – extrait de l'expérimentation de l'étude de Fajernovà [55]

après l'exposition en VR. Ainsi, l'étude suggère que l'environnement virtuel de maison en VR est un outil adéquat pour la thérapie d'exposition chez les patients atteints de TOC, en provoquant des symptômes du TOC pertinents pour chaque patient.

3.2.3.2 TERV pour les troubles de stress post-traumatique

Dans l'étude de faisabilité de Louks Laura et al. [140], l'efficacité de la thérapie d'exposition en réalité virtuelle (VRE) pour traiter le stress post traumatique (PTSD) lié aux Traumatismes sexuels dans l'armée (MST : Military Sexual Trauma) a été rigoureusement explorée. Les chercheurs ont développé du contenu spécifique au MST pour cette approche novatrice. L'échantillon de participants comprenait 15 vétérans, avec une représentation de 26% d'hommes. Le protocole de la thérapie comprenant entre 6 et 12 sessions de TERV. L'évaluation exhaustive du PTSD, de la dépression et des indicateurs physiologiques de détresse a été effectuée avant, durant et après la psychothérapie, et lors d'un suivi à 3 mois.

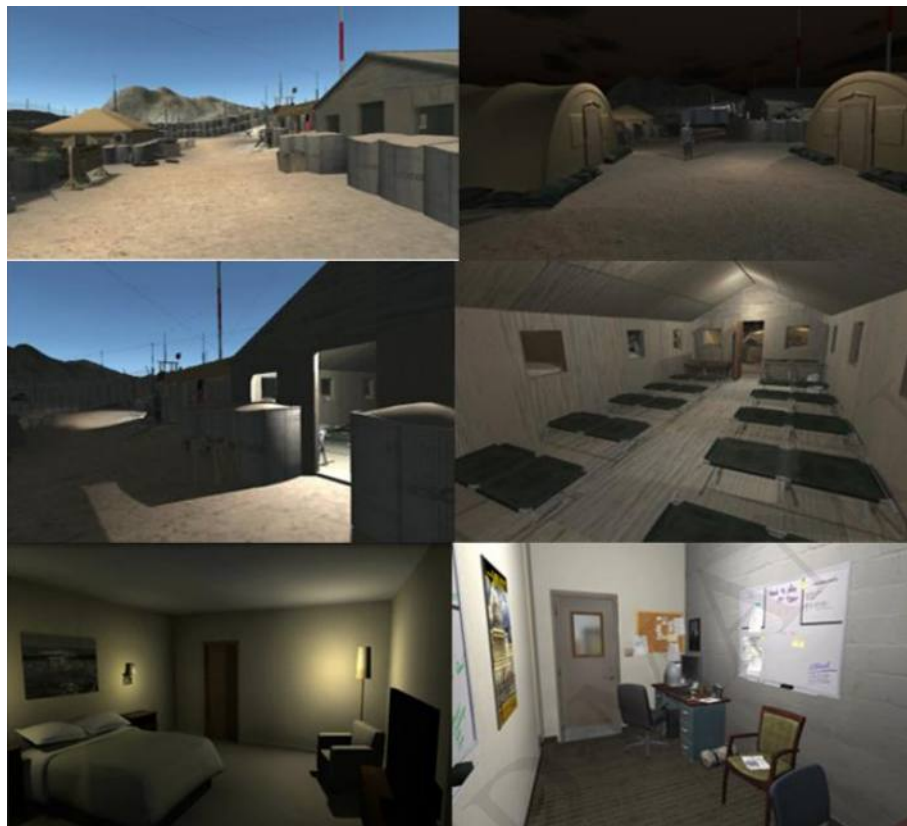


FIGURE 3.8 – extrait de l'expérimentation de l'étude de Louks [140]

Les chercheurs ont abouti à des conclusions significatives. Il y a eu des réductions notables du PTSD entre le début et la fin de l'expérimentation. Ces améliorations ont été soutenues lors du suivi, indiquant la persistance des bénéfices post-traitement.

De plus, des indicateurs physiologiques ont été analysés, notamment la réponse de la fréquence cardiaque à un stimulus de traumatisme. Les résultats ont montré une réduction significative entre le début et la fin de la psychothérapie, soulignant l'impact prometteur de la TERV dans cette population. En outre, le pourcentage de participants répondant aux critères du PTSD a continué de décroître entre la fin du traitement (53%) et le suivi (33%).

Ces résultats encourageants confirment que la TERV peut être administrée en toute sécurité et se profile comme un traitement prometteur pour les individus souffrant de PTSD lié au MST.

3.2.3.3 TERV pour la dépression

Philip Lindner et al. [136] propose une utilisation de la réalité virtuelle (VR) à des fins de restructuration cognitive visant à traiter la dépression. La restructuration cognitive regroupe diverses techniques thérapeutiques visant à identifier les schémas cognitifs entretenant un état de dépression, puis à les modifier. La modalité VR sera utilisée comme aide à la visualisation interactive et pour la rescription imaginaire et l'entraînement à l'imagerie positive.

L'approche consisterait à exploiter les puissantes capacités visuelles de la VR en permettant à l'utilisateur de créer, de manipuler et d'observer du matériel thérapeutique de manière immersive. De nombreux exercices cognitifs exigent que le patient imagine une situation type à partir de laquelle il extrait et manipule ses cognitions à des fins d'exercice. La VR permettrait de situer virtuellement l'utilisateur dans cette situation type, de jouer le scénario correspondant, de lui permettre de mettre en pause le scénario, et par exemple, de rapporter les pensées automatiques négatives en les visualisant sous forme d'objets géométriques. Des contrôleurs portables pourraient ensuite être utilisés pour manipuler ces objets conformément à l'objectif de l'exercice, par exemple, en utilisant une gomme virtuelle pour effacer un objet non désiré, en déplaçant des distorsions cognitives non voulu ou en identifiant les preuves en faveur ou en défaveur des hypothèses sous-jacentes, comme le montre la figure 3.9



FIGURE 3.9 – Extrait de l'expérimentation de Lindner [136]

3.2.3.4 TERV pour la régulation de l'anxiété

la réalité virtuelle (RV) peut être une stratégie thérapeutique moderne pour les patients souffrants du trouble de l'anxiété généralisée (TAG), une condition fréquente et invalidante.

L'efficacité de la RV combinée à la relaxation pour les patients atteints de TAG a été évaluée dans le cadre de l'analyse de Eric Malbos et al [146]. comparant la RV par rapport à l'imagerie mentale standard pendant la relaxation. Des environnements virtuels spécifiques ont été créés pour cet essai à l'aide d'un éditeur de niveaux de jeu peu coûteux (voir figure 3.10).



FIGURE 3.10 – extrait de l'expérimentation de Malbos et al [146]

Vingt-sept participants atteints de TAG ont été inclus dans cette étude intermédiaire. Des échelles psychométriques et des instruments physiologiques ont été utilisés pour évaluer les effets du traitement. Une amélioration statistiquement significative des scores d'anxiété, d'inquiétude et de qualité de vie mentale a été notée pour les participants des deux groupes. La comparaison entre les méthodes de traitement n'a révélé aucune différence significative, bien que le taux d'abandon ait été nettement plus élevé dans le groupe standard. Dans le groupe RV, le niveau de présence était satisfaisant et la sensation de vertige était faible. Ces résultats ouvrent la voie à de nouvelles recherches dans le domaine de la thérapie de relaxation en réalité virtuelle pour le TAG.

La relaxation musculaire progressive (PMR) est une technique validée qui ne présente ni caractère invasif ni effets secondaires gênants. Les effets et la portée de la PMR peuvent être améliorés grâce aux avancées technologiques, telles que la réalité virtuelle (RV), qui est testée pour sa faisabilité dans le cadre de l'étude de Alex O. Rothbaum et al [217] qui présente un essai contrôlé randomisé visant à évaluer l'utilisabilité et l'efficacité d'un programme de PMR en RV. Les participants (n = 18) ont été répartis de manière aléatoire entre le groupe de traitement en RV et le groupe témoin en liste d'attente. Les participants du groupe de traitement ont suivi cinq séances de PMR en RV. Les résultats ont indiqué que le nouveau programme en RV était hautement utilisable et immersif. La comparaison des mesures avant et après le traitement a montré que les participants en RV signalaient des niveaux de douleur significativement plus faibles et des améliorations dans leurs croyances liées à la douleur par rapport aux témoins. De plus, ceux qui avaient suivi la PMR en RV ont fait état d'une anxiété étatique significativement plus faible à la fin de

l'étude. Des améliorations dans les croyances liées aux médicaments ont également été constatées après le traitement. Cet essai contrôlé apporte un soutien préliminaire

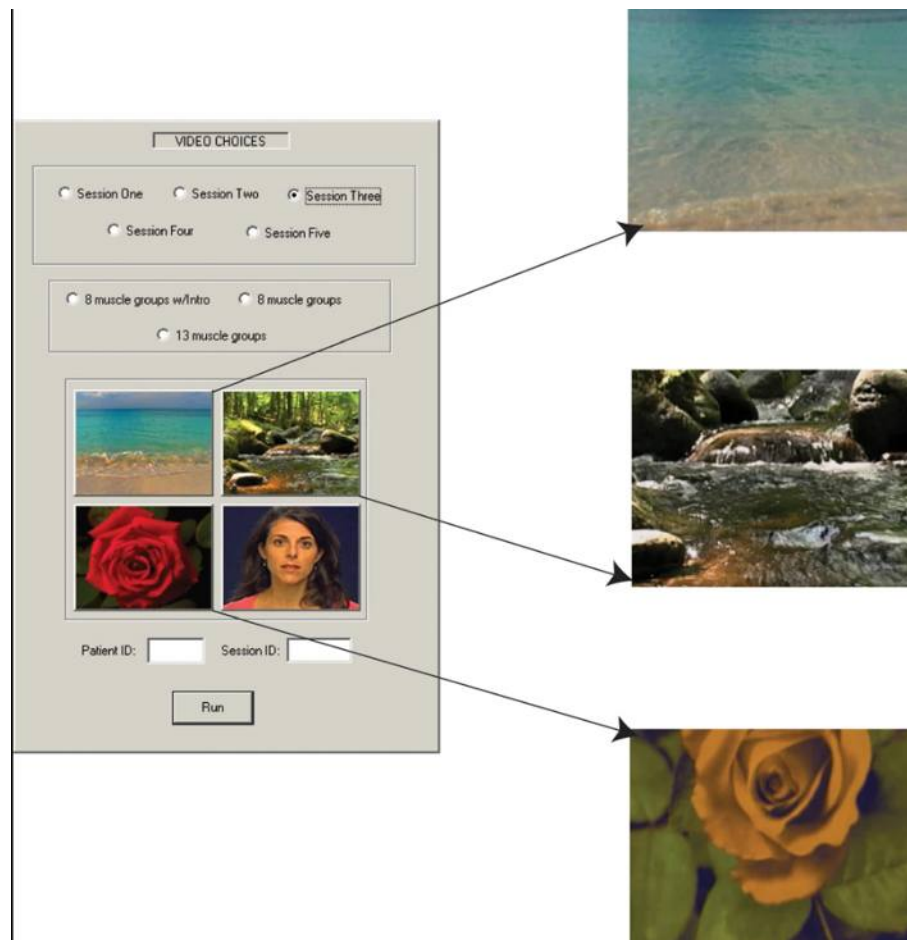


FIGURE 3.11 – Extrait de l'expérimentation de Rothbaum et al. [217]

à une nouvelle modalité immersive de relaxation en RV, offrant ainsi une approche adjointe ou alternative prometteuse pour la prise en charge du mal de dos chronique (CLBP). Les futures études pourront confirmer davantage l'utilisation de la RV, en particulier la PMR en RV, dans la gestion et le traitement de la douleur chronique.

3.3 Intelligence Artificielle et psychiatrie

L'intelligence artificielle (IA) a été intégrée de manière significative dans le domaine de la psychiatrie, notamment pour le dépistage précoce, le diagnostic précis, ainsi que la personnalisation des traitements et le suivi des troubles psychiatriques. Son application prometteuse repose sur des algorithmes sophistiqués et des modèles prédictifs qui permettent d'analyser de vastes ensembles de données cliniques, de repérer des schémas complexes et d'extraire des insights cliniques précieux. Cette symbiose entre l'IA et la psychiatrie représente un progrès majeur en fournissant des outils plus efficaces et précis pour évaluer, traiter et accompagner les individus souffrant de troubles mentaux. Dans cette section, nous présentons des travaux pertinents et variés qui combinent IA et psychiatrie dans le but d'améliorer le dépistage/diagnostic des troubles mentaux ou de personnaliser le traitement/suivi des patients.

3.3.1 Intelligence Artificielle dans le dépistage et le diagnostic des troubles mentaux

En 2018, [88] ont appliqué des algorithmes d'apprentissage profond à un vaste corpus de données d'imagerie cérébrale dans le dessein de détecter de manière précise les patients souffrant de troubles du spectre autistique (TSA). Leur démarche visait à mettre en lumière les configurations neuronales qui émergeaient de ce processus de classification. Les conclusions de cette étude ont engendré des améliorations substantielles dans l'exactitude de l'identification des TSA. Grâce aux modèles d'apprentissage profond, les régions cérébrales primordiales pour la distinction des TSA ont été identifiées.

L'étude menée par [254] exploite des techniques d'analyse avancée et d'intelligence artificielle pour mettre en place un Système de Soutien à la Décision (DSS) capable d'identifier et de diagnostiquer efficacement divers troubles mentaux. Le processus de développement du DSS englobe plusieurs étapes. Initialement, l'algorithme de Reconnaissance de Motifs de Réseau (NEPAR) est utilisé pour élaborer l'outil d'évaluation et déterminer les questions auxquelles les participants doivent répondre. Par la suite, divers modèles d'apprentissage automatique sont entraînés en utilisant les réponses des participants à ces questions, ainsi que des données historiques. Ces modèles servent d'entrées pour prédire la présence et la catégorie d'un trouble mental. Les résultats démontrent que le DSS proposé est capable de diagnostiquer automatiquement les troubles mentaux avec un haut degré de précision, atteignant un taux de précision de 89 % avec seulement 28 questions et sans aucune intervention humaine. De plus, cet outil de diagnostic des troubles mentaux novateur comporte significativement moins de questions par rapport à ses homologues existants, ce qui se traduit par une amélioration des taux de participation et de complétion. Les professionnels de la santé mentale peuvent ainsi exploiter ce DSS novateur et son outil d'évaluation associé pour améliorer la prise de décision clinique et la précision diagnostique.

Dans l'article de Wani et al. [265], où le but était de proposer un système efficace pour détecter les symptômes de la dépression majeure à un stade précoce en partant d'un corpus de données collectées à partir des réseaux sociaux. Le jeu de données produit par cette étude est le premier du genre, regroupant divers signaux dépressifs provenant de plateformes de réseaux sociaux en ligne telles que Facebook, Twitter et YouTube. Les expériences ont montré que les modèles d'apprentissage profond LSTM et CNN, ainsi que les modèles hybrides (CNN + LSTM), ont obtenu des résultats prometteurs sur tous les ensembles de données individuels et combinés. Sur les 24 expériences réalisées pour les modèles Word2Vec LSTM et Word2Vec (CNN + LSTM), les auteurs rapportent qu'ils ont atteint une précision de 99,02% et 99,01% respectivement, ce qui les positionne comme meilleurs résultats, surpassant toutes les approches existantes en termes de mesures de performance. Les caractéristiques basées sur Word2Vec se sont révélées optimales pour détecter les symptômes de la dépression dans les corpus de Facebook et de YouTube en atteignant des précisions de 95,02% (avec CNN) et de 98,15% (avec CNN + LSTM), respectivement.

3.3.1.1 Intelligence Artificielle dans le traitement et le suivi des troubles mentaux

Dans l'étude de Tymofiyeva et al. [256], Les chercheurs explorent l'application de l'apprentissage automatique aux données d'imagerie cérébrale des patients pour prédire la réduction des symptômes dépressifs chez les adolescents atteints de trouble dépressif majeur (TDM) après une thérapie cognitivo-comportementale (TCC). L'objectif principal est de répondre à la question cruciale "Qui bénéficiera de la TCC?" en utilisant des données d'imagerie cérébrale pour prédire la réduction des symptômes dépressifs chez 30 adolescents déprimés après trois mois de TCC. des techniques d'apprentissage automatique supervisé sont appliqué sur des données d'IRM de diffusion en plus de Vingt-et-un attributs, incluant le score de dépression initial, l'âge, le genre, deux propriétés globales du réseau cérébral, et les forces nodales des régions cérébrales liées à la dépression, sont utilisés. L'algorithme d'arbre de classification atteint une précision de 83% dans la prédiction de la réduction des symptômes dépressifs. L'arbre résultant, composé de sept nœuds avec seulement trois attributs, met en évidence le rôle crucial du thalamus droit dans la prédiction de la réduction des symptômes dépressifs avec la TCC. Ces résultats soulignent que l'apprentissage automatique, en se basant exclusivement sur les données d'IRM et le score de dépression initial, peut prédire avec une grande précision la réduction des symptômes dépressifs chez les adolescents atteints de TDM traités par TCC. Ces connaissances peuvent améliorer la planification du traitement pour la dépression adolescente.

Hilbert et al. [91] visent à prédire les niveaux de rémission dans un échantillon de patients souffrant de troubles obsessionnels-compulsifs (TOC) homogène sur le plan diagnostique. Les données sociodémographiques et cliniques de n=533 sujets TOC traités par TCC dans une clinique spécialisée ont été utilisées. Les résultats ont été évalués en termes de prédiction de la rémission et du changement dimensionnel. La rémission a été prédite avec une précision équilibrée de 65% ($p=0,001$) sur des données de test. La comparaison avec les travaux antérieurs suggère que les prédictions au sein d'un échantillon diagnostiquement homogène, ne sont pas nécessairement supérieures à un échantillon plus diversifié comprenant plusieurs groupes diagnostiques. L'utilisation de prédicteurs psychologiques affinés liés à l'étiologie et au maintien des troubles, ou l'ajout de modalités de données supplémentaires telles que l'imagerie cérébrale serait prometteur pour accroître davantage la précision des prédictions selon les auteurs.

Dans l'étude expérimentale menée par Xiaohui T. et al. [245], l'association novatrice du machine learning et des technologies de communication par radiofréquence (RFID) a été déployée pour permettre une surveillance à distance des patients et anticiper les comportements suicidaires au sein d'un hôpital ou d'un centre de soins. Cette recherche a débuté par l'identification des emplacements optimaux pour les points d'accès des antennes RFID, assurant ainsi la réception fluide des signaux vitaux capturés par des technologies non invasives. En suivant cette première phase, les chercheurs ont ensuite procédé à l'analyse des modèles de comportement suicidaire à l'aide d'algorithmes de machine learning tels que les arbres de décision et les régressions linéaires. les auteurs ont conclu leur recherche en proposant une architecture en deux parties pour la collecte et la modélisation des données.

3.4 Informatique Affective et Agents Conversationnels en Psychiatrie

L'intégration de l'informatique affective dans le domaine de la psychiatrie représente une avancée prometteuse pour la modernisation et l'amélioration des traitements et des interactions patient-thérapeute. Cette section explore les travaux scientifiques basés sur ces technologies innovantes afin de comprendre leur potentiel dans la prise en charge psychiatrique en reconnaissant et en répondant aux états émotionnels des patients de manière intuitive et pertinente.

Les agents conversationnels, enrichis par l'informatique affective, offrent une nouvelle dimension dans le traitement des troubles psychiatriques. Ils permettent des interactions continues et personnalisées, ce qui était auparavant inimaginable avec les méthodes conventionnelles. Par ailleurs, ces technologies peuvent soutenir les thérapeutes en fournissant des analyses précises et en temps réel des réponses émotionnelles des patients, facilitant ainsi une compréhension plus profonde de leur état psychologique.

Cette section s'appuiera sur des travaux de recherche pertinents pour illustrer l'efficacité et les perspectives de ces outils technologiques en psychiatrie, mettant en lumière leur potentiel pour révolutionner non seulement le diagnostic et le suivi, mais aussi la manière dont les soins psychiatriques sont conçus et administrés à l'ère numérique.

3.4.1 Informatique Affective pour la capture d'émotions

L'étude menée par Dewi Yanti Liliana, Chan Basaruddin, et M. Rahmat Widianto [133] explore la reconnaissance des émotions mixtes à partir d'expressions faciales à l'aide d'une combinaison des méthodes d'apprentissage machine SVM (Support Vector Machines) et CRF (Conditional Random Fields). Les auteurs ont développé un modèle en deux étapes pour classer des séquences d'images faciales, d'abord en utilisant SVM pour classer chaque image individuellement, puis en utilisant CRF pour prédire l'étiquette d'émotion mixte de la séquence entière. Le modèle a été testé sur un jeu de données modifié de Cohn Kanade+ et un ensemble de données créé spécifiquement pour cette étude, montrant une performance supérieure par rapport à l'utilisation de CRF seul. Cette recherche met en lumière la complexité de reconnaître les émotions mixtes, qui combinent deux émotions de base, et montre comment l'approche SVM-CRF peut améliorer la précision dans ce domaine difficile.

L'étude menée par Selma Madjden et al. [159] examine une interface utilisateur adaptative (AUI) pour une application de bureau, exploitant la reconnaissance des émotions à travers les expressions faciales et la posture corporelle capturées par un capteur RGB-D. Le système emploie des méthodes de classification améliorées pour réduire les erreurs de reconnaissance des émotions, permettant une meilleure distinction entre des émotions similaires, telles que la colère et la frustration. L'AUI réagit en temps réel aux émotions détectées, ajustant les éléments de l'interface pour correspondre à l'état émotionnel de l'utilisateur. Par exemple, si un utilisateur semble frustré, l'interface peut s'adapter pour offrir des options simplifiées ou des raccourcis pour accomplir des tâches. L'interface est également contrôlable par la voix, permettant aux utilisateurs de faire des ajustements sans interrompre leur travail en cours. Les chercheurs ont mené des tests avec des utilisateurs pour évaluer trois types de configurations AUI : automatique, où l'interface s'ajuste seule sans intervention ; manuelle, où l'utilisateur doit faire les ajustements ; et hybride, qui combine les deux approches. Les critères d'évaluation incluaient l'efficacité, l'efficience,

la productivité et la prévention des erreurs. Les résultats montrent que l'approche hybride est particulièrement efficace, améliorant la productivité et l'efficacité tout en réduisant les erreurs, suggérant que cette méthode pourrait offrir un équilibre optimal entre contrôle automatique et manuel pour les interfaces utilisateur adaptatives basées sur la reconnaissance des émotions.

Loan Trinh Van et al. [252], explorent la reconnaissance des émotions dans la parole à l'aide de réseaux de neurones profonds, notamment les CNN, CRNN, et GRU. Utilisant le corpus IEMOCAP, l'étude se concentre sur quatre émotions principales : la colère, la joie, la tristesse et la neutralité. Les paramètres de caractéristiques utilisés pour la reconnaissance comprennent les coefficients spectraux Mel et d'autres paramètres relatifs au spectre et à l'intensité du signal vocal. Une augmentation des données a été réalisée en modifiant la voix et en ajoutant du bruit blanc. Les résultats montrent que le modèle GRU a atteint une précision moyenne de reconnaissance de 97,47%, surpassant les études existantes sur la reconnaissance des émotions vocales avec le corpus IEMOCAP.

Paweł Tarnowski et ses collaborateurs [246] explore la reconnaissance des émotions par l'analyse du mouvement oculaire en utilisant l'eye-tracking. Trente participants ont visionné 21 vidéos destinées à évoquer des émotions spécifiques, et l'on a enregistré leurs réactions oculaires. L'étude a mesuré plusieurs caractéristiques liées aux mouvements des yeux, comme les fixations, les saccades et le diamètre de la pupille, en plus de prendre en compte la luminance et la dynamique des vidéos pour assurer que les réactions mesurées étaient bien liées aux émotions et non à des stimuli visuels externes. Trois classes d'émotions ont été examinées : forte activation avec faible valence, faible activation avec valence modérée, et forte activation avec haute valence. Une précision maximale de classification de 80% a été atteinte avec l'utilisation de la machine à vecteurs de support (SVM) comme classificateur et une méthode de validation croisée laissant un sujet à l'extérieur. Cette recherche démontre l'utilité potentielle de l'eye-tracking dans l'identification des réponses émotionnelles, offrant des applications possibles dans les domaines de la psychologie, de l'éducation et de l'interaction homme-machine.

3.4.2 Informatique Affective pour l'expression d'empathie

L'étude de Chang Li et Hideyoshi Yanagisawa [128] explore l'effet de la motivation intrinsèque dans l'interaction avec les assistants virtuels, particulièrement en vue de favoriser des interactions spontanées. Leur recherche se concentre sur comment l'expectative des capacités de l'assistant et l'incertitude influencent la motivation intrinsèque des utilisateurs. Ils ont développé un modèle motivationnel où ces deux facteurs sont manipulés à travers des expériences impliquant l'assistant virtuel Amazon Echo. Les résultats montrent que des attentes élevées augmentent les interactions motivées intrinsèquement, tandis que les effets de l'incertitude ne supportent pas complètement l'hypothèse des chercheurs. Leurs découvertes suggèrent que réduire l'incertitude peut encourager des interactions plus fréquentes et influencer positivement la motivation derrière ces interactions, changeant de motivations non intrinsèques à intrinsèques. Cette étude contribue à une meilleure compréhension de comment les attentes et l'incertitude peuvent être ajustées pour améliorer l'engagement des utilisateurs avec les technologies interactives.

L'étude de Ghandeharioum A. et al. [70] explore le développement d'EMMA (EMotion-Aware mHealth Agent), un agent de santé mobile conçu pour améliorer le bien-être émotionnel des utilisateurs. EMMA est un chatbot qui utilise des données de localisation collectées via un smartphone pour apprendre à détecter les états

émotionnels de l'utilisateur et proposer des micro-activités adaptées à son humeur. L'étude impliquait une expérience de deux semaines avec 39 participants, au cours de laquelle les performances d'EMMA ont été comparées à celles d'une condition de contrôle sans adaptation émotionnelle. Les résultats ont montré que les utilisateurs appréciaient autant EMMA que le chatbot de contrôle, ce qui indique que l'approche automatique de la détection des émotions était bien acceptée. En outre, l'étude a révélé que l'approche automatisée pourrait réduire la charge pour les utilisateurs en minimisant le besoin de signaler fréquemment leur humeur. L'efficacité d'EMMA dans la fourniture d'interventions ciblées basées sur les émotions détectées a été mise en évidence, soutenant l'idée que les technologies sensibles aux émotions peuvent jouer un rôle clé dans le soutien au bien-être mental.

Zhou L. et al. [278] discute de la conception et de l'implémentation de XiaoIce, un chatbot social empathique développé par Microsoft, qui a été lancé en 2014 et est devenu le chatbot social le plus populaire au monde. XiaoIce est conçu pour établir des connexions émotionnelles à long terme avec ses utilisateurs, offrant une expérience compagnon artificielle qui peut reconnaître les sentiments humains et répondre de manière dynamique aux besoins des utilisateurs. L'architecture du système inclut des composants tels que le gestionnaire de dialogue, le chat principal, des compétences variées et un module informatique empathique. Le document explique comment le chatbot utilise ces capacités pour maintenir l'engagement des utilisateurs à travers des interactions prolongées, enregistrant une moyenne de 23 tours de conversation par session, ce qui dépasse les performances d'autres chatbots et même de certaines interactions humaines

3.5 Conclusion

En somme, ce chapitre se consacre à l'examen méticuleux de l'interface émergente entre la psychiatrie et les technologies de pointe, révélant un terrain fertile propice à des avancées substantielles. Les réflexions développées mettent en évidence les bénéfices significatifs induits par ces développements technologiques, cristallisant une transition essentielle dans les paradigmes des praticiens de la santé mentale.

Cette exploration approfondie des implications a permis d'éclairer de manière claire le rôle prépondérant de ces technologies, particulièrement dans les sphères cruciales de la prévention, du dépistage, du diagnostic et de la prise en charge des troubles psychiatriques. À travers une analyse approfondie des travaux de recherche contemporains, il a été possible de démêler les façons dont ces applications novatrices sont en train de remodeler les standards de soins au sein de la discipline psychiatrique.

Les exemples tangibles tirés de l'état de l'art attestent de manière convaincante que ces technologies ne se limitent pas à un potentiel révolutionnaire hypothétique, mais qu'elles sont déjà en train de générer des changements tangibles. En offrant des solutions innovantes et en optimisant les résultats cliniques, ces progrès technologiques s'inscrivent en tant que partenaires cruciaux dans la quête perpétuelle d'une amélioration continue des pratiques en santé mentale.

Ainsi, la convergence entre la psychiatrie et les technologies de pointe s'avère être une ère de découvertes novatrices, ouvrant des perspectives inexplorées dans le domaine de la santé mentale. Les répercussions de cette intersection se font sentir de manière tangible, remodelant la manière dont les praticiens de la santé mentale

conceptualisent et administrent leurs responsabilités, axés résolument sur l'optimisation des soins et l'amélioration du bien-être des individus confrontés à des défis de santé mentale.

II. CONTRIBUTIONS

Chapitre 4

AutismScreenerAI - Réinventer le Dépistage de l'Autisme par l'IA : Une Approche Novatrice Associant Questionnaire Hybride et Apprentissage Automatique.

Introduction

Au cœur des enjeux contemporains en santé mentale, les défis liés à l'autisme suscitent une réflexion approfondie quant aux approches de dépistage précoce et aux interventions thérapeutiques. Ce chapitre s'articule autour d'une initiative novatrice visant à transformer le dépistage précoce de l'autisme en utilisant l'intelligence artificielle. Dans un contexte où la détection précoce et précise de l'autisme chez les jeunes enfants est primordiale pour un accompagnement adapté, cet outil innovant propose une méthodologie unique qui intègre un questionnaire hybride enrichi par des techniques avancées d'apprentissage automatique.

Nous débutons par une exploration approfondie de la problématique associée au dépistage actuel de l'autisme, notamment les limites des outils conventionnels comme le MCHAT-R/F qui souffre de sensibilité excessive, entraînant un nombre élevé de faux positifs. Cela met en lumière le besoin crucial de solutions plus précises et adaptatives, capables de s'ajuster aux subtilités individuelles des réponses des enfants.

À travers une série d'expérimentations et de validations, ce chapitre démontre non seulement l'efficacité de l'outil mais aussi ses implications potentielles pour révolutionner le dépistage de l'autisme. La discussion des résultats et des perspectives futures ouvre la voie à des avancées significatives dans le domaine de la santé mentale, particulièrement dans l'amélioration des conditions de vie des enfants autistes et de leurs familles.

4.1 Contextualisation

La phase de dépistage de l'autisme revêt une importance cruciale au sein du processus diagnostique global. Son objectif fondamental réside dans l'obtention d'une évaluation préliminaire de l'état de l'enfant, visant à déterminer la présence potentielle d'un risque significatif d'autisme. En ce sens, le dépistage offre une première indication quant à la nécessité d'une exploration approfondie de la part d'un professionnel en psychiatrie [12]

Dans cette perspective, le résultat du dépistage peut conduire à deux scénarios distincts. D'une part, il peut suggérer la présence d'indicateurs préoccupants, justifiant ainsi une investigation plus poussée pour confirmer ou infirmer le diagnostic d'autisme. D'autre part, le dépistage peut également indiquer que l'enfant suit une trajectoire de développement typique, ce qui implique néanmoins la nécessité d'une réévaluation à la prochaine échéance médicale subséquente. Cette démarche est schématisée de manière conceptuelle dans la Figure 4.1.

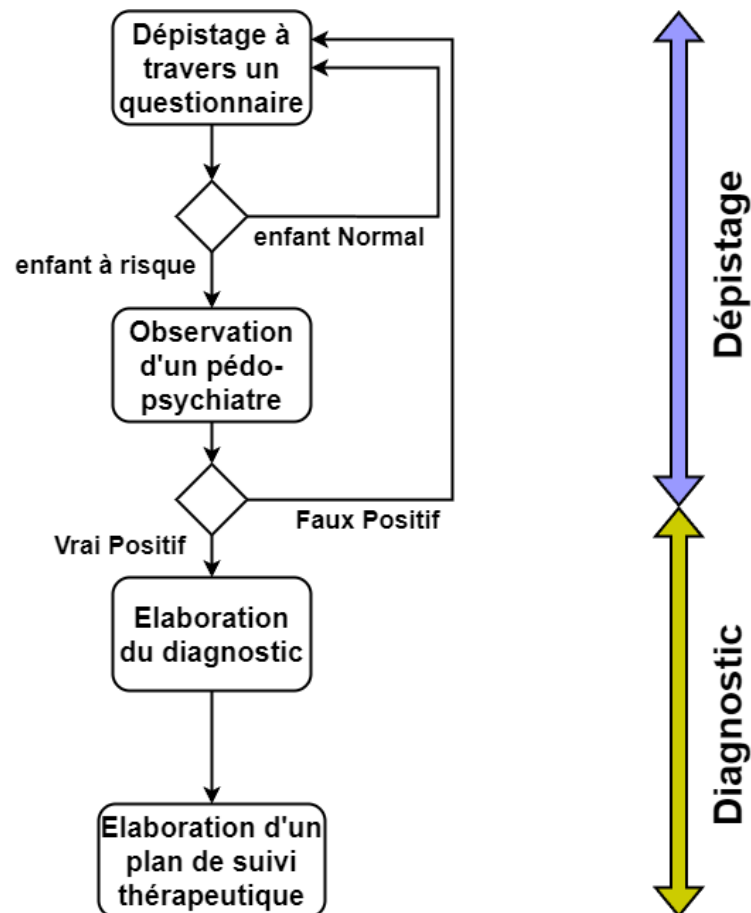


FIGURE 4.1 – Processus de dépistage de l'autisme

Cette approche séquentielle s'avère indispensable pour orienter les interventions appropriées et individualisées en vue d'optimiser le développement et le bien-être de l'enfant.

Le processus de dépistage de l'autisme s'articule généralement autour de l'utilisation de questionnaires standardisés [21] [35]. Ces instruments englobent, au-delà d'une section consacrée aux informations personnelles de l'enfant, divers aspects du

développement de l'enfant, tels que la communication, l'orientation sociale, le traitement sensoriel, la réactivité émotionnelle et l'implication, ainsi que d'autres paramètres pertinents. Globalement, plus de 45 questionnaires scientifiquement validés sont répertoriés à l'échelle mondiale, chacun présentant une utilisation variée dans différentes régions du globe.

La sélection d'un questionnaire spécifique dans une région donnée est guidée par une multitude de facteurs. Ces éléments comprennent la disponibilité du questionnaire, son coût, ses conditions d'utilisation, le niveau économique du pays ou de la région, ainsi que l'adéquation culturelle et sociale du questionnaire à cet environnement particulier [148]. Certains instruments, à l'instar du Modified Checklist for Autism in Toddlers (M-CHAT-R/F) [212] ou du Quantitative Checklist for Autism in Toddlers (Q-CHAT) [143], se démarquent par une prévalence d'utilisation et de citation significativement supérieure à d'autres outils équivalents. Cette disparité d'utilisation trouve son origine dans des considérations pratiques, économiques et culturelles, soulignant ainsi la nécessité d'une approche contextualisée dans le processus de sélection des instruments de dépistage.

Cette diversité dans l'utilisation des questionnaires reflète la complexité inhérente à la mise en œuvre du dépistage de l'autisme à l'échelle mondiale, impliquant une adaptation stratégique aux contextes régionaux spécifiques. Une compréhension approfondie de ces dynamiques contribue à une pratique de dépistage plus informée et contextualisée, favorisant ainsi une identification précoce et précise des enfants présentant des signes précoces de troubles du spectre autistique.

4.1.1 Problématique

L'utilisation généralisée des questionnaires dans le dépistage de l'autisme est associée à une préoccupation majeure, à savoir la sensibilité élevée de ces instruments, entraînant par conséquent un taux significatif de faux positifs [153]. La sensibilité d'un questionnaire se réfère à sa capacité à identifier correctement les individus atteints de la condition visée, dans ce cas, les enfants présentant des signes d'autisme. Bien que la sensibilité élevée soit essentielle pour ne pas manquer de cas authentiques, elle est souvent accompagnée d'une augmentation corollaire du nombre de faux positifs, où des individus sont erronément identifiés comme présentant des symptômes autistiques [201].

Cette prévalence de faux positifs soulève des préoccupations significatives en raison des conséquences potentielles pour les enfants et leurs familles. Un résultat de faux positif peut déclencher des procédures d'évaluation et d'intervention inutiles, exposant les enfants à des évaluations psychologiques approfondies et, dans certains cas, à des interventions thérapeutiques inappropriées. Ces interventions précoces, bien qu'utiles pour les enfants diagnostiqués, peuvent avoir des répercussions négatives sur ceux identifiés à tort, entraînant des coûts émotionnels et financiers [78].

Divers facteurs contribuent à cette sensibilité élevée et au taux de faux positifs associé. La variabilité développementale naturelle chez les enfants [126], les différences culturelles dans les comportements sociaux [196] [147], ainsi que les variations individuelles dans la réponse aux questionnaires [175], peuvent tous influencer les résultats. De plus, le seuil de dépistage établi pour maximiser la sensibilité peut, par inadvertance, augmenter la probabilité de faux positifs.

Les chercheurs et les cliniciens s'efforcent donc de trouver un équilibre délicat entre la sensibilité nécessaire pour une détection précoce des cas authentiques et la nécessité de minimiser les faux positifs [107].

4.1.2 Étude du cas MCHAT-R/F : Un Dilemme de Sensibilité Excessive

Afin d'illustrer la problématique, nous nous penchons sur l'analyse d'un questionnaire en particulier. Le Modified Checklist for Autism in Toddlers - Revised with Follow-Up (M-CHAT-R/F) (Voir Appendice A.1), un instrument largement utilisé dans le dépistage précoce de l'autisme chez les tout-petits, se distingue par sa sensibilité élevée. Cependant, cette caractéristique présente un dilemme majeur en raison de la structure du questionnaire, qui peut conduire à des faux positifs déconcertants (Voir Appendice A.2). Cette analyse examine de manière critique cette problématique inhérente au M-CHAT-R/F, soulignant les conséquences potentielles sur les résultats de dépistage

- **Structure du Questionnaire** : Le M-CHAT-R/F comporte 20 questions, dont 8 sont considérées comme critiques pour l'évaluation du risque d'autisme chez les tout-petits. Ce format de questionnaire peut entraîner des résultats ambigus, car un enfant peut obtenir un score élevé tout en présentant des compétences sociales typiques.
- **Seuil de Réussite** : Le seuil de réussite du M-CHAT-R/F pour exclure le risque d'autisme est défini de manière rigoureuse. Ainsi, un enfant peut obtenir un score de 17 ou même 18 sur 20, révélant des compétences sociales normales, mais échouer au test en raison d'une mauvaise réponse à une question critique.
- **Faux Positifs et Implications Cliniques** : La sensibilité excessive du M-CHAT-R/F expose à un risque significatif de faux positifs, où des enfants présentant un développement typique peuvent être erronément identifiés comme étant à risque d'autisme. Les implications cliniques et les interventions inutiles qui en résultent peuvent engendrer des conséquences psychologiques et financières importantes pour les familles.

Bien que le M-CHAT-R/F soit un outil précieux dans le dépistage de l'autisme chez les tout-petits, la présence d'une sensibilité excessive soulève des inquiétudes quant à la précision des résultats. Des révisions structurelles et conceptuelles peuvent être envisagées pour atténuer ces préoccupations. Des ajustements dans la définition du seuil de réussite et une réévaluation de l'impact de chaque question, en particulier des questions critiques, pourraient contribuer à améliorer la spécificité du M-CHAT-R/F sans compromettre sa sensibilité, assurant ainsi une évaluation plus nuancée et précise des risques d'autisme chez les jeunes enfants.

Le MCHAT est loin d'être un outil de dépistage à part, le paysage actuel du dépistage repose sur une pléthore de questionnaires standardisés comme présenté dans la table 4.1, chacun présentant ses propres avantages et limitations. La diversité des instruments, tant en termes de nombre de questions que de méthodes d'évaluation, soulève des préoccupations quant à la fiabilité et à l'universalité de ces outils dans la détection des traits autistiques.

Raccourci	Nom Complet	Age cible
23Q[105]	23-item screener	2-9 ans
ABC[52]	Autism Behavior Checklist	2-14 ans
ADEC[182]	Autism Detection in Early Childhood	1-3 ans
AOSI[31]	Autism Observation Scale for Infants	6-18 mois
AQ[5]	Australian Scale for Asperger's Syndrome	4-11 ans
ASAS[15]	Australian Scale for Asperger's Syndrome	5 ans+
ASRS-SF[73]	Autism Spectrum Rating Scales Short Form	2-5 ans
ASSQ[154]	Autism Spectrum Screening Questionnaire	7-16 ans

A-TAQ[84]	Autism-Tics, AD/HD, and other Comorbidities (A-TAC) Inventory	6-19 ans
BISCUIT[152]	Baby and Infant Screen for Children with Autism Traits	17-37 mois
BITSEA[28]	Brief Infant Toddler Social Emotional Assessment	12-36 mois
CARS-2[26]	Childhood Autism Rating Scale 2nd Edition	24 mois+
CASD[156]	Checklist for Autism Spectrum Disorders	1-16 ans
CAST[7]	Childhood Asperger's Syndrome Test	4-11 ans
CESDD[49]	Checklist of Early Signs of Developmental Disorders	3-36 mois
CHAT[17]	Checklist for Autism in Toddlers	18-24 mois
DBC-ASA[27]	Development Behavior Checklist-Autism Screening Algorithm	4-18 ans
DBC-ES[76]	Development Behavior Checklist-Early Screen	18-48 mois
ESAT[242]	Early Screening of Autistic Traits	14-15 mois
FYI[253]	First Year Inventory	12 mois
GADS[155]	Gilliam Asperger's Disorder Scale	14-15 mois
GARS-3[223]	Gilliam Autism Rating Scale 3rd Edition	3-22 ans
HIVA[222]	HIVA	3-11 ans
INCLen-ASD[104]	INCLen Diagnostic Tool for Autism Spectrum Disorder	2-9 ans
ISAA[180]	Indian Scale for Assessment of Autism	3-22 ans
KADI[34]	Krug Asperger's Disorder Index	6-12 ans
M-CHAT[213]	Modified CHECKlist for Autism in Toddlers	16-30 mois
M-CHAT R/F[212]	Modified CHECKlist for Autism Revised with Follow-Up	16-30 mois
PDDST[228]	Pervasive Developmental Disorders Screening Test	12-48 mois
PAAS[197]	Pictorial Autism Assessment Schedule	18-48 mois
POSI[232]	Parent's Observation of Social Interactions	16-30 mois
Q-CHAT[6]	Quantitative Checklist for Autism in Toddlers	18-24 mois
RITA-T[39]	Rapid Interactive Screening Test for Autism in Toddlers	4 ans
SCDC[230]	Social and Communication Disorders Checklist	5-17 ans
SCQ[191]	Social Communication Questionnaire	4 ans
SORF[268]	Systematic Observation of Red Flags	12-24 mois
SSI[72]	Screen for Social Interaction	24-61 mois
SRS-2[95]	Social Responsiveness Scale	2.5-18 ans
STAT[239]	Screening Tool for Autism in Toddlers	24-35 mois
TIDOS[190]	Three-Item Direct Observation Screen	18-60 mois

TABLE 4.1 – Instruments de dépistage du trouble du spectre de l'autisme [148]

Les questionnaires standardisés actuels varient considérablement, tant dans leur portée que dans leur approche diagnostique. Certains sont succincts, contenant un nombre restreint de questions comme le Q-CHAT [6], tandis que d'autres sont plus exhaustifs, atteignant parfois les 96 questions comme le A-TAC [120].

Cette disparité dans les questionnaires standardisés soulève une question cruciale : quel est l'outil le plus fiable et efficace pour le dépistage précoce de l'autisme ? À ce jour, une analyse exhaustive comparant ces instruments fait défaut, entravant ainsi la progression vers une méthode de dépistage universellement acceptée et robuste.

4.1.3 Hypothèse

Dans ce contexte, Nous proposons une approche novatrice visant à aborder ces lacunes. Nous cherchons à dépasser les limitations des questionnaires existants en élaborant un questionnaire hybride universel. Cette proposition repose sur l'hypothèse que la sélection et la combinaison stratégique de questions spécifiques de différents questionnaires standardisés peuvent aboutir à un outil de dépistage plus précis et équilibré. Nous visons un outil hybride, conçu pour maximiser la sensibilité et la spécificité, et qui pourrait offrir une solution à la fois inclusive et améliorée pour le dépistage des TSA.

Nous formulons l'hypothèse selon laquelle, en intégrant stratégiquement des éléments de questionnaires standardisés spécifiques, il est envisageable de créer un questionnaire hybride universel surpassant les limites des instruments existants pour le dépistage de l'autisme. Cette combinaison sera guidée par des critères de sélection rigoureux, favorisant les questions démontrant une sensibilité et une spécificité élevées.

Nous supposons que ce questionnaire hybride universel, en tirant parti des forces de différents questionnaires existants tout en atténuant leurs faiblesses respectives, sera en mesure de fournir une évaluation plus précise et équilibrée des traits autistiques. Cette approche novatrice vise à maximiser la couverture des caractéristiques diagnostiques tout en minimisant les taux de faux positifs, améliorant ainsi la précision globale du dépistage.

Le processus de sélection des questions pour le questionnaire hybride sera basé sur une analyse approfondie des performances individuelles de chaque question au sein des questionnaires d'origine. Les critères de sélection incluront la spécificité de chaque question à détecter des traits autistiques spécifiques, la cohérence interne avec d'autres questions, et la capacité à minimiser les biais culturels ou linguistiques potentiels.

En appliquant cette approche, nous anticipons que le questionnaire hybride universel ne se contente pas de consolider les avantages des questionnaires existants, mais qu'il génère également une synergie, dépassant ainsi les performances individuelles des questionnaires d'origine. Ce questionnaire hybride sera ensuite évalué sur une cohorte de cas confirmés d'autisme, permettant la collecte de données étiquetées de manière plus précise pour alimenter le développement ultérieur de méthodes d'évaluation basées sur le machine learning.

4.1.4 Approche à trois niveaux

Afin de concrétiser notre hypothèse, une infrastructure méthodologique en forme de pipeline à trois niveaux a été instaurée. Cette infrastructure, conçue avec rigueur, vise à établir un processus systématique et transparent pour la création du questionnaire hybride universel.

4.1.4.1 Niveau I : Pré-sélection des Questionnaires

Au premier niveau du pipeline, une étape cruciale de pré-sélection des questionnaires est initiée. Cette phase repose sur des critères globaux, englobant des aspects tels que la spécificité de l'outil, sa disponibilité sur le marché, son utilisation répandue, et d'autres caractéristiques essentielles. Ces critères sont conçus avec une perspective holistique, prenant en compte les différentes facettes qui influencent la pertinence d'un questionnaire dans le contexte du dépistage de l'autisme. La sélection initiale des questionnaires repose sur cinq critères globaux :

- **Spécificité de l'outil** : Les questionnaires sont évalués en fonction de leur capacité à cibler spécifiquement les caractéristiques liées à l'autisme, minimisant les risques de résultats faussés.
- **Disponibilité dans la littérature** : Nous considérons par ce critère la facilité d'accès à l'outil, l'inclusion est basée sur l'accessibilité, les conditions d'utilisation ainsi que la licence de distribution.
- **Validité** : Les questionnaires sont soumis à une évaluation rigoureuse de leur validité, garantissant leur capacité à mesurer de manière précise les traits autistiques.
- **Pertinence en littérature** : Nous considérons la variété des contextes dans lesquels chaque questionnaire a été utilisé, l'inclusion est basée sur la fréquence d'utilisation et de citation dans la littérature spécialisée, assurant une reconnaissance et une acceptation accrues.
- **Facilité d'utilisation** : La facilité d'utilisation des questionnaires est évaluée, tenant compte de la simplicité de leur administration et de leur interprétation, pour garantir une application pratique dans divers milieux cliniques.

Les critères de pré-sélection comprennent plusieurs sous-critères, chacun étant configurable en fonction des objectifs spécifiques recherchés. Par exemple, la spécificité de l'outil pourrait être décomposée en sous-critères tels que la fourchette d'âge, la capacité à identifier des traits autistiques spécifiques, et la minimisation des biais culturels ou linguistiques. Ces sous-critères sont assortis de contraintes sélectives modulables, permettant ainsi une adaptation précise aux exigences de la recherche. La figure 4.2 démontre la structure du système de présélection expliqué.

Le niveau un du pipeline vise à créer un ensemble restreint et pertinent de questionnaires répondant aux critères globaux établis. Cette pré-sélection sert de base solide pour le niveau suivant du pipeline, où les questions spécifiques de chaque questionnaire seront évaluées et combinées pour former le questionnaire hybride universel.

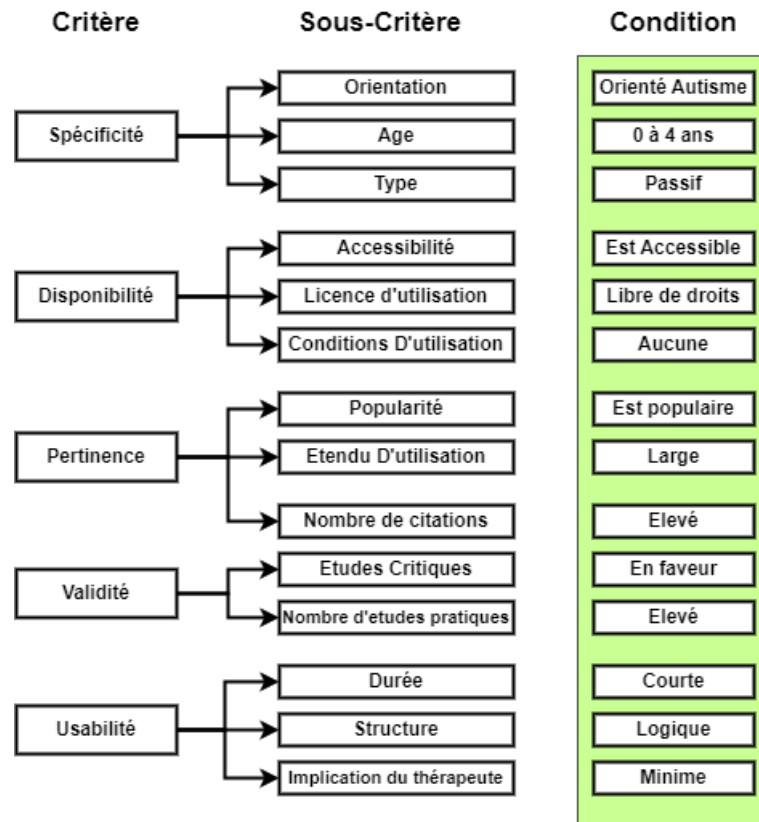


FIGURE 4.2 – Pipeline pré-sélectif [82]

4.1.4.2 Niveau II : Hybridation Sémantique

L'hybridation sémantique constitue une étape cruciale dans le développement de notre questionnaire de dépistage de l'autisme. Cette phase vise à créer un outil plus efficient en consolidant les forces des questionnaires sélectionnés au niveau 1 tout en éliminant les redondances et en adaptant les éléments spécifiques. Pour parvenir à un questionnaire consolidé et optimisé, la phase de l'hybridation sémantique comprend les étapes suivantes [82] :

- **Élimination de la redondance** : Les questions similaires ou répétitives entre les questionnaires sont identifiées et consolidées, éliminant la redondance et optimisant l'efficacité du questionnaire final.
- **Combinaison sémantique** : Les questions sémantiquement proches sont regroupées, préservant l'essence des concepts tout en réduisant le nombre total de questions, favorisant une approche plus concise et précise.
- **Suppression d'éléments culturellement spécifiques** : Les éléments de questions liés à une culture spécifique sont évalués et adaptés pour assurer une applicabilité transculturelle, renforçant la validité du questionnaire dans des contextes divers.
- **Optimisation de la cohérence** : Une attention particulière est portée à l'assurance de la cohérence sémantique et conceptuelle entre les questions, contribuant à la clarté et à la compréhension homogène du questionnaire.

Les 4 étapes décrites sont schématisées dans la figure 4.3

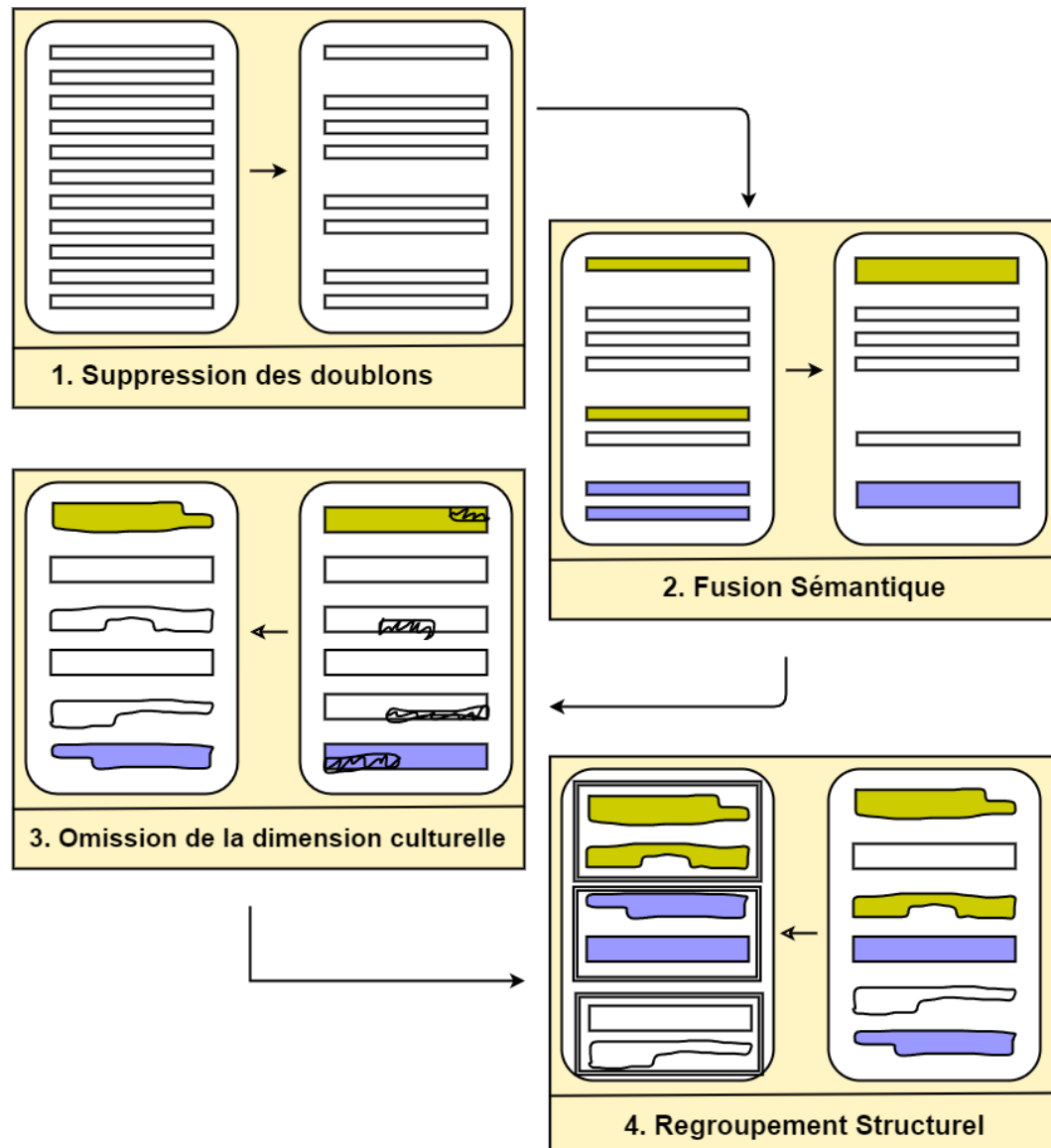


FIGURE 4.3 – Hybridation Sémantique

4.1.4.3 Niveau III : Fonction d'évaluation

Le troisième niveau de notre approche constitue une phase cruciale où la technologie du machine learning est intégrée pour développer une fonction d'évaluation performante. En utilisant un ensemble de données formé sur une population diagnostiquée, cette phase vise à créer un modèle prédictif capable d'identifier efficacement les traits autistiques à partir des réponses au questionnaire de dépistage élaboré dans les niveaux précédents. Afin de créer la fonction d'évaluation, trois phases sont nécessaires [82] :

- **Formation du Dataset :** Un ensemble de données est constitué en utilisant les réponses au questionnaire de dépistage sur une population diagnostiquée comme autiste ou non autiste. Cet ensemble de données est soigneusement élaboré pour garantir une représentation équilibrée des deux groupes.
- **Choix de l'Algorithme de Machine Learning :** Un algorithme de machine learning approprié est sélectionné en fonction des caractéristiques du dataset. Les méthodes telles que les réseaux de neurones, les machines à vecteurs de support

(SVM), ou les arbres de décision peuvent être envisagés.

- **Entraînement et validation du Modèle** : Le modèle est entraîné sur le dataset en utilisant les réponses au questionnaire comme variables d'entrée et les diagnostics comme variable cible. L'objectif est de développer un modèle capable de prédire avec précision si un individu présente des traits autistiques. Une validation croisée est effectuée pour évaluer la robustesse du modèle en utilisant différentes portions du dataset pour l'entraînement et la validation. Cela permet de s'assurer que le modèle généralise bien au-delà des données d'entraînement spécifiques.

Les étapes décrites sont schématisées dans la figure 4.4

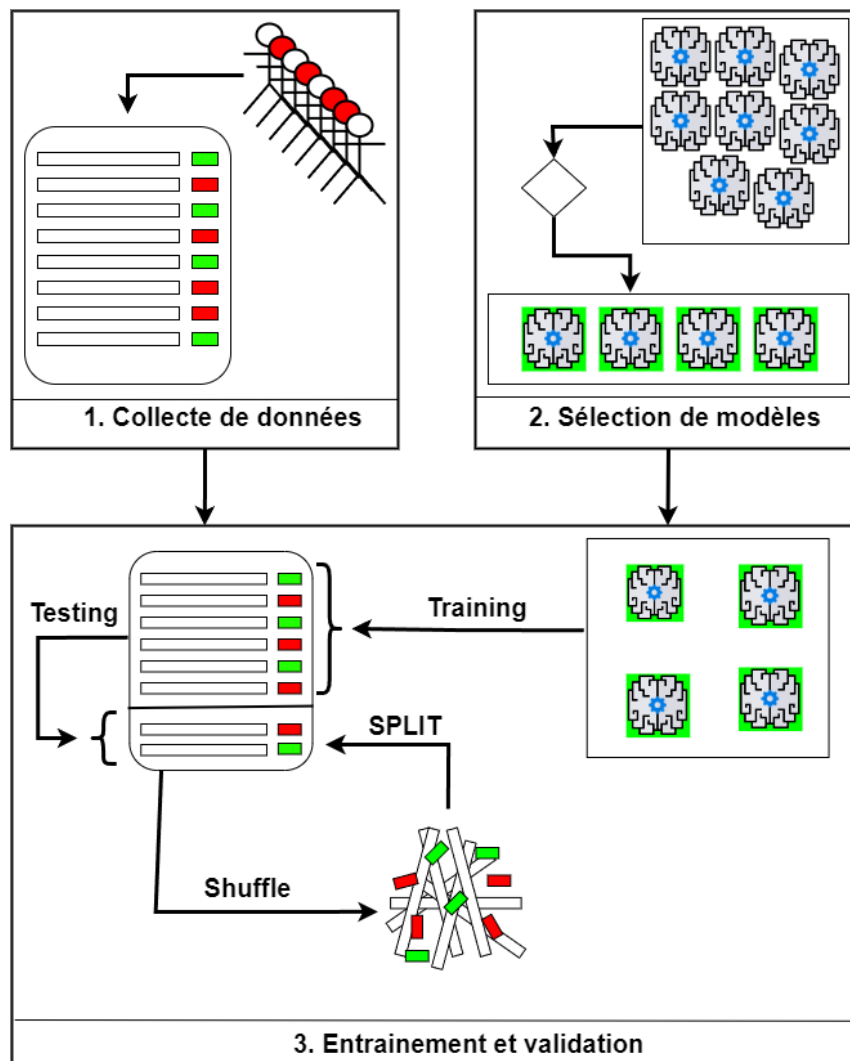


FIGURE 4.4 – Processus de création de fonction d'évaluation

4.1.5 Setup Expérimental

En appliquant avec rigueur les critères sélectifs du premier niveau de notre démarche, nous avons réussi à identifier et extraire dix questionnaires qui répondent de manière optimale aux critères et sous-critères préalablement définis. Les dix outils retenus sont présentés dans le tableau 4.2.

Questionnaire	Année	Nombre d'items
Autism Spectrum Quotient Child Version (ASQ)	2012	50
The Childhood Asperger Syndrom Test (CAST)	2007	37
Checklist of Early Signs of Developmental Disorders (CESDD)	2010	12
Early Screening of Autistic Traits (ESAT)	2006	14
Parent's Observation of Social interaction (POSI)	2013	7
Quantitative Checklist for Autism in Toddlers (QCHAT)	2008	25
Screen For Social Interaction-Toddlers (SSI-T)	2011	21
Pictorial Autism Assessment Schedule (PAAS)	2017	21
First Year Inventory (FYI)	2013	63
Modified CHecklist for Autism (MCHATR/F)	2014	20

TABLE 4.2 – Outils sélectionnés [82]

Par la suite, nous avons procédé à la fusion de ces questionnaires en suivant les trois premières étapes du niveau 2 de notre approche, c'est-à-dire en veillant à éliminer les redondances, à généraliser les questions connexes et à omettre les facteurs culturels spécifiques. Ce processus a abouti à la création d'un questionnaire hybride comprenant 51 éléments, évalués selon l'échelle de Likert (voir annexe B) [184]. En appliquant la dernière étape du niveau 2, nous avons réparti les éléments du questionnaire hybride en huit catégories distinctes. Le tableau 4.3 présente ces catégories avec un exemple de question pour chacune d'elles.

Catégorie	Exemple de Question
Orientation sociale et communication réceptive (9 éléments)	Votre enfant semble-t-il s'intéresser aux autres enfants de son âge ?
Communication expressive (7 éléments)	Votre enfant essaie-t-il d'attirer votre attention pour vous montrer quelque chose d'intéressant ?
Engagement social et affectif (10 éléments)	Votre enfant réciproque-t-il vos gestes d'affection ?
Comportements répétitifs (9 éléments)	Votre enfant balance-t-il son corps de manière répétée ?
Réactivité (2 éléments)	Est-il difficile de calmer votre enfant lorsqu'il est en colère ?
Imitation (4 éléments)	Votre enfant imite-t-il vos gestes faciaux (expressions faciales) ?
Traitement sensoriel (6 éléments)	Votre enfant semble-t-il perturbé par des bruits forts ?
Autres (4 éléments)	Votre enfant a-t-il un regard vide (un visage neutre) ?

TABLE 4.3 – Catégories et exemples de questions

Un processus de collecte de données a été initié localement dans plusieurs institutions spécialisées, notamment des hôpitaux, des centres spécialisés pour enfants autistes, des cabinets de praticiens indépendants et des associations, etc. L'objectif de cette collecte de données est de générer deux types d'enregistrements :

- Enfants déjà diagnostiqués et confirmés comme autistes.
- Enfants en bonne santé confirmés.

Nous avons pu recueillir 264 enregistrements (124 patients autistes, 140 patients en bonne santé) provenant de 5 zones différentes réparties dans le nord de l'Algérie, comme indiqué dans la figure 4.5.

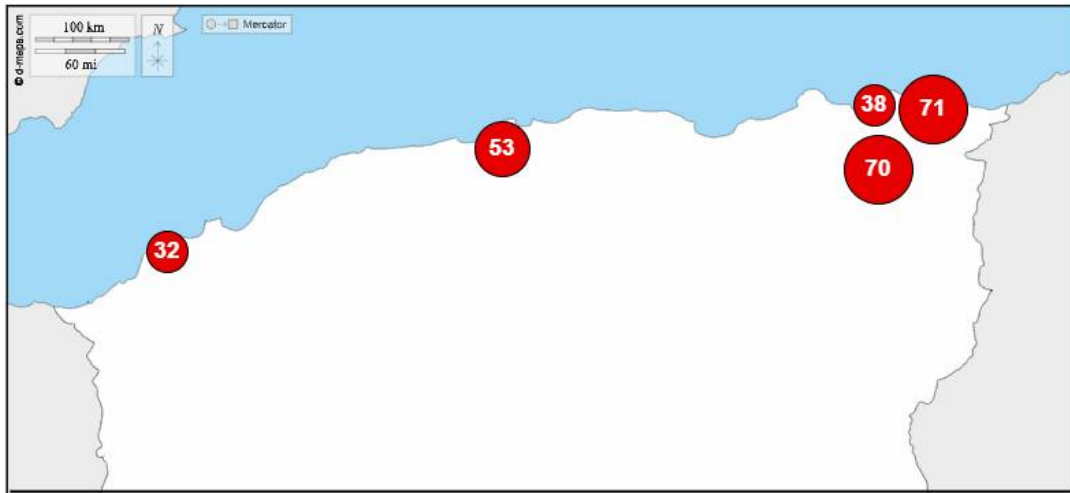


FIGURE 4.5 – Distribution de la collecte [82]

Nous avons élaboré, testé et comparé plusieurs algorithmes d'apprentissage automatique, parmi lesquels la Machine à Vecteurs de Support (SVM), le Random Forests (RF), le K-Means et la régression logistique. L'ensemble de données a été scindé en deux parties, avec 70% réservés à l'entraînement et 30% pour les tests, afin d'évaluer la performance des modèles. Pour chaque algorithme, nous avons réalisé dix exécutions sur une machine équipée d'un processeur Ryzen 5 3500U, d'une carte graphique GEFORCE GTX1060ti et de 16 Go de RAM.

Les résultats obtenus de ces expérimentations sont consignés dans le tableau 4.4. Cette démarche méthodique nous a permis d'évaluer l'efficacité de chaque algorithme dans le contexte spécifique de notre étude. Les performances de chaque modèle sont analysées en détail, ouvrant la voie à des conclusions significatives sur l'adéquation des approches d'apprentissage automatique à notre ensemble de données particulier. Ces résultats constituent une base solide pour orienter la sélection de l'algorithme le plus approprié dans le cadre de notre étude sur l'autisme.

Modèle	Exécution									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SVM	85.2	89.7	97.5	97.5	92.0	86.1	85.2	83.6	90.8	90.8
Random Forest	80.5	80.5	82.4	80.5	82.4	86.1	80.3	79.3	80.5	79.3
K-MEANS	78.6	89.1	89.1	78.2	88.5	88.5	78.2	89.1	86.7	78.4
Logistic Regression	92.6	92.2	93.8	92.3	89.7	87.6	89.8	92.6	90.5	86.3

TABLE 4.4 – Performances des différents modèles sur 10 exécutions

4.1.5.1 Discussion des résultats

À partir des données présentées dans le Tableau 2, il est remarquable de constater les scores de précision très élevés obtenus par les quatre modèles, avec une légère avance pour le modèle SVM qui atteint une précision de 97,5%. Ces résultats mettent en évidence une différence marquée entre les deux groupes d'enfants étudiés, indiquant une modélisation spécifique pour chaque classe. Cette précision élevée suggère également une patternisation distincte pour chaque type d'enfant.

Ces résultats soulignent l'efficacité d'une approche combinatoire utilisant différents outils, permettant ainsi d'obtenir des informations plus riches et de combler les lacunes inhérentes à chaque questionnaire individuel. Cependant, les scores élevés que nous avons obtenus soulèvent la possibilité que les données collectées soient trop déterministes. En d'autres termes, les enfants semblent soit présenter des symptômes autistiques très marqués, soit ne présenter rien de significatif. Cette tendance ne semble pas refléter pleinement la complexité et la diversité des manifestations de l'autisme dans la réalité.

Cette constatation nous pousse à envisager une expansion de notre ensemble de données. Il serait particulièrement bénéfique d'inclure des cas plus complexes, tels que des enfants présentant des troubles comorbides liés à l'autisme, des enfants dont les symptômes sont moins apparents, ainsi que des enfants en bonne santé, mais qui présentent des comportements autistiques attribuables à certains facteurs sociaux, entre autres. En intégrant ces situations plus nuancées, nous espérons obtenir une représentation plus fidèle et complète de la diversité des manifestations de l'autisme dans notre étude.

4.1.5.2 Conclusion et perspective

Cette étude pilote constitue une exploration novatrice dans le domaine de la détection précoce de l'autisme chez les jeunes enfants. Notre approche, fondée sur l'application de techniques d'apprentissage automatique aux données résultant de la fusion de questionnaires de dépistage existants validés par la littérature scientifique, a engendré un outil hybride et polyvalent. Cet instrument englobe de manière exhaustive la plupart des aspects et des observations des questionnaires traditionnels, et les résultats obtenus suscitent un intérêt significatif quant à ses perspectives.

Les objectifs à court terme de notre feuille de route incluent l'expansion de notre ensemble de données et la réduction de la dimensionnalité pour une analyse plus précise. Cependant, notre vision à long terme s'inscrit dans une perspective plus ambitieuse. Nous aspirons au développement de dispositifs concrets et accessibles, agissant comme des instruments de dépistage précoce de l'autisme. Cette initiative, inscrite dans la convergence entre la technologie et la santé, promet des avancées significatives dans la compréhension et la prise en charge précoce des troubles du spectre autistique.

En somme, notre recherche marque une avancée substantielle vers la concrétisation d'une approche novatrice et efficiente pour le dépistage précoce de l'autisme, plaçant la technologie au service de la santé mentale. Nous nourrissons l'espoir que notre travail contribuera de manière tangible à améliorer la qualité de vie des enfants et de leurs familles, tout en jetant les bases de nouveaux standards dans le domaine du dépistage précoce des troubles autistiques.

Chapitre 5

Friendly - Révolutionner la Psychothérapie des Jeunes Autistes : Un framework basé sur l'apprentissage profond pour accompagner les Intervention en Pédo-psychiatrie

5.1 Introduction

L'autisme est un trouble neurodéveloppemental caractérisé par des difficultés dans la communication et les interactions sociales, ainsi que par des comportements répétitifs et des intérêts restreints. Les enfants atteints de ce trouble nécessitent souvent des interventions thérapeutiques intensives et personnalisées pour les aider à développer des compétences sociales et communicatives. Toutefois, ces interventions sont souvent confrontées à des défis majeurs, tels que la résistance à la coopération, l'anxiété induite par les séances de thérapie, et la difficulté à établir une relation de confiance avec les thérapeutes.

Dans ce contexte, les technologies avancées telles que l'apprentissage profond et l'intelligence artificielle offrent de nouvelles opportunités pour améliorer les pratiques thérapeutiques. Le projet Friendly a été conçu pour tirer parti de ces technologies en créant un cadre thérapeutique innovant et interactif, spécifiquement adapté aux besoins des enfants autistes. Friendly vise à faciliter l'engagement des enfants dans les séances de thérapie, à réduire leur anxiété et à améliorer l'efficacité des interventions thérapeutiques.

Ce chapitre explore en profondeur la motivation et la philosophie derrière Friendly, en se concentrant sur la conception et l'architecture du système. Il présente également les résultats des expérimentations menées avec ce cadre, mettant en évidence les avantages potentiels de l'utilisation de technologies d'apprentissage profond dans la psychothérapie des jeunes autistes. En s'appuyant sur des observations empiriques et des études de cas, ce chapitre démontre comment Friendly peut révolutionner la manière dont les interventions thérapeutiques sont menées, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour améliorer la qualité de vie des enfants autistes et de leurs familles.

5.2 Contextualisation et problématique

Les programmes de soins et de suivi destinés aux enfants autistes sont généralement conçus pour offrir des séances de thérapie comprenant des activités éducatives étroitement surveillées, spécifiquement dédiées à chaque enfant [86]. L'objectif principal de ces séances est de permettre aux enfants atteints d'autisme de développer des compétences sociales et d'améliorer leur capacité à communiquer avec les autres [93].

Étant donné que chaque enfant autiste est considéré comme un cas unique, les résultats escomptés varient d'un individu à l'autre. Les obstacles principaux rencontrés au cours de ces séances de thérapie résident souvent dans la non-coopération des sujets autistes [131] [99]. Il est difficile de mener des interventions thérapeutiques sans susciter des réactions stressantes ou anxieuses chez les enfants [130], ce qui peut rendre le processus complexe.

Une difficulté supplémentaire réside dans l'établissement d'une relation de confiance avec l'enfant autiste. Malgré les efforts déployés et les méthodes pédagogiques utilisées, gagner la confiance de l'enfant peut s'avérer un défi de taille. Cela s'explique par la nature spécifique des troubles autistiques, qui peuvent rendre la communication et la connexion émotionnelle plus complexes [132] [57].

5.3 Motivations et philosophie de l'approche

Les observations empiriques de plusieurs études [234] [262] [62], suggèrent que les enfants atteints d'autisme présentent une moindre méfiance et une plus grande attraction envers la technologie, et semblent souvent mieux s'adapter et interagir avec des dispositifs technologiques. Cette tendance a des implications potentiellement positives pour la conception et la mise en œuvre de programmes d'intervention et d'apprentissage pour les enfants autistes. Plusieurs facteurs contribuent à l'attrait des enfants autistes pour la technologie :

- **Prévisibilité et Structuration** : Les environnements technologiques offrent souvent un degré élevé de prévisibilité et de structuration. Pour les enfants autistes qui peuvent être sensibles aux stimuli imprévisibles de leur environnement, la technologie peut fournir un cadre plus ordonné et prévisible, favorisant ainsi leur confort.
- **Feedback Consistant** : Les dispositifs technologiques fournissent un feedback cohérent et immédiat. Cette constance peut être rassurante pour les enfants autistes, car elle crée un environnement où les réponses aux actions sont fiables et prédictibles, facilitant ainsi l'apprentissage.
- **Visualisation et Supports Visuels** : La technologie offre souvent des supports visuels, qui sont souvent bénéfiques pour les enfants autistes, qui peuvent présenter des préférences ou des aptitudes particulièrement fortes dans le traitement visuel de l'information. Des éléments visuels peuvent rendre l'apprentissage et la communication plus accessibles.
- **Absence de Facteurs Sociaux Complexes** : Les interactions avec la technologie impliquent souvent moins de complexités sociales par rapport aux interactions humaines. Pour les enfants autistes qui peuvent avoir des difficultés avec les compétences sociales, la technologie offre un environnement où ces défis sociaux sont réduits.
- **Réduction de l'Anxiété** : Les dispositifs technologiques peuvent réduire l'anxiété en offrant un espace sécurisé et contrôlable. L'absence d'ambiguïté sociale

et la capacité à réguler leur environnement peuvent aider à diminuer le niveau d'anxiété chez les enfants autistes.

Dans le cadre de cette initiative, un framework intégrant un chatbot contextuel intelligent basé sur l'apprentissage profond a été élaboré et mis en œuvre. Ce chatbot, dénommé 'Friendly', a pour objectif principal de servir de compagnon thérapeutique, collaborant avec les professionnels afin de faciliter la compréhension de la situation et de l'environnement par l'enfant au moyen d'une interface textuelle. L'objectif fondamental de ce système est de promouvoir l'ouverture des enfants, de leur fournir un sentiment de confort, et de renforcer leur confiance au cours des séances de thérapie.

Les objectifs inhérents à la mise en œuvre du chatbot intelligent se déclinent selon trois axes complémentaires :

- **Stimuler le développement d'intentions de communication** : Le Chatbot vise à encourager l'enfant à entrer en communication avec un assistant "non humain", lui permettant ainsi de formuler des demandes simples. Par la suite, le Chatbot peut guider l'enfant autiste dans le développement d'autres compétences, telles que formuler des commentaires ou saluer. Pour ce faire, l'outil que nous suggérons doit avoir la capacité d'organiser l'environnement de l'enfant, facilitant ainsi la formulation de demandes et encourageant l'expression spontanée.
- **Améliorer la réciprocité de la communication** : Nous sommes convaincus que la communication se forge à travers les interactions que l'enfant établit avec le Chatbot. Au cours de ces échanges, l'enfant découvre le plaisir d'être en compagnie d'un assistant. L'utilisation de l'outil lui permet de comprendre que ses actions peuvent influencer autrui et lui enseigne que la communication est un processus bilatéral. Grâce au dialogue, l'outil que nous proposons place l'enfant au centre de l'attention en mettant l'accent sur ses préférences et centres d'intérêt.
- **Aider l'enfant à développer de nouvelles formes d'expression** : L'enfant autiste peut souvent s'exprimer de manière non interactive, par exemple en criant ou en tirant le bras de ses parents. Notre objectif est de substituer ces moyens d'expression par des interactions avec le Chatbot, encourageant ainsi des formes plus adaptées et socialement acceptées de communication.

5.4 Conception et architecture du système

La conceptualisation de notre contribution offre une perspective globale du système, permettant une appréhension approfondie de ses aspects fondamentaux. Cette démarche vise à envisager le système de manière exhaustive, couvrant l'ensemble des besoins fonctionnels anticipés. Notre apport ne se résume pas uniquement au développement d'un simple chatbot, mais s'étend à la création d'un système complexe et évolutif, offrant une palette variée de fonctionnalités pour la réalisation de tâches spécifiques. Le chatbot lui-même représente seulement l'une de ces fonctionnalités.

La structure du système repose sur quatre modules complémentaires, œuvrant en synergie. Chaque module est dédié à l'accomplissement d'un ensemble spécifique de tâches partageant un contexte et un objectif communs [81].

5.4.1 Module d'apprentissage

L'apprentissage constitue une phase cruciale dans la mise en œuvre de systèmes basés sur des techniques d'intelligence artificielle. Il consiste à entraîner un modèle

pour accroître sa capacité à faire des prédictions robustes sur de nouvelles données. Le module d'apprentissage est le module responsable de la création et de la formation de notre modèle d'apprentissage profond. Une fois entraîné, le modèle doit être en mesure de répondre correctement aux requêtes de l'utilisateur et de mener une discussion en fonction du contexte du dialogue. Comme tout système basé sur l'apprentissage profond, la performance du module d'apprentissage dépend fortement de la quantité, mais aussi de la qualité des données utilisées dans la phase d'apprentissage. Ce module prend en entrée un message de l'utilisateur et génère en résultat une ou plusieurs réponses en fonction du contexte de la discussion. Le module d'apprentissage se compose de quatre sous-modules complémentaires. La sortie de chaque sous-module est l'entrée pour le suivant (voir figure 5.1).

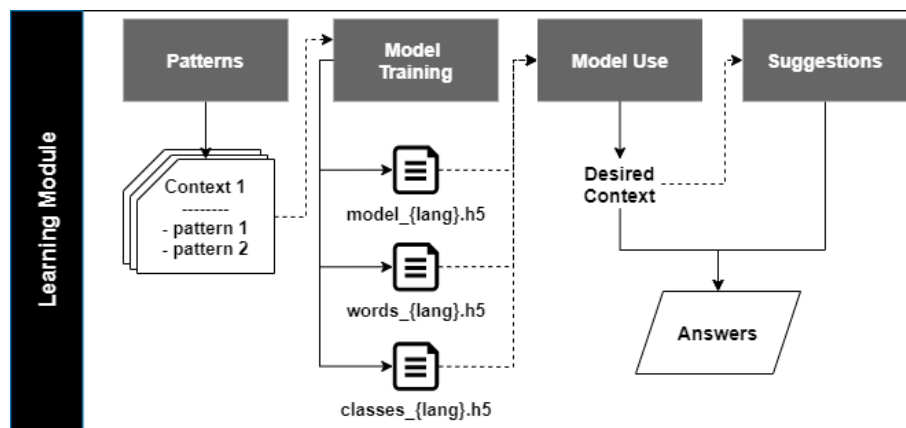


FIGURE 5.1 – Module D'apprentissage

Ces sous-modules sont les suivants :

1. **Sous-module de gestion de patterns** : Dans notre approche, un pattern représente l'ensemble des formes possibles de messages attendus par l'utilisateur. Un ensemble de patterns contribuera à la définition d'un contexte de dialogue. À cette fin, l'objectif de ce sous-module est de préparer, normaliser et organiser l'ensemble des données qui seront utilisées par le sous-module d'apprentissage. Il commence par acquérir tous les patterns disponibles avec leurs contextes respectifs, organisés dans un dictionnaire sous forme de paires "contexte/pattern". Une phase de normalisation élimine les symboles non essentiels (ex : ponctuation). Lorsqu'un utilisateur initie une discussion, par exemple avec "Bonjour, comment ça va?", ce message est normalisé et transformé en "Salutation / Bonjour comment ça va", où 'Salutation' est le contexte. La sortie est un dictionnaire de paires (contexte/pattern) utilisé pour alimenter le sous-module d'apprentissage (voir figure 5.2a).
2. **Sous-module d'apprentissage** : Le sous-module d'apprentissage vise à organiser l'ensemble des données qui seront utilisées pour l'entraînement en tant qu'entrées/sorties :
 - Les entrées sont les ensembles de mots constituant les patterns.
 - Les sorties sont les contextes auxquels appartient les entrées, avec une taille égale au nombre de contextes existants.

Le résultat de ce sous-module sera la création de plusieurs motifs en fonction de la langue dans laquelle les données utilisées dans l'entraînement sont représentées. Lors de l'utilisation du modèle, le système peut prendre en charge deux versions du modèle d'entraînement (soit une version de développement visant à

tester les performances du nouveau modèle, soit une version de production qui sera utilisée directement par tous les utilisateurs). La figure 5.2b décrit le principe de fonctionnement du sous-module d'apprentissage.

3. **Sous-module d'exploitation** : Ce sous-module (voir Figure 5.2c) prend en entrée l'un des modèles générés par notre système et l'utilise pour interagir avec l'utilisateur (enfant autiste) en répondant à ses questions afin de développer ses compétences en communication et sa capacité à tenir un dialogue. Comme mentionné dans la section précédente, le système prend en charge deux versions de chaque modèle : la première version est la version de développement, qui est une alternative de test utilisée par l'administrateur pour expérimenter les performances. La seconde est la version de production accessible par les utilisateurs. Ce mécanisme sera expliqué en détail dans la section concernant le module de gestion des versions. L'utilisation d'un modèle passe par une série d'étapes, elle commence par la récupération du message envoyé par l'utilisateur du chatbot pour initier la discussion. Ce message peut être une phrase rédigée en langage naturel. Le système procède à la récupération de ce message en tant qu'entrée et le transforme en un format numérique. Le système l'introduira ensuite en tant qu'entrée pour notre modèle entraîné, qui prédira le contexte approprié puis choisira une réponse aléatoire parmi un ensemble de réponses appartenant à ce contexte.
4. **Sous-module de gestion des suggestions** : Ce sous-module se charge de générer et d'afficher des propositions de dialogue à l'utilisateur du chatbot. Ces propositions contribuent à garantir la continuité du dialogue. Il prend en entrée le contexte de la discussion identifié par le sous-module précédent et procède à la récupération de tous les contextes liés à celui auquel appartient le message de l'utilisateur. À partir de cette liste, le système affiche un ensemble de propositions ou suggestions pour poursuivre la conversation avec l'utilisateur.

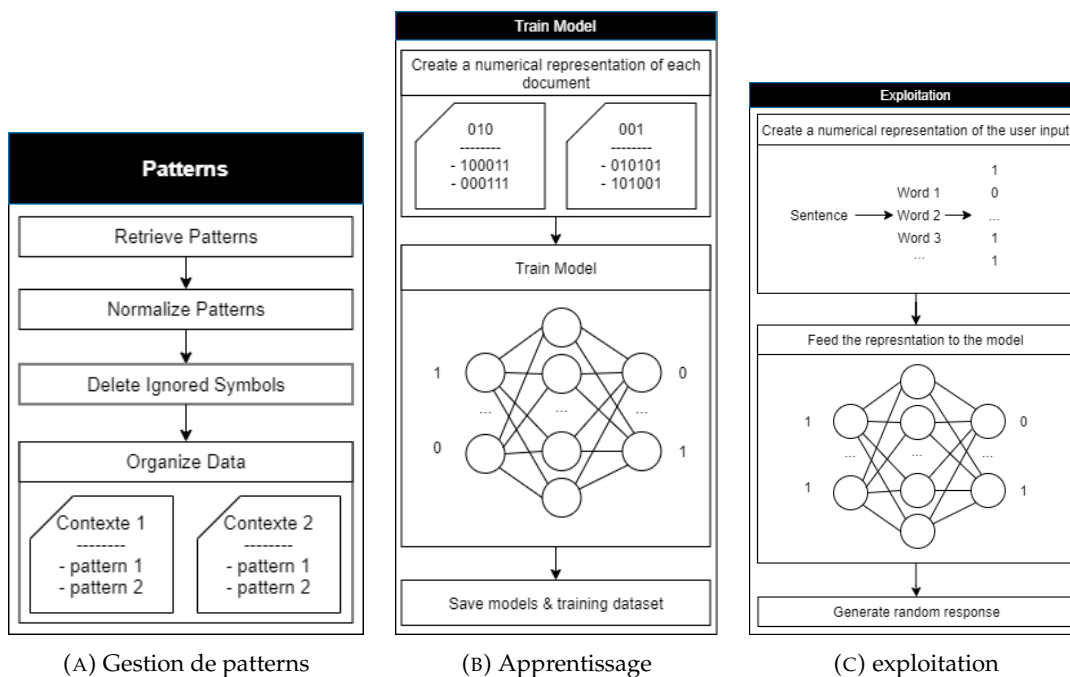


FIGURE 5.2 – Ensemble des sous modules d'apprentissage

5.4.1.1 Module de Gestion des Contributions

Dans le cadre de notre approche, une contribution se définit comme l'ensemble des données proposées par les professionnels de la santé et divers acteurs œuvrant dans le domaine de l'autisme. Ces contributions sont destinées à l'entraînement des différents modèles employés par notre système. Elles se composent principalement d'un ensemble de patterns, de messages de réponse utilisés par le chatbot, et de propositions de dialogue visant à assurer la continuité des échanges avec l'enfant autiste. L'objectif primordial de ce module réside dans la collecte de contributions en vue d'enrichir la base de données des contextes de dialogue. Ce processus d'enrichissement requiert l'intervention d'experts spécialisés dans le domaine de l'autisme, tels que des pédopsychiatres, des psychologues, et d'autres praticiens qualifiés. Par ailleurs, le module impose la validation rigoureuse de l'ensemble des contributions suggérées. À cette fin, nous avons intégré à notre proposition des acteurs désignés sous l'appellation de 'modérateurs'. Ces derniers assurent la vérification et la validation des nouvelles contributions. Les contributions validées sont ensuite employées en tant qu'entrées pour le module d'apprentissage, afin de procéder à l'entraînement sur de nouvelles collections de données. La figure 5.3 expose le fonctionnement détaillé du module de gestion des contributions.

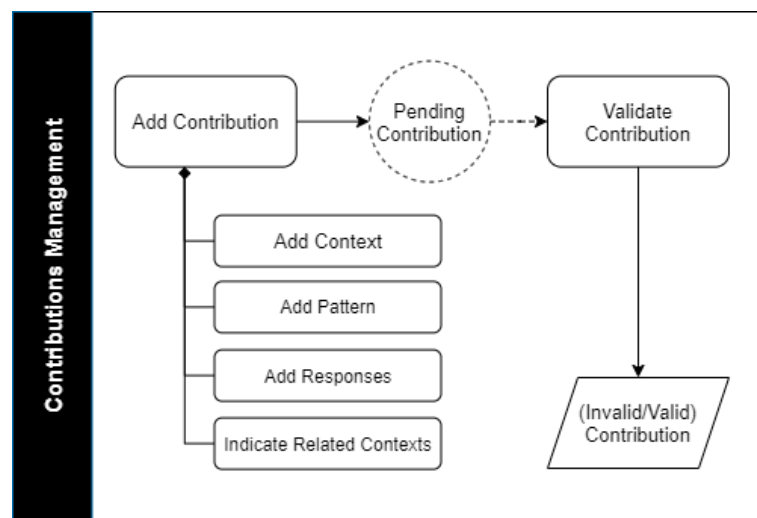


FIGURE 5.3 – Module de Gestion des Contributions

5.4.1.2 Module de Gestion des Données Externes

Dans le dessein d'enrichir la base de données des contextes de dialogue, nous introduisons ce module dédié à l'importation de données en provenance d'une source externe. Le format de ces données doit être conforme aux normes adoptées pour le fonctionnement du système. La procédure implique l'extraction des données à partir de fichiers externes, suivie de leur intégration dans la base de données des contextes de dialogue, en vue d'une utilisation ultérieure dans le module d'apprentissage en tant que données d'entraînement pour le modèle. Plus précisément, ce module assume l'initialisation des données d'entraînement à partir d'un fichier externe, destiné à servir de motifs pour l'entraînement du modèle, conformément au principe opérationnel exposé antérieurement dans le module d'apprentissage. En effet, pour l'entraînement du modèle, une quantité minimale de données initiales est requise. La figure 5.4 illustre le fonctionnement détaillé du module de gestion des données.

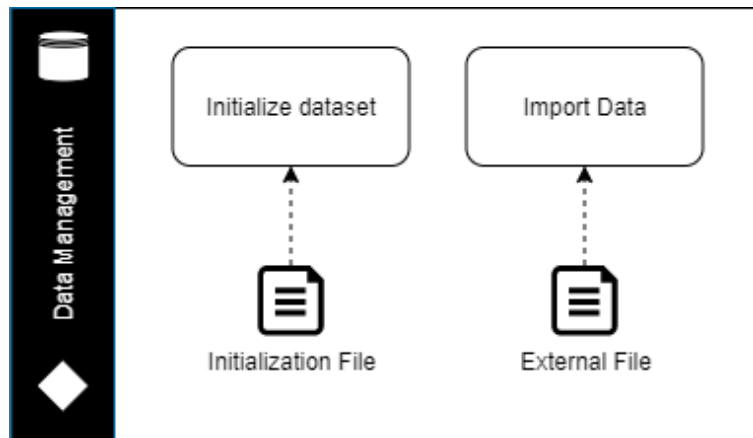


FIGURE 5.4 – Module de Gestion des données externes

5.4.1.3 Module de Gestion des Versions

Comme évoqué précédemment dans la section dédiée au module d'apprentissage, le système prend en charge plusieurs versions du modèle. Ce module a été intégré à l'architecture dans le dessein de superviser les différentes itérations des modèles entraînés. Une fois l'entraînement du modèle complété, ce module intervient pour extraire la version appropriée et l'exploiter dans le sous-module d'exploitation. Pour chaque version du modèle entraîné, le système conserve les diverses itérations avec leurs informations spécifiques, comprenant la date de création et l'identité de l'administrateur. Il initialise également leur statut en "désactivé". Afin de tester une version, l'administrateur doit modifier son statut pour l'activer. Par défaut, le système indiquera qu'il s'agit d'une version de développement, signifiant qu'elle est en phase de test et uniquement accessible par l'administrateur. Une fois la phase d'essai conclue et l'administrateur ayant validé les performances de la version de développement, il procédera à la modification de son statut en version de production. À ce stade, cette version sera chargée dans le sous-module d'exploitation du modèle, devenant ainsi accessible à l'ensemble des utilisateurs du système (voir figure 5.5).

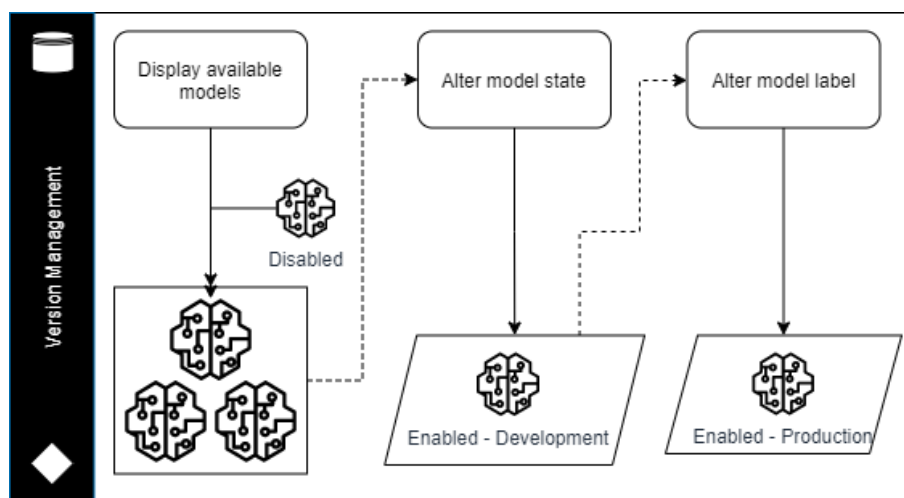


FIGURE 5.5 – Module de Gestion des versions

L'intégration des modules exposés s'inscrit dans le façonnement d'une architecture systémique globale et approfondie. Cette structure architecturale met en lumière les interactions complexes entre les divers modules, comme clairement illustré dans la figure 5.6. Il convient de souligner l'élaboration d'une notation spécifique à la conception de cette architecture, étayée par un lexique de symboles soigneusement défini au bas de la figure. En adoptant cette approche méthodique, nous visons à garantir une représentation exhaustive de l'architecture, permettant aux parties prenantes de saisir intuitivement la complexité et la dynamique des interactions entre les modules. Cette notation sur mesure joue un rôle essentiel dans la communication efficace des principes sous-jacents à l'architecture, contribuant ainsi à une mise en œuvre réussie et à une évolution future du système.

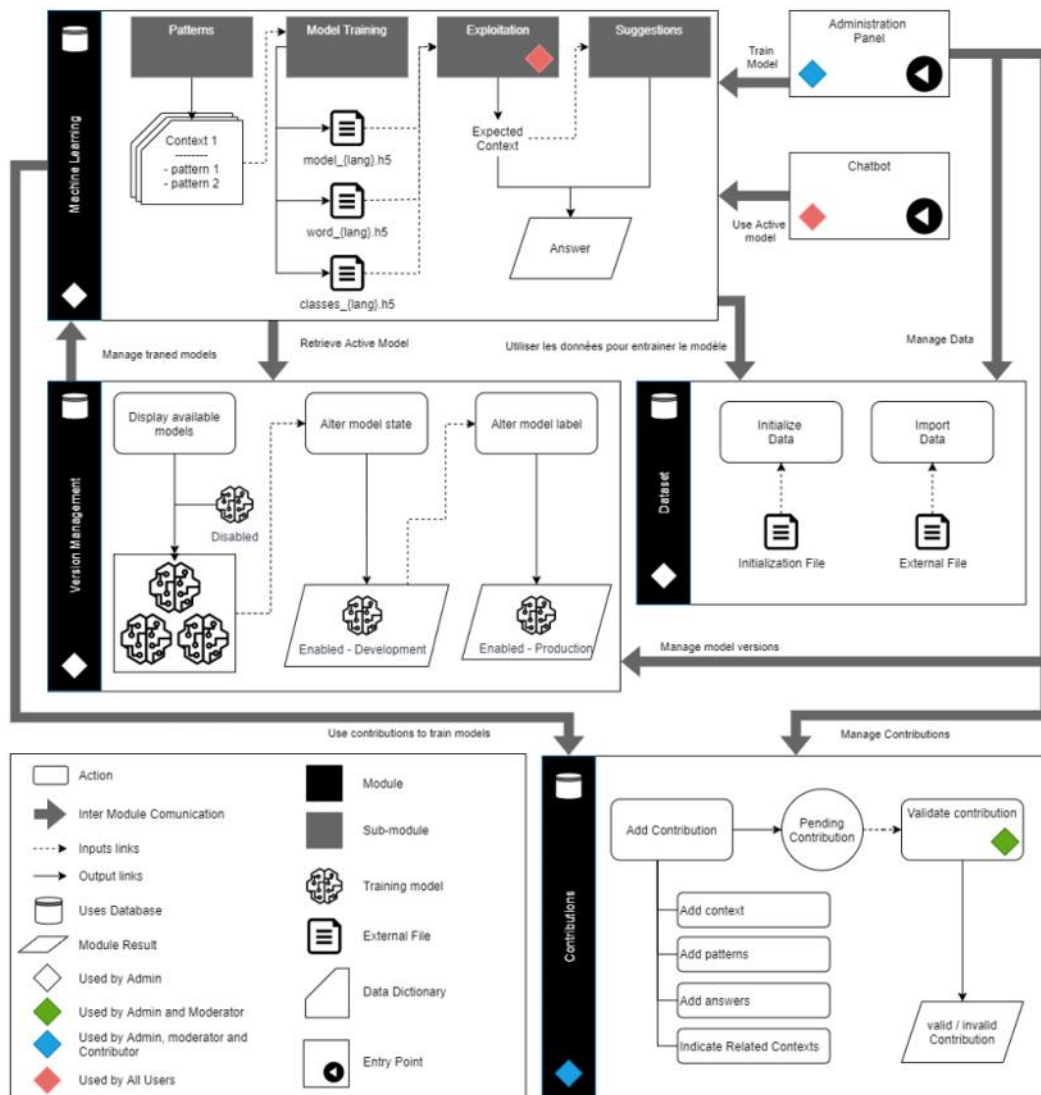


FIGURE 5.6 – Architecture générale

5.5 Topologie, configuration et performances du modèle d'apprentissage profond

5.5.1 Conception de la topologie et motivations

La conception de la topologie du chatbot, fondée sur l'apprentissage profond, offre une gamme variée d'options, incluant les réseaux de neurones à mémoire à court terme (LSTM) [276], les unités récurrentes à portes (GRU) [186], et les couches denses [129]. Après une évaluation rigoureuse des diverses topologies envisageables, notre choix s'est arrêté sur une configuration en couches denses, jugée la plus appropriée pour le système et la seule à même de faire l'objet de tests approfondis. Il convient de souligner que la comparaison entre ces différentes topologies repose sur divers paramètres, qui sont énumérés ci-dessous.

- **Prétraitement des données** : Chaque entrée dans le réseau neuronal est soumise à une phase de prétraitement, minutieusement décrite dans la section dédiée au module de gestion des patterns. La topologie des couches denses s'avère la mieux adaptée au système et au processus de pré-traitement préconisés.
- **Temps d'exécution** : L'approche privilégie la topologie minimisant le temps d'entraînement. Sur le type de données spécifié (clé/valeur), caractérisé par une nature de données peu complexe, les différentes topologies présentent des temps d'exécution quasiment équivalents, la différence demeurant négligeable. Malgré le nombre conséquent de connexions entre les neurones, la topologie des couches denses offre un temps d'exécution respectable.
- **Quantité de données d'entraînement** : La préférence s'est portée sur la topologie générant des résultats optimisés même avec une quantité de données limitée. C'est précisément l'atout majeur de la topologie des couches denses, contrairement à d'autres alternatives qui exigent une volumétrie de données significative.
- **Complexité** : Le système proposé, basé sur la classification contextuelle des messages utilisateur, adopte des données sous la forme de paires clé-valeur. L'avantage inhérent à ce format de données réside dans la minimisation de la complexité, éliminant ainsi le besoin de topologies spécifiques ou excessivement complexes. Cette approche vise à réduire le temps d'exécution et l'utilisation des ressources de manière significative.

Modèle	Prétraitement	Temps d'Exécution	Quantité de Données
LSTM	Non Compatible	Important (Dépend de la taille et structure des données)	Requiert une grande quantité de données
GRU	Non Compatible	Important (Dépend de la taille et structure des données)	Requiert une grande quantité de données
Dense Layers	Compatible	Important (Dépend de la taille et structure des données)	Convient pour des petits ensembles de données

TABLE 5.1 – Comparaison des Topologies de Réseaux Neuronaux

5.5.2 Architecture du Réseau de neurones profond

Le modèle de réseau neuronal affichant les performances optimales se compose de 5 couches : trois couches cachées implémentant la fonction ReLu [16], avec respectivement 512, 512, et 256 nœuds, ainsi qu'une couche de sortie utilisant la fonction softmax [66], composée de 150 nœuds, représentant le nombre effectif de classes de contexte. Les fonctions ReLu et softmax sont définies comme suit :

$$Relu_0 = \max(x, 0) = \begin{cases} x & \text{if } x > 0 \\ 0 & \text{if } x \leq 0 \end{cases} \quad (5.1)$$

$$Softmax(x)_j = \frac{e^{x^{T w_i}}}{\sum_{i=0}^m e^{x^{T w_i}}} \quad (5.2)$$

Où w est le vecteur de poids de la connexion entre la couche du réseau neuronal et la couche softmax, et m est la taille de sortie de la couche softmax. Enfin, pour éviter le surajustement (*overfitting*), des nœuds de suppression (*dropout*) ont été ajoutés aux deux premières couches cachées. La figure 5.7 présente la structure finale du réseau neuronal profond.

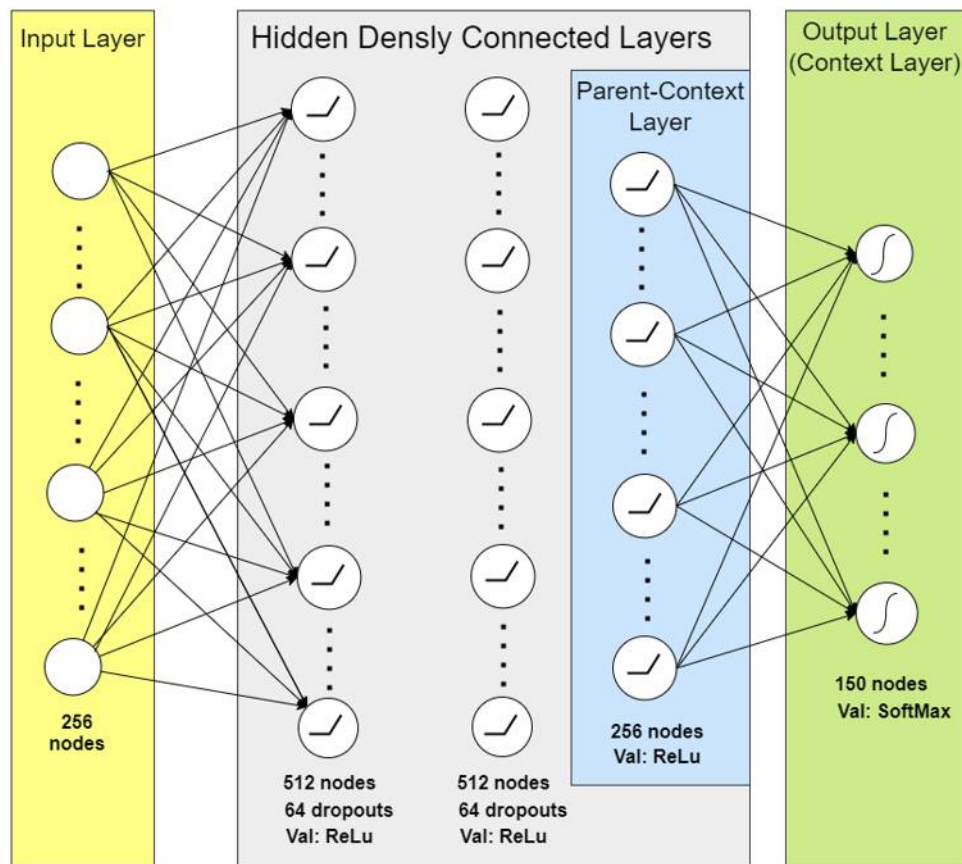


FIGURE 5.7 – Architecture finale du modèle d'apprentissage profond [80]

5.5.3 Aperçu de l'ensemble de données

En raison de la singularité de la problématique, nous avons constaté l'absence d'ensembles de données existants abordant cette question ou présentant une affinité connexe dans la littérature. Par conséquent, nous avons décidé d'élaborer un ensemble de données personnalisé destiné à constituer le socle lexical pour divers chatbots. À cette fin, plusieurs sessions de brainstorming conceptuel ont été organisées, impliquant des praticiens, afin d'extraire les contextes les plus récurrents et communs chez les enfants autistes, basés sur les observations des praticiens lors des séances de thérapie cognitive et comportementale.

Le défi majeur résidait dans l'identification d'un grand nombre de contextes, la conception de différents modèles de phrases susceptibles de les déclencher, et l'élaboration de diverses réponses à ces entrées. En d'autres termes, l'objectif était de concevoir des scénarios de conversation variés, captivants pour les enfants autistes et susceptibles de garder leur attention de manière diversifiée. L'ensemble de données actuel englobe 150 contextes, chacun comportant au moins deux patterns d'entrée. La Figure 5.8 offre une vue d'ensemble des 33 premiers contextes, classés selon le nombre de patterns disponibles.

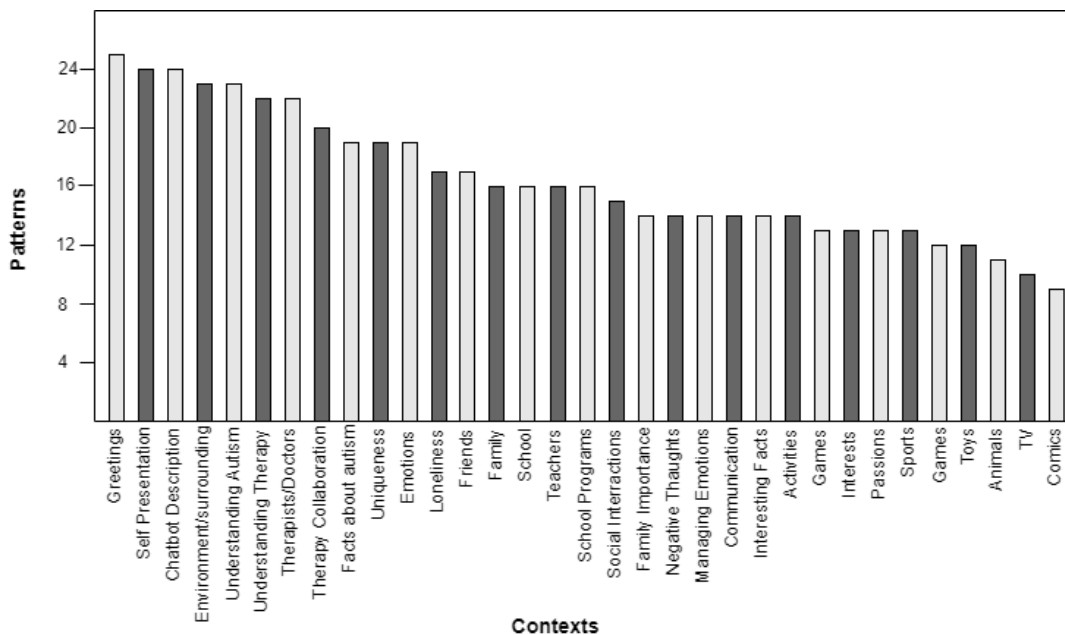


FIGURE 5.8 – Vue d'ensemble du dataset [80]

5.5.4 Performances du modèle

Le Setup d'entraînement était composé d'un CPU Rayzen 5300, 32 Go de RAM et un GPU NVIDIA GEFORCE GTX 1660ti. Le jeu de données a été partitionné en deux ensembles : 70 % pour l'entraînement et 30 % pour la validation. Un cycle d'entraînement a été effectué sur 750 époques, suivi d'une phase de validation. Les cycles ont été répétés 10 fois en remaniant la distribution du jeu de données pour garantir une aléatorisation équitable. Le score de précision obtenu représente la moyenne de la précision sur les 10 cycles. Une précision de 97 % a été atteinte après 350 époques sur les données d'entraînement, tandis qu'une précision de 80,5 % a été obtenue pour les données de validation après 100 époques, comme illustré dans le graphique de précision de la Figure 5.9.

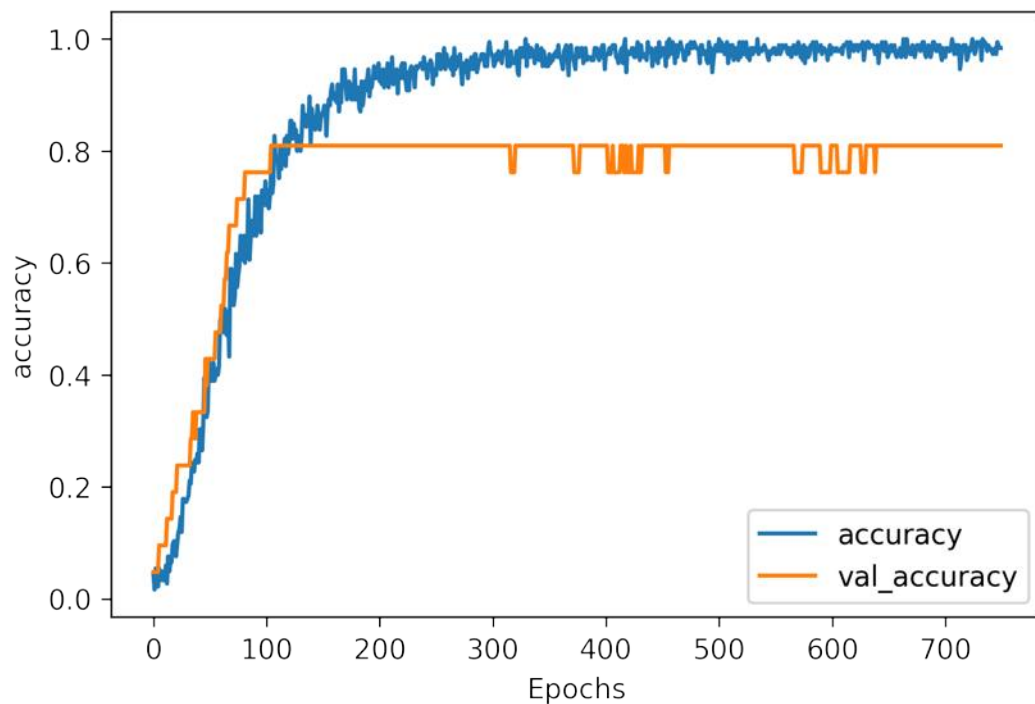


FIGURE 5.9 – Performances du modèle [81]

5.6 Expérimentation en thérapie

5.6.1 Méthodologie de Formation des Groupes et Caractéristiques des Participants :

La méthodologie adoptée pour évaluer l'efficacité de l'outil a impliqué des séances de thérapie en étroite collaboration avec des professionnels indépendants spécialisés, rassemblant des petits groupes d'enfants autistes soigneusement sélectionnés par les praticiens. Lors de ces sessions, des observations détaillées ont été conduites pour analyser les réactions des enfants avant, pendant et après leurs interactions avec le chatbot thérapeutique "Friendly".

Les professionnels ont également été sollicités pour partager leurs évaluations et perspectives concernant l'outil. Ces retours d'expérience ont été recueillis au moyen de questions préalablement élaborées et ciblées, visant à explorer divers aspects tels que l'acceptation du chatbot, son impact sur les enfants, et les éventuelles améliorations suggérées.

Le Tableau 5.2 synthétise de manière succincte les profils des collaborateurs impliqués dans cette étude, offrant ainsi une vue d'ensemble des différentes compétences et spécialisations des intervenants.

Chaque professionnel participant à l'étude est responsable d'un groupe spécifique d'enfants autistes, sélectionnés à partir de leur liste de patients en thérapie. L'attribution des enfants à chaque groupe s'est déroulée en suivant un processus méticuleux afin de garantir la sécurité et la pertinence de l'expérience. Plusieurs critères ont été rigoureusement pris en compte dans la constitution des groupes, notamment l'âge des enfants, la sévérité des symptômes autistiques, la maturité thérapeutique, l'absence de retard significatif dans le développement, ainsi que l'obtention du consentement parental.

Professionnels	Profession	Expérience en TCC pour Enfants	Utilisation Précédente d'Outils Informatisés
P1	Pédo-Psychiatre	7 ans	Oui
P2	Pédo-Psychiatre	7 ans	Non
P3	Pédo-Psychiatre	4 ans	Non
P4	Pédo-Psychiatre	3 ans	Oui
P5	Pédiatre	2 ans	Oui

TABLE 5.2 – Profils des Professionnels

L'objectif principal de cette démarche était d'établir des groupes homogènes, permettant ainsi une comparaison cohérente des réactions et des progrès des enfants au cours de l'interaction avec le chatbot thérapeutique. Les critères de sélection ont été délibérément choisis pour minimiser les variables confondantes et assurer une cohérence dans les résultats.

Le Tableau 5.3 présente la démographie et la répartition de la population des participants par groupes.

Groupes	Population (Garçons/Filles)	Âge
G1	7 (5/2)	10 à 13
G2	5 (4/1)	9 à 12
G3	8 (5/3)	10 à 13
G4	8 (6/2)	10 à 14
G5	7 (5/2)	9 à 11

TABLE 5.3 – Aperçu de la Population

Le déroulement de la séance thérapeutique commence de manière conventionnelle pour chaque patient, suivant un processus bien établi. Par la suite, l'enfant est encouragé à interagir avec le chatbot, qui lui est présenté comme un compagnon virtuel de thérapie. L'objectif sous-jacent est d'initier un échange raisonnablement approprié et partiellement guidé à travers l'interface du framework, comme illustré dans la figure 5.10.

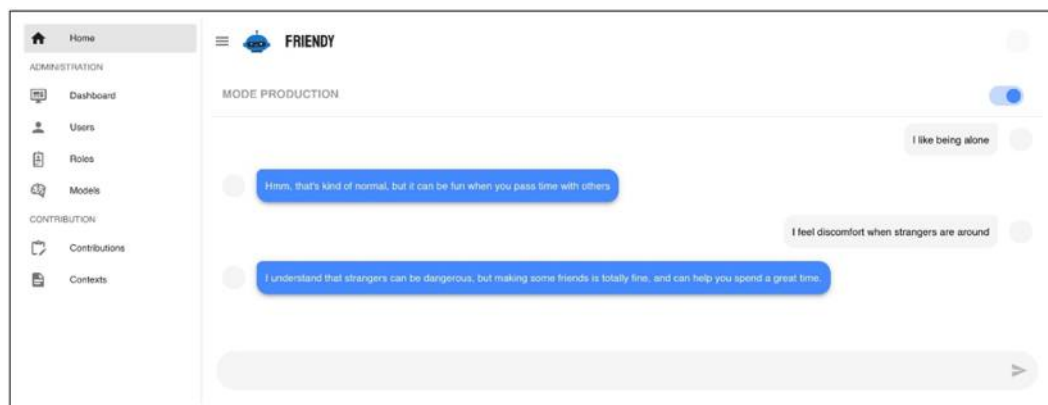


FIGURE 5.10 – Interface de dialog

Cette interaction vise à observer le comportement de l'enfant à l'égard du chatbot, offrant ainsi des insights précieux sur la dynamique de la relation entre l'enfant et cette technologie thérapeutique innovante. Cette approche permet d'analyser les

réponses de l'enfant dans le cadre de la thérapie assistée par le chatbot, ouvrant la voie à une compréhension approfondie de son impact sur le processus thérapeutique.

5.6.2 Observations Relatives aux Enfants

Les observations ont été conduites en se concentrant sur deux aspects prédominants. Tout d'abord, l'évaluation du degré de coopération à des moments spécifiques au cours de la séance thérapeutique et l'alignement avec le scénario de dialogue attendu ont été scrutés attentivement. Cette analyse a permis d'évaluer la réceptivité et la participation des enfants à des points clés de la séance. Ensuite, un autre axe d'observation a été dédié à la captation des émotions, en se basant sur les expressions faciales et le langage corporel des enfants. Cette approche visait à déceler les réponses émotionnelles suscitées par l'interaction avec le chatbot thérapeutique.

Le Tableau 5.4 synthétise de manière succincte les observations issues de cette analyse approfondie, offrant ainsi une perspective claire sur les comportements et les réactions des enfants au cours de la séance de thérapie assistée par le chatbot. Ces observations constituent un élément essentiel pour évaluer l'efficacité et l'impact de la technologie sur le processus thérapeutique.

Aspect	Sous-Aspect	Observation
Coopération	Phase d'Introduction	19 enfants ont coopéré, parmi lesquels 7 ont exprimé de l'enthousiasme, de la curiosité et de l'impatience à interagir avec Friendly. 13 enfants ont coopéré après l'encouragement et les encouragements des thérapeutes et des assistants. 3 enfants* ont refusé d'interagir avec le chatbot.
	Phase d'Interaction	10 enfants sur 32 étaient relativement indépendants lors de l'interaction avec le chatbot. 14 des 22 enfants restants ont eu besoin de légères directives et suggestions. Enfin, les 8 restants ont nécessité des explications approfondies avec plusieurs gestes et suggestions.
	Phase de Séparation	24 enfants sur 32 ont coopéré. Les 8 restants ont nécessité davantage de persuasion et de manœuvres pédagogiques de la part des thérapeutes pour les séparer de 'Friendly'.
	Alignement sur le Scénario	18 enfants sur 32 ont été facilement influencés par les thérapeutes pour suivre les lignes du scénario d'interaction, 9 enfants ont dû être remis sur la bonne voie de 2 à 4 fois. Les 5 restants ont dû être remis sur la bonne voie plus de 5 fois.

Émotions	Excitation	7 enfants ont montré de l'excitation perceptible par leurs mouvements corporels
	Surprise	20 enfants ont exprimé des degrés variés de surprise lors de l'introduction et de l'interaction avec Friendly.
	Contentement et Bonheur	27 enfants sur 32 ont exprimé du contentement et du bonheur, distingués par des rires et des sourires jusqu'à 8 fois par session
	Embarras	16 enfants ont exprimé de l'embarras lorsque le sujet de discussion tournait autour de leur relation avec l'école, les enseignants et les thérapeutes.
	Tristesse et Colère	15 enfants ont exprimé de la tristesse, parmi lesquels 6 ont montré des nuances de colère lorsqu'on les séparait de Friendly.

*Les 3 enfants n'ont pas été inclus dans le reste des observations.

TABLE 5.4 – Observations des Sessions avec les Enfants

5.6.2.1 Évaluation des thérapeutes

Le retour général des thérapeutes sur l'outil s'est avéré être une étape cruciale dans l'amélioration future de l'outil. Des professionnels du domaine ont été sollicités pour évaluer Friendly selon divers aspects et ont généreusement fourni des commentaires constructifs afin d'orienter les développements ultérieurs. La méthodologie adoptée pour recueillir ces commentaires était basée sur un questionnaire inspiré d'une étude antérieure [251], subdivisé en deux parties comme représenté dans la figure 5.11. Les résultats quantitatifs obtenus à partir du questionnaire ont été présentés de manière graphique dans la Figure 5.12, indiquant un consensus favorable envers Friendly.

En ce qui concerne la section du questionnaire portant sur des questions directes, les réponses de Q.B1 à Q.B6 ont été compilées dans le tableau 7. Une analyse approfondie de ces réponses a révélé une prédominance d'opinions favorables envers l'outil, avec une disposition des professionnels à envisager une intégration progressive de l'outil dans certaines interventions, sous réserve de conditions spécifiques.

L'analyse des réponses à la question Q.B7 a souligné la nécessité d'une plus grande flexibilité dans le chatbot, suggérant que cela pourrait être atteint en élargissant la base de contexte. De plus, les thérapeutes 2 et 3 ont mis en lumière l'absence d'interactions vocales, un aspect déjà pris en compte dans les versions futures du framework. Les observations de ces professionnels mettent en évidence des considérations clés pour l'optimisation de l'outil.

Il est à noter que le thérapeute 1 a exprimé des difficultés à apporter des contributions sans orientation claire et a recommandé une approche étape par étape. Cette rétroaction individuelle offre des perspectives importantes sur la facilité d'utilisation et l'ergonomie de l'outil.

Questionnaire d'évaluation

Évaluation Numérique (1-10)

Q.A1. De 1 à 10, comment évalueriez-vous notre cadre (1 étant mauvais et 10 étant excellent) ?

Q.A2. De 1 à 10, comment évalueriez-vous votre expérience avec le cadre (1 étant mauvais et 10 étant excellent) ?

Q.A3. De 1 à 10, comment évalueriez-vous l'ergonomie (facilité d'utilisation, intuitivité et attractivité) du cadre (1 étant mauvais et 10 étant excellent) ?

Q.A4. De 1 à 10, comment évalueriez-vous la performance du dialogue du chatbot (1 étant mauvais et 10 étant excellent), que suggèreriez-vous pour l'améliorer ?
.....

Questions Directes

Q.B1. Avez-vous remarqué une amélioration dans l'expression des intentions par rapport aux sessions habituelles ?

Q.B2. Avez-vous remarqué une amélioration du niveau de coopération des enfants ?

Q.B3. Les enfants ont-ils exprimé plus d'émotions que d'habitude ?

Q.B4. Pensez-vous que notre cadre aidera à débloquer les compétences de communication des enfants ?

Q.B5. Envisagez-vous d'utiliser notre cadre dans vos futures interventions ?

Q.B6. Accepteriez-vous de devenir collaborateur pour améliorer notre ensemble de données ?

Q.B7. Quelles faiblesses avez-vous remarquées dans notre cadre ?

Q.B8. Quelles fonctionnalités ou extensions proposeriez-vous pour une amélioration future ?

FIGURE 5.11 – Questionnaire d'évaluation

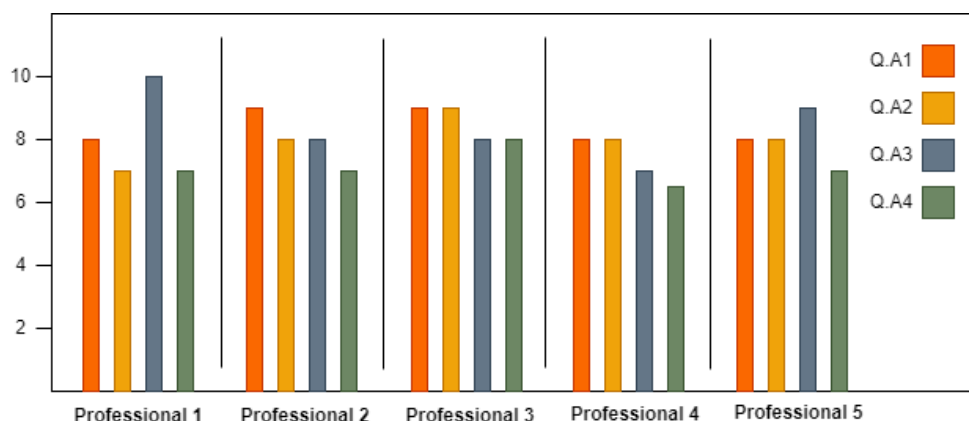


FIGURE 5.12 – Résultats quantitatifs

L'étude a été conclue en sollicitant des commentaires constructifs supplémentaires via la question Q.B8, permettant aux participants de formuler des suggestions

Professionnel	Q.B1	Q.B2	Q.B3	Q.B4	Q.B5	Q.B6
P1	D'accord	D'accord	D'accord	Oui, à un certain degré	Indécis	Oui
P2	D'accord	D'accord	D'accord	Oui	Oui	Oui
P3	D'accord	D'accord	D'accord	Oui	Oui	Oui
P4	Légèrement d'accord	D'accord	Légèrement d'accord	Oui, à un certain degré	Oui	Oui
P5	Légèrement d'accord	D'accord	D'accord	Oui, si amélioré	Indécis	Oui

TABLE 5.5 – Réponses directes des professionnels

d'amélioration pour Friendly. Parmi les suggestions pertinentes émanant des professionnels, les contributions de l'expert 1 et 5 méritent une attention particulière. Ils ont proposé d'intégrer des activités pédagogiques sous forme de mini-jeux dans l'outil, offrant des dimensions éducatives et communicationnelles. Un autre expert a souligné l'idée de personnaliser Friendly, en permettant à l'enfant de créer son propre compagnon avec des caractéristiques spécifiques, une proposition qui mérite d'être explorée dans les futures itérations de l'outil.

En résumé, l'évaluation approfondie de l'outil par des thérapeutes qualifiés a fourni des perspectives cruciales pour son amélioration continue, soulignant des domaines spécifiques nécessitant une attention particulière dans les versions à venir. Ces commentaires éclairants sont essentiels pour optimiser l'efficacité et l'acceptation de Friendly dans des contextes d'intervention spécifiques.

5.6.3 Perspectives

À la lumière de notre connaissance approfondie et de l'examen minutieux de notre approche vis-à-vis du problème de la non-coopération chez les enfants en psychothérapie, notre contribution se positionne comme une étude pilote, ouvrant la voie à une multitude de questions et de perspectives d'amélioration. Ces aspects seront inévitablement explorés dans nos futurs travaux de recherche. Nos orientations prospectives englobent divers domaines, incluant, mais sans s'y limiter, les suivants :

- **Poursuite du benchmarking** : Nous envisageons de poursuivre des travaux de recherche en incluant et intégrant d'autres topologies, telles que les réseaux LSTM, GRU, et des modèles hybrides issus de l'état de l'art. Cette démarche sera accompagnée d'une étude comparative approfondie visant à valider le modèle le plus efficace dans le contexte spécifique de la non-coopération chez les enfants en psychothérapie.
- **Étude approfondie du jeu de données** : Une investigation approfondie centrée sur le jeu de données est prévue, avec pour objectif d'améliorer sa structure interne. Cette amélioration consistera à évoluer d'un modèle simple basé sur le contexte/pattern vers un modèle complet offrant une sémantique plus cohérente. L'objectif est d'établir une meilleure correspondance entre les contextes afin de garantir un fil de discussion plus fluide et flexible au cours de la psychothérapie.
- **Intégration de nouvelles modalités d'interaction** : Une expansion des capacités du chatbot est envisagée, notamment l'ajout de commandes vocales. Cette amélioration permettra une interaction plus rapide et efficace pendant les séances de thérapie. Il est à noter que le chatbot sera également doté de sa propre voix, contribuant ainsi à une expérience plus immersive pour l'utilisateur.

- **Création de différents ensembles de données :** Nous prévoyons de créer des ensembles de données variés, chacun caractérisé par un vocabulaire distinct, donnant ainsi naissance à plusieurs personnalités de chatbot. Une étude comparative approfondie de ces différentes personnalités sera entreprise, fournissant des données informatives sur celles qui sont les plus adaptées à la population d'enfants autistes.

En résumé, notre article actuel constitue un point de départ prometteur, posant les bases pour des investigations futures approfondies. Les orientations mentionnées ci-dessus visent à élargir notre compréhension de la non-coopération chez les enfants en psychothérapie et à perfectionner les outils technologiques associés. Ces efforts sont cruciaux pour favoriser des interventions thérapeutiques plus efficaces et adaptées aux besoins spécifiques de cette population.

Conclusion

La mise en œuvre du projet Friendly représente une avancée significative dans le domaine de la psychothérapie pour les jeunes enfants autistes. En exploitant les capacités des technologies d'apprentissage profond et de l'intelligence artificielle, Friendly propose une approche innovante et personnalisée, capable de surmonter certains des défis traditionnels rencontrés dans les interventions thérapeutiques.

Les résultats obtenus à travers les expérimentations indiquent que Friendly peut faciliter l'engagement des enfants autistes, réduire leur anxiété et améliorer l'efficacité globale des séances de thérapie. L'analyse approfondie des interactions entre le chatbot et les enfants a démontré une amélioration notable dans les compétences de communication et les comportements sociaux des participants.

Bien que Friendly ait démontré des résultats prometteurs dans la promotion de la coopération et de l'engagement des enfants autistes au cours des séances de TCC, des considérations éthiques et pratiques demeurent quant à l'intégration de la technologie dans le contexte thérapeutique. Ces réflexions soulignent l'importance de poursuivre les recherches, d'affiner le cadre conceptuel, et d'explorer les limites et les avantages de telles interventions technologiques dans le domaine de la psychothérapie pour les enfants autistes.

À long terme, Friendly a le potentiel de devenir un outil thérapeutique incontournable dans la prise en charge des enfants autistes. L'objectif est de continuer à développer et à perfectionner le système afin qu'il puisse offrir des interactions de plus en plus naturelles et adaptées aux besoins spécifiques de chaque enfant. En intégrant des avancées technologiques continues et des retours d'expérience des utilisateurs, Friendly pourra contribuer de manière significative à l'amélioration de la qualité de vie des enfants autistes et de leurs familles, en fournissant un soutien thérapeutique constant et personnalisable.

En conclusion, Friendly marque une avancée substantielle vers une approche novatrice et efficace pour la thérapie des troubles autistiques, ouvrant la voie à de nouvelles normes dans le domaine de la santé mentale. Nous espérons que notre travail continuera à évoluer, apportant des bénéfices durables à la communauté des enfants autistes et à leurs proches.

Chapitre 6

VirtualSobriety - Redéfinir le Traitement des Addictions à travers l'Intégration de la Réalité Virtuelle et la Quantification de l'Attention Visuelle

Introduction

Dans le cadre de la lutte contre l'addiction, l'usage de technologies avancées ouvre de nouvelles perspectives pour améliorer les méthodes de dépistage et de traitement. Ce chapitre se concentre sur l'innovation apportée par VirtualSobriety, une approche qui combine réalité virtuelle (VR) et modélisation mathématique pour évaluer l'attention visuelle dans des environnements virtuels.

La première étape de cette étude a consisté à développer un modèle mathématique capable de quantifier l'attention visuelle des individus lorsqu'ils interagissent avec un environnement virtuel. Ce modèle repose sur des paramètres spécifiques qui permettent de mesurer de manière précise et objective les points de focalisation visuelle et la durée d'attention des utilisateurs dans un cadre simulé.

Une fois ce modèle validé, nous l'avons appliqué dans une étude pilote visant à explorer le dépistage de l'alcoolisme. Les environnements virtuels utilisés dans cette étude présentaient des scènes avec des stimuli rappelant l'alcool de manière subtile, sans reproduire directement des situations à risque. L'objectif était d'examiner si ces environnements pouvaient influencer l'envie de consommer de manière mesurable chez les utilisateurs.

Ce chapitre explore en détail la conception et la validation du modèle mathématique, ainsi que son application pratique dans l'étude pilote sur le dépistage de l'alcoolisme. En mettant en lumière l'impact potentiel des stimuli visuels subtils sur l'envie de consommer, VirtualSobriety ouvre la voie à de nouvelles stratégies pour la prévention et le traitement des addictions. Cette approche innovante promet de transformer la manière dont nous comprenons et abordons le traitement de l'addiction, en intégrant les dernières avancées technologiques pour améliorer les résultats thérapeutiques et la qualité de vie des patients.

6.1 Attention visuelle : Fondements et Quantification

6.1.1 Comprendre l'attention visuelle

L'attention dans un environnement spatial est un processus cognitif fondamental qui permet aux individus de se concentrer sélectivement sur des stimuli pertinents tout en filtrant les distractions [102]. L'attention visuelle, en particulier, joue un rôle crucial dans ce processus en permettant aux individus de traiter sélectivement les informations visuelles dans une localisation ou une région spécifique de l'espace [47] [30]. La recherche sur l'attention dans les environnements spatiaux et l'attention visuelle a fourni des perspectives sur les mécanismes neuronaux sous-jacents à ces processus. Le cortex visuel primaire, par exemple, est responsable du traitement initial des informations visuelles, tandis que des zones de niveau supérieur telles que le cortex pariétal et le cortex préfrontal interviennent dans la direction de l'attention et l'intégration d'informations provenant de plusieurs modalités sensorielles [257].

D'un autre côté, il existe des facteurs externes et contextuels qui influent sur l'attention visuelle, notamment la localisation, la taille et le contraste des stimuli visuels, ainsi que les objectifs et intentions individuels [248]. Des stimuli saillants, tels que ceux qui sont lumineux, colorés ou en mouvement, peuvent automatiquement capturer l'attention, tandis que des stimuli moins saillants peuvent nécessiter un traitement plus soutenu pour être détectés. Une compréhension approfondie de l'attention dans les environnements spatiaux et de l'attention visuelle est essentielle pour développer des interventions et des traitements pour les individus ayant des déficits d'attention ou des troubles sensoriels.

6.1.2 Quantification de l'attention visuelle entre le passé et le présent

Les tentatives de quantification de l'attention visuelle dans la littérature scientifique remontent aux années 80 avec l'étude de Posner et Snyder [204]. Une expérience connue sous le nom de Paradigme de Cueillette Spatiale a été réalisée, dans laquelle des indices spatiaux (comme un flash lumineux ou une flèche) dirigent l'attention vers une location spécifique dans le champ visuel, suivie de la présentation d'un stimulus cible. La différence de temps de réaction entre les essais avec indice valide (où l'indice et la cible apparaissent au même endroit) et les essais avec indice invalide (où l'indice et la cible apparaissent à des endroits différents) est considérée comme une mesure de l'allocation de l'attention.

Dans une autre expérience similaire [206], connue sous le nom de Paradigme de Suivi d'Objets Multiples, les participants doivent suivre plusieurs objets en mouvement parmi des distracteurs, le nombre de cibles et de distracteurs variant d'un essai à l'autre. La précision du suivi des cibles est prise comme mesure de la capacité attentionnelle ou de l'allocation des ressources.

La Théorie de l'Intégration des Caractéristiques (FIT), imaginée par Treisman et Gelade [250], propose que l'attention est nécessaire pour lier les caractéristiques d'un stimulus visuel (comme sa couleur, sa forme et sa localisation) en une perception cohérente. Le degré d'allocation attentionnelle requis pour lier les caractéristiques peut être estimé en fonction du temps nécessaire pour détecter un stimulus cible différent des distracteurs dans une dimension de caractéristique particulière (comme sa couleur).

Dans l'étude de Raymond et al. [209], les participants sont présentés avec une série rapide de stimuli visuels, généralement des lettres ou des chiffres, et sont invités à identifier deux éléments cibles dans le flux tout en ignorant les distracteurs. Les

cibles sont séparées par un court intervalle temporel, appelé le lag, et les participants doivent rapporter avec précision les deux cibles pour obtenir un crédit pour un essai correct. Cette expérimentation est aujourd'hui une technique largement utilisée pour étudier la dynamique temporelle de l'attention. La découverte clé dans ce paradigme est que l'identification de la deuxième cible est souvent altérée lorsqu'elle apparaît dans une fenêtre temporelle étroite après la première cible, phénomène connu sous le nom de "Attentional Blink" (AB). Cette altération se produit car les ressources attentionnelles sont temporairement épuisées après le traitement de la première cible, laissant peu de capacité pour le traitement de la deuxième cible.

Ghariba B. et al. [71] ont proposé une architecture d'apprentissage profond basée sur le transfert d'apprentissage pour prédire la saillance visuelle, qui est la capacité de l'œil humain à se concentrer sur les parties dominantes d'une scène. Le modèle proposé extrait des caractéristiques visuelles grâce à des couches de convolution et utilise le réseau VGG-16 pour la segmentation sémantique afin de prédire l'étiquette catégorielle pour chaque pixel d'une image d'entrée. Le modèle est testé sur plusieurs ensembles de données et comparé à des modèles d'apprentissage profond classiques et de pointe. Le modèle proposé atteint une précision globale allant jusqu'à 96,22% pour la prédiction de la saillance visuelle.

Matthias Kummerer et al. [116] ont développé DeepGazeIII, un modèle probabiliste d'apprentissage profond pour prédire les trajectoires de regard humain en vision libre et sondent les interactions entre le contenu de la scène et l'historique récent des trajectoires de regard dans la sélection des fixations. L'article teste s'il existe (à un niveau fonctionnel) des interactions entre le contenu de la scène et l'historique des trajectoires de regard qui ne peuvent pas être décrites par une simple mesure de saillance pixel par pixel. L'article argumente que le travail présenté montre comment l'apprentissage profond peut être appliqué pour tester une question bien définie et donner une réponse claire. L'architecture du modèle proposé offre une puissance de modélisation élevée sous la forme de réseaux neuronaux profonds pour la plupart des parties du modèle et contrôle uniquement si les modèles peuvent utiliser des interactions au-delà d'une simple mesure de saillance. Les résultats montrent qu'il ne semble pas exister d'interactions au-delà d'une simple mesure de saillance pixel par pixel.

6.2 Limites des approches, Philosophie et Motivations

La littérature scientifique a démontré l'utilisation de modèles mathématiques pour quantifier l'attention visuelle. Des études telles que le Paradigme de Cueillette Spatiale et le Paradigme de Suivi d'Objets Multiples ont utilisé des mesures de temps de réaction et de précision pour évaluer l'allocation et la capacité attentionnelles. De plus, le modèle de la Théorie de l'Intégration des Caractéristiques proposé par Treisman et Gelade [250] suggère que l'attention est nécessaire pour lier les caractéristiques d'un stimulus visuel en une perception cohérente. Cependant, une limitation significative de ces modèles est qu'ils se concentrent principalement sur l'attention à court terme ou instantanée. En d'autres termes, ces modèles estiment l'attention en comparant les temps de réaction des individus dans différents contextes. Cette approche présente des lacunes, car elle offre uniquement un aperçu de la réponse immédiate d'un individu à un moment précis. Par conséquent, elle ne permet pas une évaluation plus complète de l'attention sur le long terme, telle qu'une distribution moyenne de l'attention pendant une période spécifique. Ainsi, bien que ces

modèles puissent quantifier l'intensité de l'attention sur une courte période, ils sont insuffisants pour mesurer l'attention sur une période plus étendue.

D'autre part, la littérature récente semble s'orienter vers l'apprentissage automatique, en particulier l'apprentissage profond, où la plupart des études utilisent des modèles probabilistes nécessitant un temps d'entraînement substantiel sur des ensembles de données spécifiques contenant l'historique séquentiel des allocations visuelles de personnes dans différents contextes. Cependant, on peut noter que la littérature se concentre davantage sur la prédiction de l'allocation visuelle que sur sa quantification. En d'autres termes, les études tentent de répondre à cette question fondamentale : "Où allons-nous regarder" plutôt que "Qu'avons-nous regardé en général?". C'est un peu une déviation par rapport à la question initiale. Ce changement dans le processus peut s'expliquer par la disponibilité de la collecte de grandes données, où des enregistrements de l'historique séquentiel brut de l'allocation visuelle peuvent être regroupés.

Pour ces raisons, il est nécessaire de proposer un modèle qui améliore les approches antérieures en considérant l'allocation visuelle sur une période étendue au lieu de se concentrer uniquement sur des moments spécifiques dans le temps. Cela est réalisé en exprimant mathématiquement les données, ce qui offre une représentation plus significative que les données séquentielles brutes exhaustives seules. En conséquence, nous pensons qu'un modèle de ce genre offrira une représentation élégante et performante ainsi qu'une compréhension plus approfondie et précise de l'allocation visuelle.

6.3 Hypothèse

Comme pour toute tentative de modélisation computationnelle, la spécification du contexte dans lequel le modèle est élaboré constitue une première étape cruciale.

Dans notre approche novatrice, cette configuration contextuelle se matérialise sous la forme d'un environnement tridimensionnel où un ou plusieurs observateurs interagissent avec une variété d'objets. Chaque instance de notre modèle mathématique requiert des paramètres d'entrée précisant l'observateur et un objet spécifique, et génère un score réel dénotant le niveau d'attention alloué par l'observateur à l'objet.

Pour approfondir, notre approche préconisée recourt à une fonction mathématique qui prend en considération le champ de vision de l'observateur et la position de l'objet observé. Concrètement, ladite fonction calcule le produit scalaire entre le vecteur représentant la direction vers laquelle l'observateur pointe (\vec{V}_{eye}) et le vecteur reliant l'observateur à l'objet (\vec{V}_{object}), tel qu'explicité dans l'Équation 6.1 et illustré dans la Figure 6.1a.

$$score = \frac{\vec{V}_{eye} \cdot \vec{V}_{object}}{|\vec{V}_{eye}| |\vec{V}_{object}|} \quad (6.1)$$

L'Équation 6.1 produit un score variant de -1 à 1, représentant le degré d'attention accordé par l'observateur à l'objet. La variation du score peut être visualisée dans les Figures 6.1b, offrant ainsi une représentation claire de ses différentes occurrences.

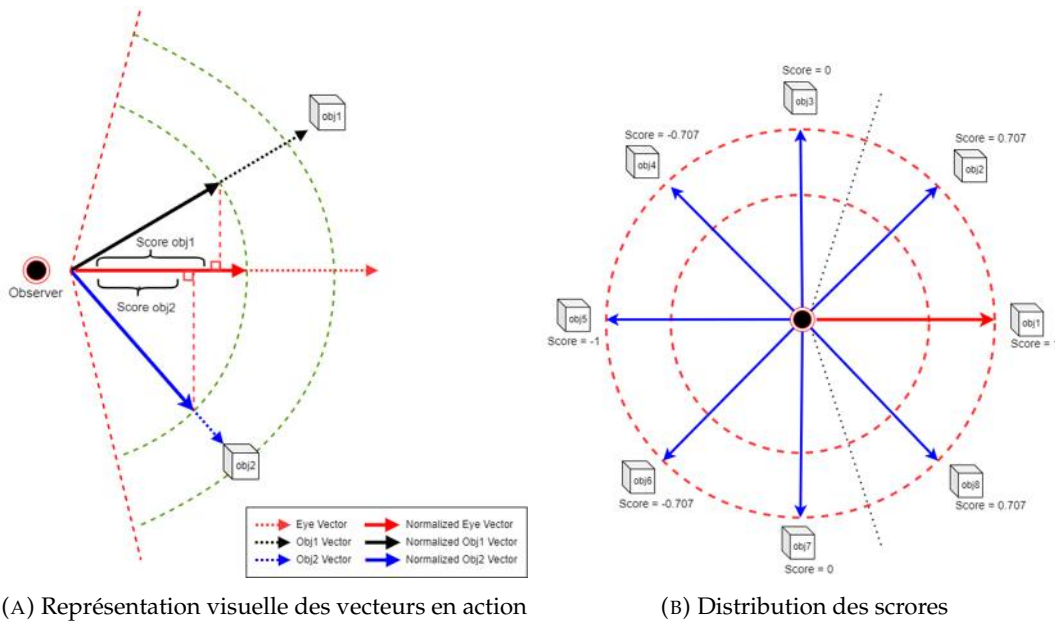


FIGURE 6.1 – Représentation visuel d'un produit scalaire

Pour obtenir une évaluation exhaustive de l'attention d'un individu sur une période définie, il est impératif de calculer la moyenne des scores acquis tout au long de cet intervalle temporel spécifique. Alors que l'Équation 1 génère un score instantané à un moment donné, son intégration sur une plage de temps définie offre une mesure moyenne de l'attention sur cette période. La démarche pour obtenir cette moyenne repose sur l'application de l'Équation 6.2, impliquant le calcul de l'intégrale temporelle de l'Équation 6.1 sur un laps de temps fixe. Cette valeur résultante constitue ainsi une métrique robuste, détaillée et nuancée de la concentration attentionnelle d'un individu sur un objet spécifique au fil du temps. En optant pour cette approche mathématique, une évaluation plus approfondie des nuances temporelles dans l'allocation de l'attention est obtenue, ouvrant ainsi la voie à des analyses plus sophistiquées des schémas d'attention sur une échelle temporelle étendue, offrant ainsi une compréhension plus précise des dynamiques attentionnelles.

$$score = \frac{\int_0^T \frac{\vec{v}_{eye} \cdot \vec{v}_{object}}{|\vec{v}_{eye}| |\vec{v}_{object}|} dt}{T} \quad (6.2)$$

Une amélioration significative des résultats peut être réalisée en prenant en compte la distance entre l'observateur et l'objet d'intérêt. Le degré d'attention alloué à un objet donné est étroitement lié à la distance qui les sépare. Plus précisément, à mesure qu'un objet se rapproche de l'observateur, il occupe une portion plus importante de leur champ de vision, suscitant ainsi une attention accrue et une appréciation plus détaillée. À l'inverse, lorsque l'observateur s'éloigne de l'objet, son attention envers celui-ci diminue, même si son regard reste dirigé vers lui [117] (voir figure 6.2).

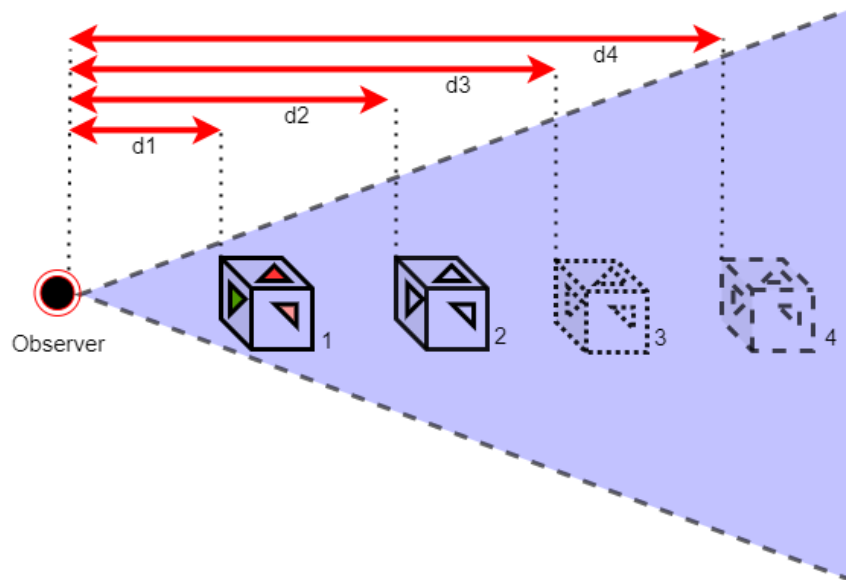


FIGURE 6.2 – Effet de la distance sur l'allocation d'attention

Cette variation de l'attention en fonction de la distance peut être quantifiée à l'aide de la fonction sigmoïde, exprimée mathématiquement dans l'Équation 6.3.

$$\text{sig}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6.3)$$

Le score final, représentant la mesure de l'attention accordée à un objet, peut être déterminé en utilisant l'Équation 6.4, où la distance entre l'objet et l'observateur est symbolisée par d . Les constantes A et C quantifient respectivement l'agressivité de la pente et la distance déclenchante. La fonction sigmoïde est appliquée à une expression linéaire dans laquelle d est la variable, afin de prendre en considération le fait que l'attention envers un objet est proportionnelle à sa distance par rapport à l'observateur. Concrètement, la fonction sigmoïde modélise la relation entre la distance et l'attention de manière à ce que plus un objet se rapproche de l'observateur, plus il suscite d'attention, jusqu'à une certaine distance représentée par la distance déclenchante C . Au-delà de cette distance, l'attention envers l'objet diminue de manière significative à mesure que la distance augmente, le taux de diminution étant déterminé par la constante d'agressivité A .

$$\text{score} = \frac{\int_0^T \text{sig}(A \cdot (-d) + C) \cdot \frac{\vec{v}_{eye} \cdot \vec{v}_{object}}{|\vec{v}_{eye}| |\vec{v}_{object}|} dt}{T} \quad (6.4)$$

6.4 Implémentations et tests de performances

Afin d'évaluer la viabilité et l'efficacité de l'utilisation du modèle mathématique pour la quantification de l'attention, une mise en œuvre concrète a été entreprise au sein d'un environnement virtuel. Le modèle computationnel a été discrétisé selon les paramètres de l'équation 6.5 [4], puis intégré au moteur de jeu Unity (version 2021.16f1).

$$score = \frac{\sum_0^T \text{sig}(A \cdot (-d) + C) \cdot \frac{\vec{V}_{eye} \cdot \vec{V}_{object}}{|\vec{V}_{eye}| |\vec{V}_{object}|}}{T} \quad (6.5)$$

Une scène virtuelle a été soigneusement élaborée, comprenant des objets géométriques fondamentaux tels qu'une sphère, un cube et un cylindre. Chacun de ces objets est doté dans sa structure interne du modèle computationnel. La Figure 6.3 offre une représentation visuelle de la configuration de cette scène virtuelle.

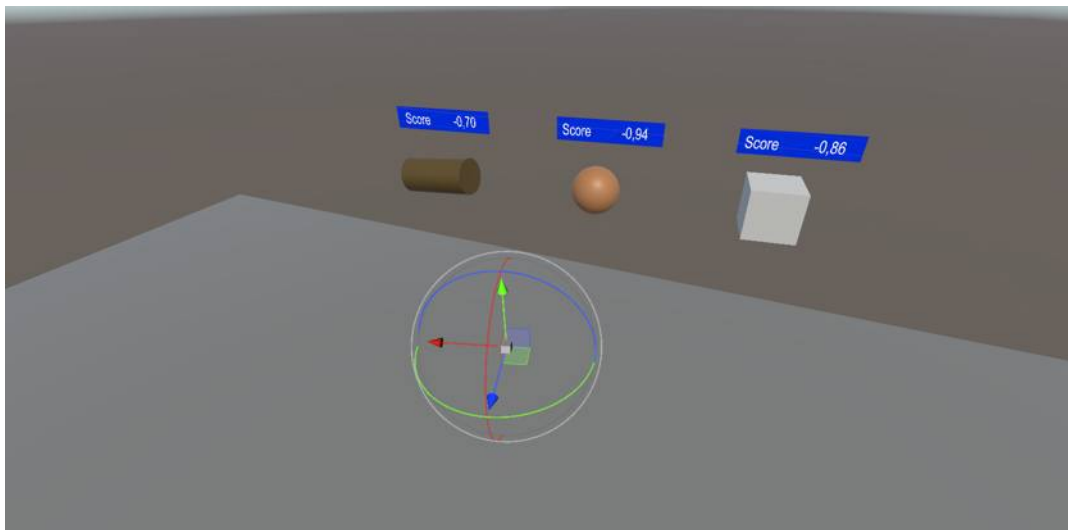


FIGURE 6.3 – Setup d'environnement virtuel

La surveillance en temps réel de l'évolution du score pour chaque objet a été rendue possible par le suivi continu de la position de l'observateur au sein de l'environnement virtuel. La trajectoire de l'observateur a été suivie en fonction d'une séquence d'événements prédéfinis, détaillée dans le Tableau 6.1. Ces événements préétablis ont été soigneusement orchestrés pour permettre une évaluation approfondie de l'attention portée aux différents objets, fournissant ainsi des données précieuses pour l'analyse des performances du modèle.

La Figure 6.4 offre une représentation graphique détaillée de l'évolution des scores d'allocation attentionnelle pour chaque objet tout au long des différents événements. Cette visualisation fournit une illustration claire et concise de la manière dont les scores ont varié au fil du temps, reflétant ainsi les conditions changeantes au cours des événements spécifiques. Cette analyse graphique permet une compréhension approfondie de la dynamique de l'attention, mettant en évidence les variations subtiles et significatives en réponse aux changements de l'allocation de l'attention.

Événement	Description
E1	L'observateur se tient au centre devant les objets et regarde la sphère
E2	L'observateur dirige son regard vers le cube
E3	L'observateur dirige son regard vers le cylindre
E4	L'observateur redirige son regard vers la sphère
E5	L'observateur déplace sa position vers la droite tout en maintenant son regard vers la sphère
E6	L'observateur fait quelques pas en arrière tout en maintenant son regard vers la sphère
E7	L'observateur s'éloigne davantage (environ 10 mètres)
E8	L'observateur s'éloigne davantage (environ 15 mètres)
E9	L'observateur s'éloigne davantage (environ 20 mètres)

TABLE 6.1 – Scénario d'utilisation

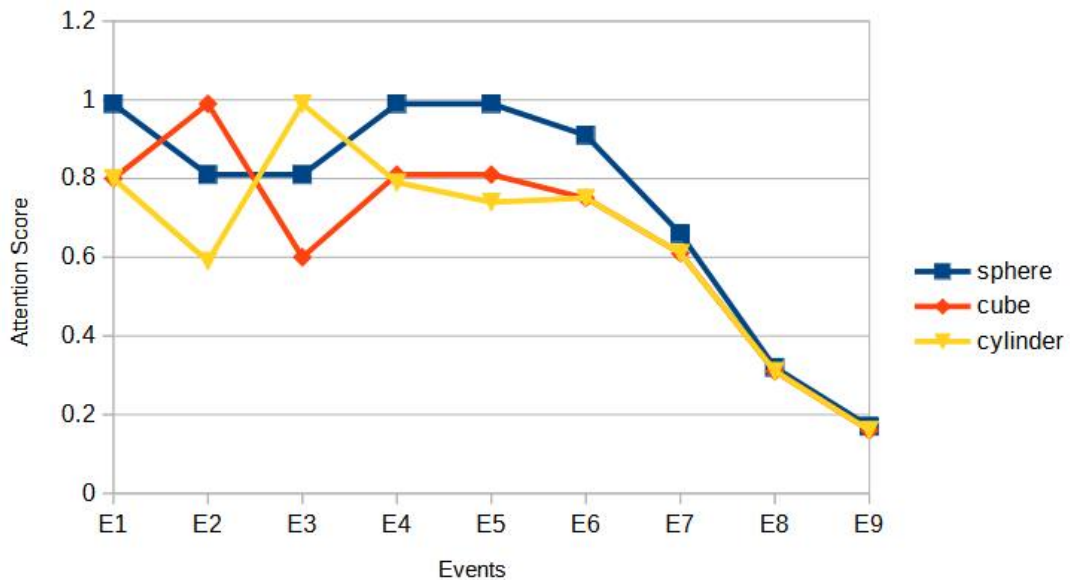


FIGURE 6.4 – Evolution des scores

Une évaluation des performances a été conduite sur un casque de réalité virtuelle Meta Quest 2 [162], équipé des spécifications suivantes : un processeur Qualcomm Snapdragon XR2, 6 Go de RAM et 128 Go de stockage. La surveillance des performances a été effectuée à l'aide d'un logiciel spécialisé appelé OVR Metric Tools [187], prenant en considération trois paramètres essentiels : le taux de rafraîchissement de l'écran, l'utilisation du processeur (CPU) et celle du processeur graphique (GPU).

Dans ce contexte, l'environnement virtuel a été soigneusement élaboré pour accroître progressivement le nombre d'objets présents dans la scène, tout en garantissant une surveillance continue des indicateurs de performance. Le scénario initial débutait sans aucun objet, évoluant jusqu'à pouvoir accueillir simultanément jusqu'à 150 objets, comme démontré dans la Figure 6.5. L'observateur a reçu des instructions pour explorer l'environnement de manière naturelle.

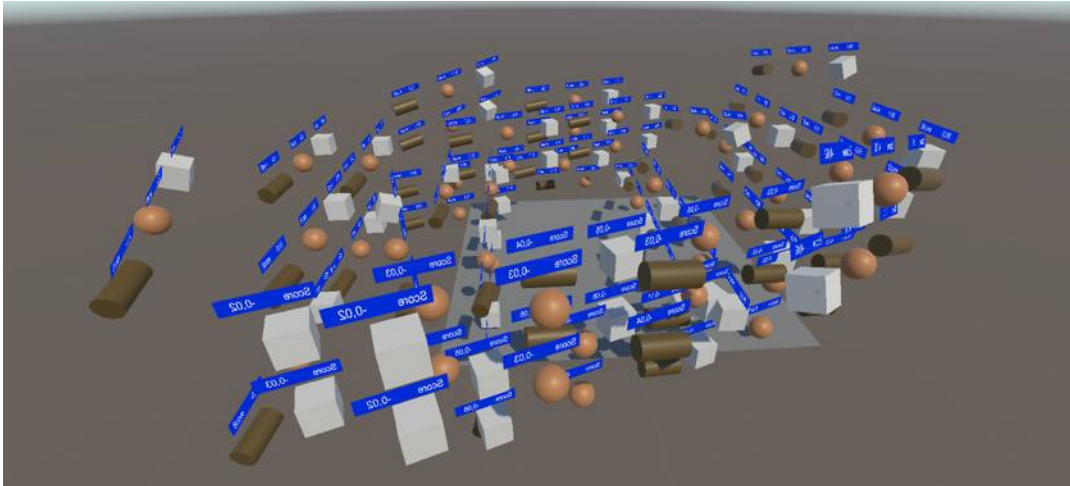


FIGURE 6.5 – Environnement avec 150 objets

La Figure 6.6 présente le taux de rafraîchissement capturé pendant l'expérience, tandis que la Figure 6.7 résume l'utilisation du CPU et du GPU. Ces données fournissent une analyse approfondie des performances du casque VR dans des conditions variables, offrant ainsi des perspectives cruciales pour l'optimisation et l'adaptation de l'environnement virtuel en fonction des capacités matérielles du dispositif.

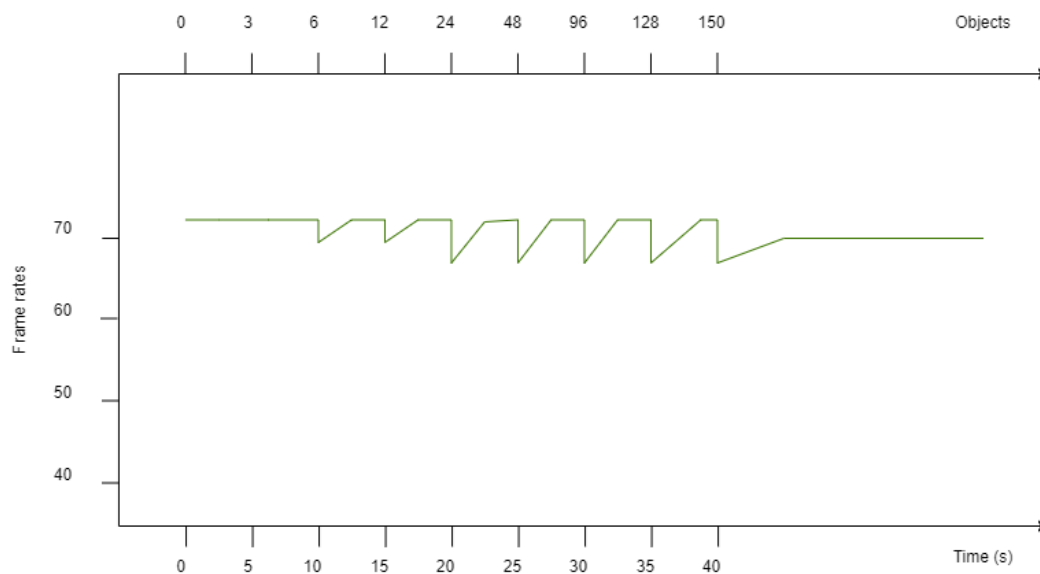


FIGURE 6.6 – Taux de rafraîchissement

Comme illustré dans la Figure 6, le taux de rafraîchissement est demeuré stable à 72 Hz tout au long des essais, correspondant à la valeur maximale permise par le dispositif Quest 2. Lors de l'incorporation progressive d'objets dans l'environnement virtuel, aucune perte significative ou brusque de taux de rafraîchissement n'a été observée. Cependant, une légère diminution de 2 Hz a été notée lors de l'instanciation de chaque nouveau groupe d'objets. Une fois que la scène virtuelle comportait 150 objets, le taux de rafraîchissement s'est stabilisé à 70 Hz. La légère diminution du taux de rafraîchissement à l'instanciation de chaque nouvel objet n'a pas été considérée comme significative et n'a eu aucun impact négatif notable sur l'expérience de l'observateur ni sur la précision des scores d'allocation attentionnelle.

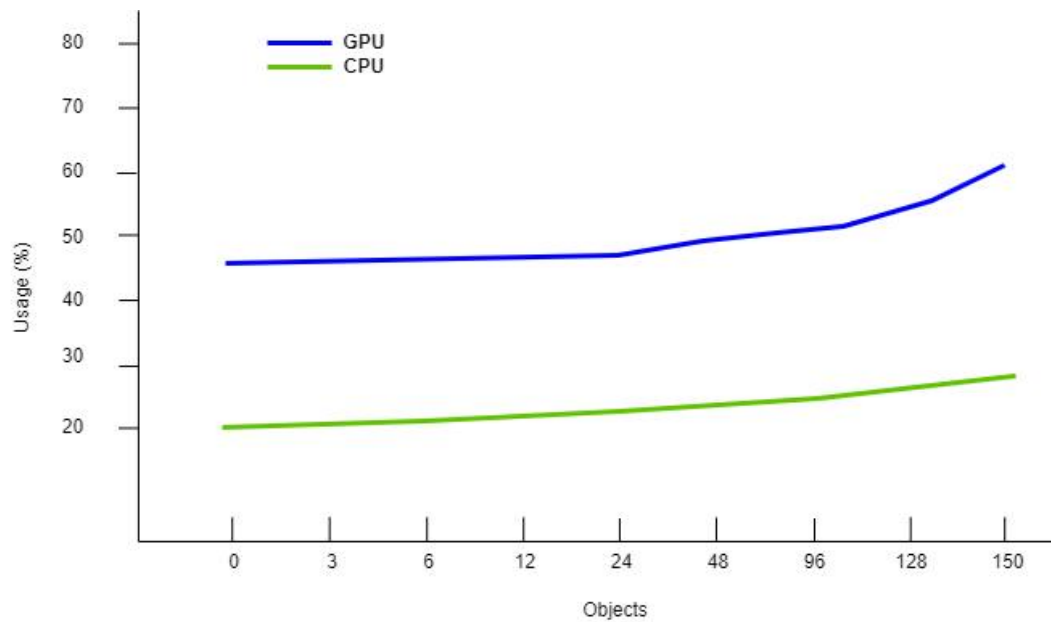


FIGURE 6.7 – Usage CPU/GPU

En ce qui concerne l'utilisation des ressources processeur (CPU) et de l'unité de traitement graphique (GPU), une observation attentive révèle une augmentation proportionnelle au nombre croissant d'objets présents dans la scène. Les pourcentages d'utilisation varient de 21 % à 27 % pour le CPU et de 46 % à 61 % pour le GPU. Ces résultats suggèrent une marge de ressources substantielle, offrant ainsi la possibilité d'intégrer des éléments graphiques et des textures plus complexes sans compromettre la performance du système.

6.5 Contextualisation Scientifique et Analyse Comparative

La présente investigation représente une application préliminaire d'un modèle mathématique, rendant ainsi inappropriée toute anticipation d'une analyse comparative approfondie dans un contexte réel à ce stade. Cependant, une évaluation théorique peut être menée en comparant minutieusement les observations et les informations factuelles extraites du corpus de la littérature scientifique.

Notre examen approfondi des technologies positionnées pour rivaliser avec notre approche a permis de discerner des critères jugés essentiels à prendre en compte dans ce type d'expérimentation. La synthèse de ces critères cruciaux est soigneusement présentée dans le Tableau 6.2 pour référence et clarté, fournissant ainsi une base théorique solide pour des évaluations ultérieures et une orientation vers des analyses plus approfondies. Cette table, bien qu'elle n'affirme pas explicitement la supériorité d'une approche par rapport à une autre, remplit principalement la fonction de fournir un cadre contextuel. Elle facilite une compréhension approfondie des spécifications, des prérequis et des défis associés à chaque approche. Ce faisant, elle renforce le processus de prise de décision en offrant des perspectives éclairantes sur l'approche la plus adaptée et appropriée pour une expérience donnée. Cette approche contextuelle permet ainsi une évaluation plus informée et une orientation vers des choix judicieux en fonction des exigences spécifiques de chaque expérimentation.

Critères	Tobii Eye Tracker [249]	VIVE Pro Eye[260]	Notre Approche [4]
Environnement	Restreint (Taille de l'écran)	Libre 360°	Libre 360°
Performance	Bonne performance [65]	Bonne performance (Indépendant de l'environnement) [122]	Performance native (Dépendant du hardware)
Coût	300\$	+2800\$	À partir de 140\$
Robustesse	Peut être affecté par des lunettes, des mouvements de tête et des expressions faciales	Peut être affecté par des lunettes [225]	Les lunettes et les mouvements de tête n'ont aucun impact sur la précision
Plage de précision	Élevée près du centre, plus faible en périphérie	Élevée près du centre, plus faible en périphérie	Ne s'applique pas
Dépendance Logicielle	Indépendante	Indépendante	Indépendante
Dépendance Matérielle	Dépendante	Dépendante	Indépendante
Type de Précision	Coordonnées spécifiques	Coordonnées spécifiques	Petite zone
Objectif d'utilisation	Suivi/Prédiction instantané du regard	Suivi/Prédiction instantané du regard	Quantification moyenne de l'attention

TABLE 6.2 – Comparaison théorique entre le Tobii Eye Tracker, le VIVE Pro Eye et notre modèle mathématique

6.6 VirtualSobriety : Un outil de dépistage d'alcoolisme immersif basé sur l'attention sélective

6.6.1 Contexte et motivations

L'alcoolisme représente un problème de santé publique majeur à l'échelle mondiale, entraînant des conséquences graves sur la santé individuelle et la société dans son ensemble.

Au-delà des conséquences directes sur la santé, l'alcoolisme entraîne également d'importantes pertes sociales et économiques, affectant non seulement les individus eux-mêmes, mais aussi leur famille, leur communauté et la société dans son ensemble. Les coûts liés à la prise en charge médicale, à la perte de productivité, aux accidents de la route, à la criminalité et aux troubles sociaux liés à l'alcool sont considérables et continuent de poser un défi majeur pour les systèmes de santé et les gouvernements à travers le monde.

Cependant, un aspect particulièrement préoccupant de l'alcoolisme est le déni souvent associé à cette maladie. Les individus souffrant d'alcoolisme peuvent nier leur dépendance à l'alcool, que ce soit en se mentant à eux-mêmes ou en minimisant leur consommation lorsqu'ils sont confrontés à des professionnels de la santé. Ce

déni peut avoir des conséquences graves, notamment en faussant les résultats des dépistages précoces et en retardant le début du traitement [176].

En effet, le déni de l'alcoolisme peut empêcher les individus de reconnaître leur problème et de rechercher l'aide dont ils ont besoin. Cela peut entraîner des retards dans le diagnostic et le traitement de la maladie, ainsi que des conséquences potentiellement désastreuses pour la santé et la sécurité des individus et de leur entourage. Trop souvent, les personnes souffrant d'alcoolisme ne prennent conscience de la gravité de leur problème qu'après avoir été confrontées à des événements dramatiques, tels que des accidents graves ou des mises en danger de la vie d'autrui [174].

Dans ce contexte, il devient essentiel de développer des outils de dépistage et d'intervention précoce de l'alcoolisme qui tiennent compte du déni et des obstacles psychologiques associés à cette maladie. La réalité virtuelle offre une plateforme unique pour aborder ces défis, en permettant de créer des environnements immersifs où les individus peuvent être exposés à des stimuli liés à la consommation d'alcool de manière contrôlée et sécurisée. En comprenant mieux les mécanismes sous-jacents au déni de l'alcoolisme et en identifiant les marqueurs précoces de cette dépendance.

6.6.2 Hypothèse et philosophie de l'approche

Dans la recherche de solutions pour surmonter les défis posés par le déni chez les individus susceptibles d'être affectés par l'alcoolisme, une approche novatrice intégrant la réalité virtuelle (RV) s'est avérée prometteuse. Cette méthode propose d'immerger les individus dans des environnements virtuels contenant des stimuli associés à la consommation d'alcool, susceptibles de susciter des réponses chez les personnes touchées. L'hypothèse sous-jacente repose sur l'idée que les individus souffrant d'alcoolisme seront plus attirés par ces stimuli et y prêteront une attention accrue par rapport à ceux qui ne sont pas affectés.

Pour évaluer cette hypothèse, nous avons développé un modèle de calcul de l'attention visuelle, basé sur des principes théoriques bien établis en psychologie cognitive (voir la section 6.3). Ce modèle nous permet de quantifier de manière objective l'attention portée par les individus à différents stimuli visuels dans un environnement virtuel. En intégrant ce modèle dans notre approche de dépistage de l'alcoolisme, nous pouvons mesurer de manière précise et fiable l'allocation visuelle des individus aux stimuli associés à la consommation d'alcool (voir figure 6.8).

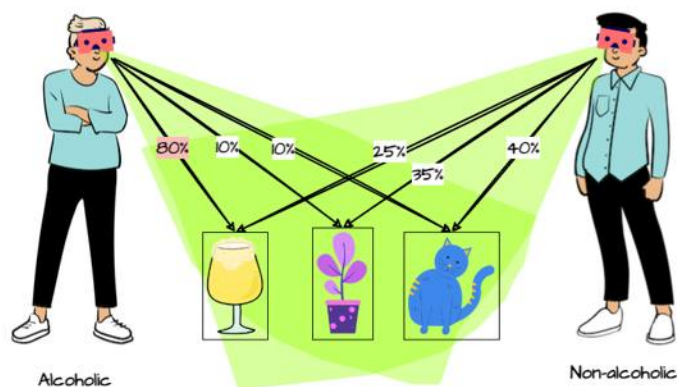


FIGURE 6.8 – différence d'allocation visuelle chez les alcooliques et les non-alcooliques

Après avoir évalué de manière quantitative l'attention des individus grâce à des techniques de quantification visuelle, l'objectif primaire suivant consiste à collecter ces données afin de constituer un ensemble de données (dataset) pertinent pour l'entraînement d'un modèle de machine learning. Ce modèle sera spécifiquement conçu pour identifier et interpréter les schémas et caractéristiques distinctifs associés à l'alcoolisme chez les individus.

L'intégration de la réalité virtuelle dans notre processus de collecte de données offre un avantage crucial en fournissant un environnement expérimental contrôlé, permettant ainsi une mesure précise et objective des réactions des individus face aux stimuli liés à la consommation d'alcool. Cette approche permet de recueillir des données comportementales riches et détaillées, essentielles à la formation d'un modèle de machine learning robuste.

Une fois qu'une quantité significative de données aura été accumulée, celles-ci seront utilisées pour entraîner le modèle de machine learning. Ce modèle sera capable de détecter les schémas subtils et les caractéristiques distinctives associés à l'alcoolisme. L'avantage de cette approche réside dans sa capacité à contourner les limitations du dépistage traditionnel de l'alcoolisme, telles que le déni et la sous-déclaration. En utilisant des environnements virtuels immersifs, nous sommes en mesure de créer des situations de test contrôlées et sécurisées, permettant une évaluation objective des réponses des individus aux stimuli liés à la consommation d'alcool. De plus, cette méthode peut potentiellement fournir des indices précoces et subtils de l'alcoolisme, avant que les symptômes ne deviennent évidents ou que les individus ne soient disposés à reconnaître leur problème.

6.6.3 Setup expérimental

Dans le cadre de notre étude, une équipe pluridisciplinaire composée de thérapeutes, d'addictologues et de psychiatres s'est réunie pour mener une réflexion autour de la création de scénarios en réalité virtuelle visant à immerger les personnes alcooliques. Ces scénarios consistent en des environnements virtuels soigneusement conçus, contenant des stimuli subtils associés à l'alcool ou aux produits alcoolisés en général. L'objectif de ces scénarios est de fournir une immersion réaliste dans des situations susceptibles de déclencher des réponses spécifiques chez les individus alcooliques, permettant ainsi une évaluation précise de leurs réactions dans un environnement contrôlé et sécurisé.

En se basant sur les connaissances et l'expertise des thérapeutes vis à vis des habitudes de consommation chez les individus alcooliques et les déclencheurs potentiels de ces envies, nous avons identifié trois scénarios distincts. Ces scénarios ont été modélisés dans un environnement 3D pour une immersion totale en réalité virtuelle.

1. **Scénario 1 : Galerie d'art virtuelle** Le premier scénario se déroule dans une galerie d'art virtuelle (voir figure 6.9). Cette galerie présente deux types de toiles : des œuvres d'art célèbres de grands peintres, ainsi que des toiles moins connues mais contenant des références à l'alcool, telles que des représentations de bouteilles de vin ou d'autres symboles associés à la consommation d'alcool (voir figure 6.10). Dans ce scénario, la personne immergée est invitée à visiter la galerie de manière spontanée, sans indication préalable sur le contenu des toiles. Ce premier scénario vise à observer les réactions et les comportements naturels des individus face aux stimuli visuels liés à l'alcool dans un environnement artistique.

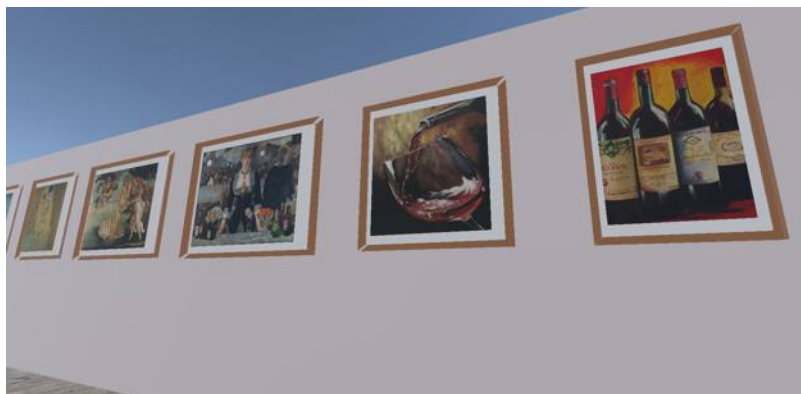


FIGURE 6.9 – Scénario 1 : Galerie Virtuelle



(A) Vangogh - nuit étoilée



(B) Klimt - Le baiser



(C) Davinci - La Joconde



(D) Manet - Le bar



(E) Peinture Anonyme



(F) Peinture Anonyme

FIGURE 6.10 – Toiles présente dans le scénario 1

2. **Scénario 2 : Rue Urbaine Virtuelle** Le deuxième scénario élaboré est un environnement virtuel représentant une rue typique dans une ville urbaine contemporaine. Cette simulation reproduit fidèlement l'atmosphère d'une rue animée, avec des bâtiments, des panneaux publicitaires, des arrêts de bus et d'autres éléments urbains caractéristiques (voir figure 6.11).

Au sein de cette rue virtuelle, plusieurs affiches publicitaires sont dispersées, visibles sur les murs des bâtiments, les arrêts de bus, les panneaux sur les toits, et d'autres emplacements stratégiques. Parmi ces publicités, certaines font la promotion de produits alcoolisés tels que des bières et des spiritueux (voir figure

6.12). Ces annonces sont intégrées de manière à être visibles mais pas forcément immédiatement remarquées, suscitant ainsi la curiosité de la personne immergée, l'amenant à se déplacer et à balayer du regard les alentours.



FIGURE 6.11 – Scénario 2 : Rue Urbaine



(A) Panneau d'arrêt de bus

(B) Panneau sur un toit d'immeuble

FIGURE 6.12 – Paneaux publicitaire dans le scénario 2

Le but de ce scénario est de permettre à la personne immergée de se balader spontanément dans la rue virtuelle et d'observer son comportement face aux différentes publicités, en particulier celles faisant la promotion de boissons alcoolisées. Cette approche vise à reproduire les situations de la vie quotidienne où les individus sont exposés à des incitations à consommer de l'alcool, et à étudier leurs réactions dans un contexte contrôlé et sécurisé.

En utilisant la technologie de modélisation 3D, cette rue urbaine virtuelle est rendue aussi réaliste que possible, offrant une immersion totale dans un environnement urbain familier. Cette immersion permet aux participants de ressentir les mêmes pressions et tentations qu'ils pourraient rencontrer dans la réalité, tout en offrant aux thérapeutes une opportunité d'observer et d'évaluer leurs comportements en temps réel.

3. Scénario 3 : Bistrot Virtuel au Bord de la Plage

Le troisième scénario imaginé consiste en un environnement virtuel représentant un bar/restaurant ou bistrot situé au bord de la plage, offrant une vue panoramique sur la mer (voir figure 6.13). Ce lieu virtuel est soigneusement modélisé pour recréer une atmosphère relaxante et conviviale, typique des établissements côtiers.



FIGURE 6.13 – Scénario 3 : Bar restaurant

Au sein de ce bar/restaurant virtuel, un menu est présenté, offrant une variété d'options culinaires, y compris des pizzas, des sandwiches, des salades, des soupes, des sodas et des boissons alcoolisées. Chaque section du menu est clairement indiquée, permettant aux individus immergés d'explorer les différentes offres disponibles (voir figure 6.14).



FIGURE 6.14 – Menu du scénario 3

L'objectif apparent de ce scénario est d'inviter la personne immergée à consulter le menu et à exprimer une commande, reproduisant ainsi une expérience réaliste de choix de repas dans un établissement de restauration. Cependant, le véritable objectif de ce scénario est d'observer l'attention focalisée de la personne sur les différentes sections du menu, en particulier celles proposant des boissons alcoolisées.

En guidant subtilement les participants vers le menu et en observant leurs interactions avec celui-ci, les thérapeutes peuvent recueillir des informations sur les préférences et les inclinations des individus en ce qui concerne la consommation d'alcool. Cette approche permet d'évaluer de manière non intrusive l'attrait potentiel des boissons alcoolisées et de comprendre les mécanismes cognitifs et comportementaux impliqués dans la prise de décision en matière de consommation d'alcool.

6.6.4 Population et méthodologie

L'expérimentation préliminaire a été menée sous la supervision de médecins psychiatres et addictologues, impliquant cinq individus en phase de sevrage d'alcool et/ou de toxicomanie (voir table 6.3). L'objectif principal de cette étude était de noter le ressenti global des participants ainsi que leur réaction spécifique envers leurs addictions à travers l'immersion dans trois scénarios distincts en réalité virtuelle (RV). Pour évaluer ces réactions, des outils d'évaluation du niveau d'immersion en RV ont été utilisés, notamment le SLATER-USOH-STEED Questionnaire (SUS) [231] (voir Appendice C.1), le Igroup Presence Questionnaire (IPQ) [259] (voir Appendice C.2), et le Witmer & Singer Questionnaire (WSQ) [270] (voir Appendice C.3). De plus, des échelles d'évaluation de l'envie de consommation, telles que l'Alcohol Craving Questionnaire Revised (ACQ-R) [207] (voir Appendice C.4), ont été appliquées.

Individu	age	sexe	type d'addiction
P1	+30 ans	homme	alcoolisme et toxicomanie
P2	+30 ans	homme	alcoolisme et toxicomanie
P3	+30 ans	homme	alcoolisme et toxicomanie
P4	+40 ans	homme	alcoolisme et toxicomanie
P4	+40 ans	homme	alcoolisme

TABLE 6.3 – Données démographiques des participants

6.6.5 Résultats préliminaires

Les résultats préliminaires de notre étude révèlent une immersion satisfaisante des participants dans les trois scénarios conçus, caractérisée par des scores élevés sur les échelles d'évaluation de la présence et de l'immersion (PQ et IPQ), comme illustré dans la figure 6.15.

Les questions PQ-1 et PQ-2, qui explorent le sentiment de présence et d'environnement entourant les individus, ont suscité des retours positifs quant à l'expérience réaliste et captivante vécue par les participants, traduisant ainsi une réelle immersion dans les environnements virtuels présentés.

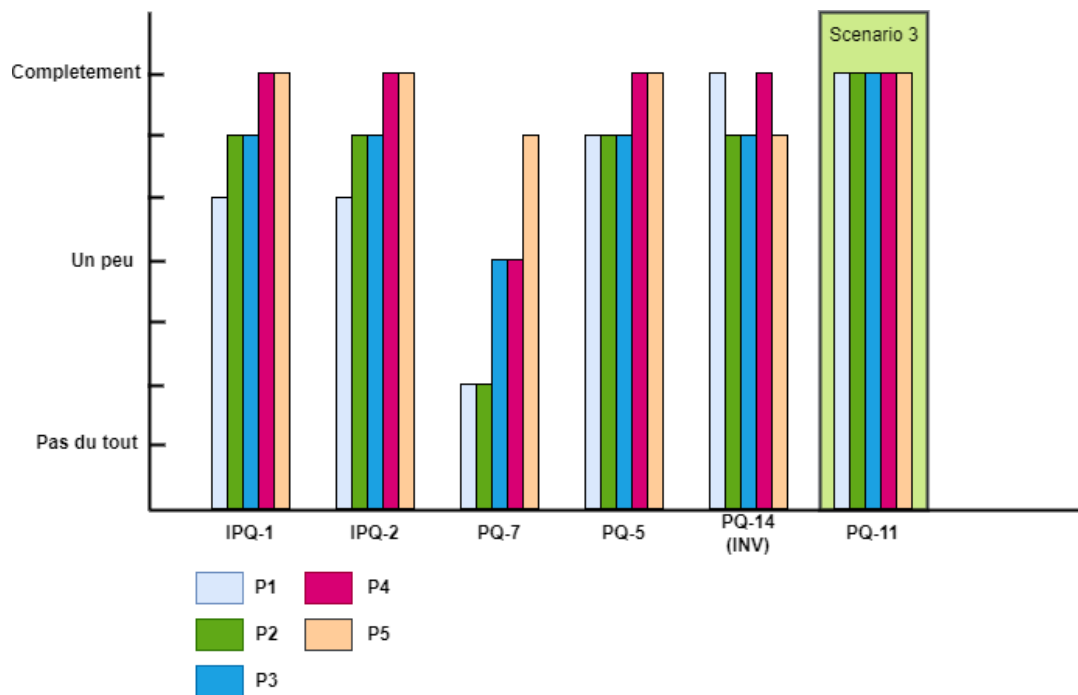


FIGURE 6.15 – Aperçu des réponses sur l'immersion

Concernant la question PQ-5, portant sur le mécanisme de déplacement en réalité virtuelle, deux méthodes courantes ont été examinées : la téléportation et le déplacement continu (Continuous Movement) (voir figure 6.16).

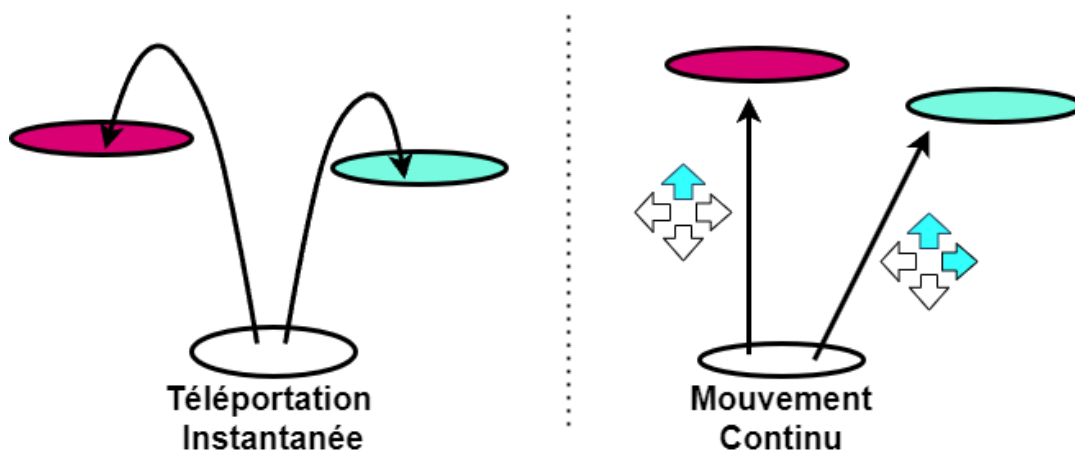


FIGURE 6.16 – Systèmes de déplacement en VR

Dans notre étude, nous avons opté pour le déplacement continu afin de garantir une collecte de données fluide et ininterrompue, évitant ainsi les ruptures dans la quantification de l'attention, comme indiqué dans la figure 6.17. La majorité des participants ont accueilli favorablement ce choix de mécanisme, signalant une expérience sans inconfort notable.

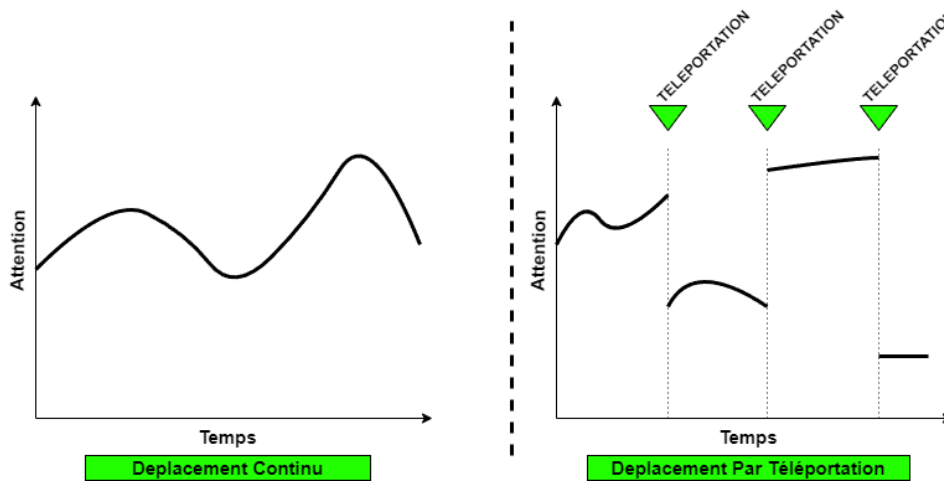
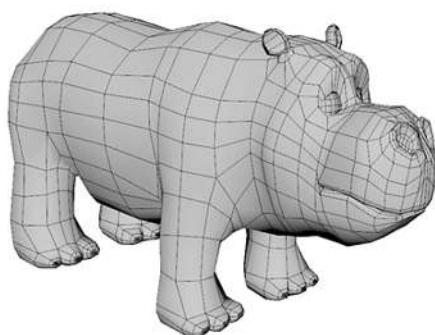
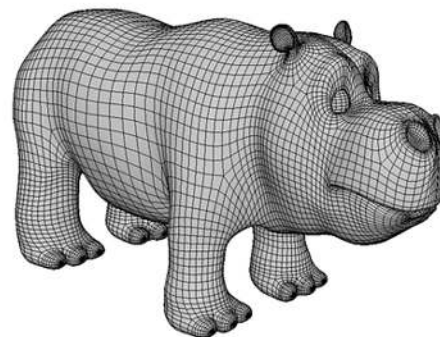


FIGURE 6.17 – Effet du type de déplacement sur l'équation de l'attention

Les résultats de la question PQ-14 révèlent un consensus sur la quasi-absence de temps de latence, à l'exception de quelques réserves concernant le chargement initial du deuxième environnement. Cette observation suggère une éventuelle surcharge d'éléments constitutifs de l'environnement ou la présence d'objets 3D complexes, comme illustré dans la figure 6.18. Malgré cela, les retours globaux indiquent une expérience fluide et immersive.



(A) Objet 3D à maillage faible



(B) Objet 3D à maillage Elevé

FIGURE 6.18 – Maillage Faible VS Maillage Elevé

En ce qui concerne la question PQ-11, spécifique à l'environnement 3 et abordant le mécanisme de manipulation d'objets en réalité virtuelle, les réactions unanimes des participants sont positives. Ils ont facilement maîtrisé la manipulation du menu sur la table et ont pu consulter son contenu sans difficulté, démontrant ainsi une adaptation aisée à l'interaction en réalité virtuelle.

Dans l'analyse de la question PQ-7, les retours des participants sont plus mitigés. Cette question évalue la cohérence perçue entre les expériences vécues en réalité virtuelle et les expériences du monde réel. Certains participants ont émis des réserves concernant la correspondance culturelle des activités intégrées dans les scénarios, les jugeant trop orientées vers une culture occidentale. Ces commentaires soulèvent des interrogations quant à l'universalité de l'expérience virtuelle et à sa capacité à refléter fidèlement les contextes culturels diversifiés des individus. Cette divergence

d'opinions met en évidence l'importance de prendre en compte les spécificités culturelles lors de la conception et de l'implémentation des scénarios en réalité virtuelle, afin d'assurer une expérience immersive et pertinente pour un public diversifié.

L'observation des états psychologiques et des réactions des patients face à leur addiction et à leurs envies de consommation a révélé des variations significatives selon les scénarios testés (voir figure 6.19).

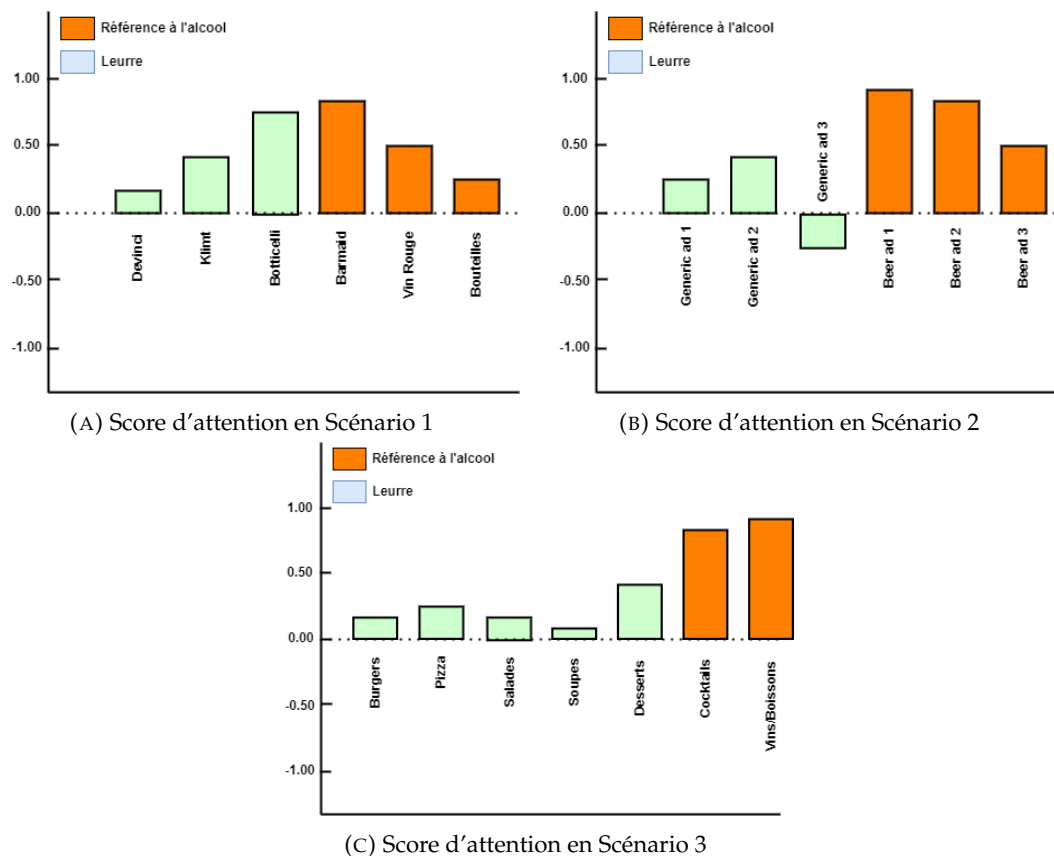


FIGURE 6.19 – Scores d'attention dans différents environnements

Dans l'environnement de la rue urbaine virtuelle, certains participants ont exprimé une augmentation notable de leur désir de consommer de l'alcool en réaction aux stimuli subtils présents dans les annonces publicitaires pour des boissons alcoolisées. Cette réaction se reflète dans les scores d'attention observés, indiquant une sensibilité particulière à ces éléments incitatifs (voir figure 6.19b). Un schéma similaire a été observé dans l'environnement 3 (bistrot virtuel), où les scores d'attention des participants ont révélé un attrait manifeste pour les sections du menu proposant des boissons alcoolisées (voir figure 6.19c). En revanche, dans la galerie d'art virtuelle, les œuvres associées à l'alcool ont suscité des réactions plus mitigées, allant de l'indifférence à une légère contemplation chez certains individus. Cette variation de réponses émotionnelles et comportementales souligne l'importance de concevoir des interventions personnalisées pour la prise en charge de l'alcoolisme, adaptées aux profils spécifiques des patients.

Pour mieux évaluer les états psychologiques des participants, ces derniers ont répondu à des items significatifs du questionnaire sur le désir de consommation d'alcool (Alcohol Craving) avant et après l'expérience. Les résultats détaillés de

cette évaluation sont présentés dans la figure C.1. Ces données permettent une compréhension approfondie des variations du désir de consommation d'alcool en réponse aux différents environnements virtuels, offrant ainsi des insights précieux pour orienter les futures interventions thérapeutiques et de prévention de l'alcoolisme.

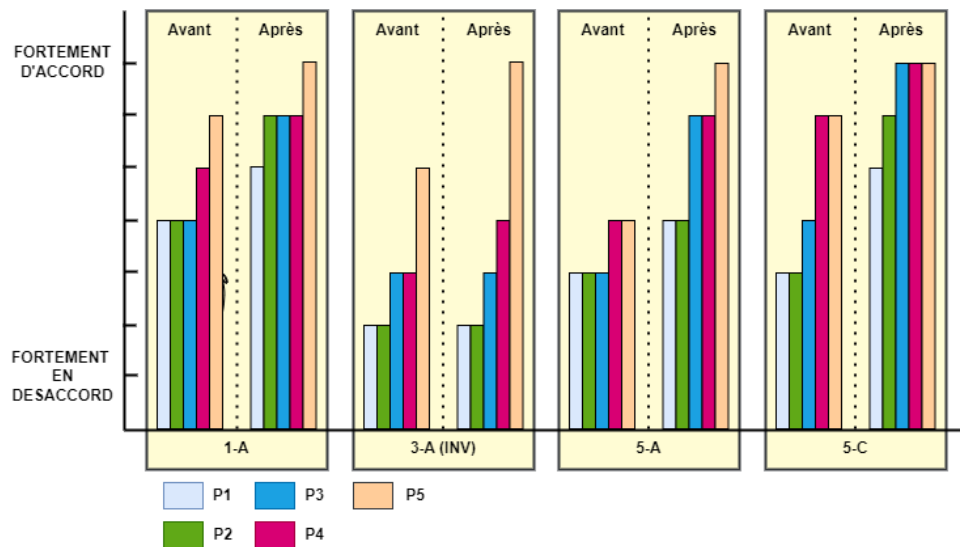


FIGURE 6.20 – Effet du type de déplacement sur l'équation de l'attention

L'analyse des réponses aux questionnaires sur le désir de consommation d'alcool révèle des tendances significatives. Concernant la question 1-A portant sur l'envie de consommer de l'alcool, il est observé que cette envie était déjà légèrement présente avant l'expérimentation et a été davantage exacerbée en post-expérimentation. Cette augmentation de l'envie de consommer néanmoins, ne s'accompagne pas d'une évolution similaire dans la perception du sentiment de bien-être après consommation, comme le montre la question 3-A. Ce qui suggère une maturité et une conscience restée présente chez les individus. Par ailleurs, les questions 5-A et 5-C, axées sur le sentiment de manque de contrôle concernant la consommation ou la surconsommation d'alcool, reflètent une augmentation naturelle en corrélation avec l'intensification de l'envie de consommer constatée en post-expérimentation. Ces observations soulignent l'impact potentiellement déstabilisant des stimuli liés à l'alcool présents dans l'environnement virtuel sur les sentiments d'envie et de contrôle chez les participants.

6.7 Conclusion et perspectives

Ce chapitre a exploré de manière approfondie l'approche novatrice de dépistage de l'alcoolisme à travers l'utilisation de la réalité virtuelle (RV) et de l'analyse de l'attention visuelle. En intégrant ces technologies émergentes, notre étude a cherché à surmonter les défis majeurs associés au dépistage traditionnel de l'alcoolisme, tels que le déni et la sous-déclaration, en fournissant une méthode objective et précise pour évaluer les réponses des individus aux stimuli liés à la consommation d'alcool.

Nos résultats préliminaires ont démontré une immersion satisfaisante des participants dans les environnements virtuels conçus, avec des scores élevés sur les

échelles d'évaluation de la présence et de l'immersion. De plus, l'analyse des réponses aux questions sur le désir de consommation d'alcool a révélé des tendances significatives, mettant en évidence l'impact potentiellement déstabilisant des stimuli liés à l'alcool sur les sentiments d'envie et de contrôle chez les participants.

En envisageant l'avenir de cette approche, il est crucial de poursuivre les recherches pour affiner les méthodes de dépistage et d'évaluation, ainsi que pour développer des interventions ciblées et efficaces pour les individus identifiés comme étant à risque d'alcoolisme. L'exploitation des données quantitatives collectées dans nos environnements virtuels pour former des modèles de machine learning représente une avenue prometteuse pour la détection précoce des patterns associés à l'alcoolisme.

En combinant les avantages de la réalité virtuelle, de l'analyse de l'attention visuelle et de l'apprentissage automatique, notre approche ouvre de nouvelles perspectives dans la lutte contre l'alcoolisme, offrant des outils avancés pour le dépistage, la prévention et la prise en charge de cette maladie complexe et omniprésente. En continuant à explorer ces voies innovantes, nous espérons contribuer de manière significative à l'amélioration de la santé individuelle et de la société dans son ensemble.

Conclusion Générale

Cette thèse a approfondi l'intégration prometteuse des technologies avancées dans le domaine de la psychiatrie, couvrant les concepts fondamentaux de la psychiatrie, les technologies émergentes, et un état de l'art des recherches pertinentes. Les trois contributions originales présentées - AutismAI Screener, Friendly, et VirtualSobriety - illustrent comment ces technologies peuvent enrichir et transformer la psychothérapie.

AutismAI Screener utilise l'apprentissage automatique pour dépister précocement les signes de l'autisme chez les enfants, offrant une évaluation précise et rapide pour faciliter une intervention anticipée. Friendly, un chatbot thérapeutique, améliore l'engagement des enfants autistes en adaptant ses interactions grâce à l'apprentissage profond et à l'informatique affective, favorisant ainsi le développement de compétences en communication et de comportements sociaux. VirtualSobriety, quant à lui, quantifie l'attention visuelle dans des environnements contrôlés utilisant la réalité virtuelle pour explorer le dépistage de l'alcoolisme, en mesurant l'impact des stimuli visuels subtils sur l'envie de consommer.

Perspectives

Bien que les résultats obtenus soient prometteurs, l'intégration de ces technologies en psychiatrie n'en est qu'à ses débuts. Les perspectives de recherche et de développement sont vastes et suggèrent plusieurs directions potentielles :

1. **Validation Clinique Plus Large** : Il est essentiel d'élargir les études cliniques pour valider l'efficacité de ces technologies sur des populations diversifiées et à plus grande échelle, afin d'assurer leur généralisabilité et leur efficacité dans des contextes variés. Des essais cliniques multicentriques permettront d'évaluer la robustesse de ces technologies et d'identifier les conditions optimales pour leur mise en œuvre.
2. **Amélioration des Technologies** : Poursuivre le développement et l'affinement des technologies, notamment en améliorant les interfaces utilisateurs, en augmentant la précision des analyses de données, et en enrichissant les environnements virtuels pour qu'ils soient encore plus immersifs et réalistes. L'optimisation des algorithmes de machine learning et l'intégration de capteurs biométriques avancés peuvent également contribuer à des interventions plus personnalisées.
3. **Formation et Éthique** : Il est crucial de former les professionnels de la santé mentale à l'utilisation efficace de ces technologies et de continuer à explorer les questions éthiques liées à leur utilisation, notamment en ce qui concerne la confidentialité des données, le consentement éclairé, et l'autonomie des patients. La mise en place de cadres réglementaires clairs et de lignes directrices éthiques est nécessaire pour garantir une utilisation responsable.
4. **Intégration Multimodale** : Explorer des approches multimodales qui combinent plusieurs technologies pour créer des interventions thérapeutiques holistiques

et intégrées. Par exemple, combiner la réalité virtuelle et l'informatique affective pour créer des thérapies personnalisées qui répondent simultanément aux besoins cognitifs et émotionnels des patients. L'intégration de données provenant de capteurs portables et d'applications de suivi pourrait enrichir encore davantage ces interventions.

5. **Accès et Disparités** : Travailler à rendre ces technologies accessibles et abordables pour tous les segments de la population afin de réduire les disparités en matière de soins de santé mentale et d'assurer une équité dans l'accès aux traitements innovants. Des initiatives de subvention et des partenariats public-privé peuvent jouer un rôle clé dans la démocratisation de ces technologies.

En conclusion, l'intégration de technologies avancées en psychiatrie représente un tournant majeur dans le traitement des troubles mentaux. En continuant à explorer, à développer et à évaluer ces technologies, nous pouvons espérer ouvrir de nouvelles voies vers des soins psychiatriques plus efficaces et personnalisés, améliorant ainsi de manière significative la qualité de vie des patients à travers le monde. Les innovations technologiques, lorsqu'elles sont utilisées de manière éthique et équitable, ont le potentiel de transformer radicalement la santé mentale, offrant des solutions novatrices pour des défis complexes et diversifiés.

Annexe A

Liste de contrôle modifiée pour l'autisme chez les jeunes enfants, corrigée avec suivi (MCHAT-R/F)

A.1 Contenu

Répondez à ces questions sur votre enfant. Gardez à l'esprit la façon dont votre enfant se comporte habituellement. Si vous avez vu votre enfant avoir ce comportement à plusieurs reprises mais qu'il ne l'a pas habituellement répondez non. Entourez oui ou non pour chaque question. Merci beaucoup.

1. Si vous pointez du doigt quelque chose de l'autre côté de la pièce, est ce que votre enfant le regarde? (PAR EXEMPLE : Si vous pointez du doigt un jouet ou un animal, est ce que votre enfant regarde le jouet ou l'animal?)	Oui	Non
2. Vous êtes vous déjà demandé si votre enfant pouvait être sourd?	Oui	Non
3. Est-ce que votre enfant joue à faire semblant? (PAR EXEMPLE : Faire semblant de boire dans une tasse vide, de parler au téléphone, de faire manger une poupée ou un animal en peluche?)	Oui	Non
4. Est-ce que votre enfant aime grimper sur des choses? (PAR EXEMPLE : meubles, jeux d'extérieur, marches d'escalier)	Oui	Non
5. Est-ce que votre enfant fait des gestes inhabituels avec ses doigts près de ses yeux? (PAR EXEMPLE : est-ce que votre enfant agite ses doigts près de ses yeux?)	Oui	Non
6. Est-ce que votre enfant pointe du doigt pour demander quelque chose, ou pour avoir de l'aide? (PAR EXEMPLE : Pointer du doigt un gâteau ou un jouet hors de portée)	Oui	Non
7. Est-ce que votre enfant pointe du doigt pour montrer quelque chose d'intéressant? (PAR EXEMPLE : un avion dans le ciel ou un gros camion sur la route)	Oui	Non
8. Est-ce que votre enfant s'intéresse aux autres enfants? (PAR EXEMPLE : Est-ce que votre enfant regarde les autres enfants, leur sourit, va vers eux?)	Oui	Non
9. Est-ce que votre enfant vous montre des choses en vous les amenant ou en les tenant en l'air pour que vous les voyez, pas pour obtenir de l'aide mais juste pour partager? (PAR EXEMPLE : vous montrer une fleur, une peluche, une petite voiture)	Oui	Non

10. Est-ce que votre enfant répond quand vous l'appellez par son nom ? (PAR EXEMPLE : est-ce qu'il regarde, parle ou gazouille, ou arrête ce qu'il est entrain de faire quand vous l'appellez par son nom ?	Oui	Non
11. Quand vous lui souriez, est-ce qu'il vous sourit en retour ?	Oui	Non
12. Est-ce que les bruits du quotidien perturbent votre enfant ? (PAR EXEMPLE : Est-ce que votre enfant crie ou pleure en entendant l'aspirateur ou de la musique forte ?)	Oui	Non
13. Est-ce que votre enfant marche ?	Oui	Non
14. Est-ce que votre enfant vous regarde dans les yeux lorsque vous lui parlez, que vous jouez avec lui ou que vous l'habiliez ?	Oui	Non
15. Est-ce que votre enfant essaye d'imiter ce que vous faites ? (PAR EXEMPLE : faire un signe de la main pour dire au revoir, taper dans les mains, ou faire un bruit rigolo quand vous le faites)	Oui	Non
16. Si vous tournez votre tête pour regarder quelque chose, est-ce que votre enfant regarde autour de lui pour voir ce que vous regardez ?	Oui	Non
17. Est-ce que votre enfant essaye d'attirer votre attention ? (PAR EXEMPLE : Est-ce que votre enfant vous regarde pour avoir une félicitation, ou dit « Regarde » ou « Regarde-moi » ?)	Oui	Non
18. Est-ce que votre enfant comprend quand vous lui demandez de faire quelque chose ? (PAR EXEMPLE : sans que vous pointiez du doigt, est-ce que votre enfant comprend « mets le livre sur la chaise » ou « apporte-moi la couverture » ?)	Oui	Non
19. Si quelque chose de nouveau arrive, est-ce que votre enfant regarde votre visage pour voir comment vous réagissez ? (PAR EXEMPLE : S'il entend un bruit étrange ou rigolo, ou voit un nouveau jouet, est-ce qu'il regarde votre visage ?)	Oui	Non
20. Est-ce que votre enfant aime les activités de mouvement ? (PAR EXEMPLE : Etre balancé ou sauter sur vos genoux)	Oui	Non

TABLE A.1 – Contenu du MCHAT-R/F [212]

A.2 Algorithme de cotation

Pour tous les items sauf le 2, 5 et 12, la réponse « NON » indique un risque de TSA ; pour les items 2, 5 et 12, « OUI » indique un risque de TSA. L'algorithme suivant maximise les propriétés psychométriques du M-CHAT-R :

- **RISQUE FAIBLE** : Score total entre 0-2; si l'enfant à moins de 24 mois, repasser le test après le deuxième anniversaire. Aucune autre action n'est requise à moins qu'une surveillance indique un risque de TSA.
- **RISQUE MOYEN** : Score total entre 3-7; Faire passer le test de suivi (deuxième étape du MCHAT-R/F) afin d'obtenir des informations complémentaires sur les réponses à risque. Si le score du M-CHAT-R/F reste de 2 ou plus, le résultat est positif. Action requise : orientez l'enfant pour une évaluation diagnostic ainsi qu'une évaluation d'éligibilité pour une prise en charge précoce. Si le score du test de suivi est de 0-1, le résultat est négatif. Aucune autre action n'est requise à moins qu'une surveillance indique un risque de TSA. L'enfant devra être réévalué lors des visites médicales suivantes.

- **RISQUE ELEVE** : Score total entre 8-20; Il est possible de contourner le test de suivi et de procéder directement à une évaluation de diagnostic ainsi qu'une évaluation d'éligibilité pour une prise en charge précoce.

Annexe B

Questionnaire Hybride : Version Intégrale

B.1 Contenu

B.1.1 Informations Personnelles

- Âge de l'enfant
- Sexe de l'enfant
- Nom de l'enfant

B.1.2 Orientation sociale et communication réceptive

- Votre enfant vous regarde-t-il lorsque vous l'appellez par son nom ?
- Votre bébé semble-t-il intéressé par d'autres bébés de son âge ?
- Lorsque vous pointez quelque chose, votre enfant suit-il votre regard pour voir ce que vous pointez ?
- Votre enfant : semble-t-il distant ou détaché ?
- Votre enfant montre-t-il de l'intérêt pour d'autres enfants en : montrant de l'inquiétude si un autre enfant est contrarié ?
- Votre enfant est-il capable d'initier un échange social avec d'autres enfants ?
- Votre enfant vous regarde-t-il directement au visage sur demande ?
- Votre enfant semble-t-il souvent comme s'il était dans son propre monde ?
- Votre bébé lève-t-il les yeux de son jouet préféré si vous lui montrez un jouet différent ?

B.1.3 Communication expressive

- Lorsque votre enfant exprime ses sentiments, par exemple en pleurant ou en souriant, est-ce principalement aux moments attendus et appropriés ?
- Lorsque votre enfant a été laissé seul pendant un certain temps, essaie-t-il d'attirer votre attention, par exemple en pleurant ou en appelant ?
- Votre enfant réagit-il lorsqu'on lui parle, par exemple, en regardant, écoutant, souriant, parlant ou babillant ?
- Votre enfant utilise-t-il jamais son index pour pointer, indiquant ainsi son intérêt pour quelque chose ?
- Votre enfant regarde-t-il votre visage lorsque vous tenez un objet devant vous ?
- Votre bébé essaie-t-il d'attirer votre attention pour vous montrer quelque chose d'intéressant ?
- Votre bébé essaie-t-il d'attirer votre attention en faisant des sons et en vous regardant en même temps ?

B.1.4 Traitement sensoriel

- Votre bébé recrache-t-il certaines textures d'aliments, comme des morceaux grumeleux ou épais ?
- Votre bébé semble-t-il gêné par les bruits forts ?
- Votre bébé ignore-t-il les bruits forts ou surprenants ?
- Votre enfant est-il sensible aux expériences douloureuses telles que se cogner la tête ?
- Votre enfant réagit-il de manière normale à la stimulation sensorielle, telle que (froid, chaleur), lumière, son, douleur ou chatouillement ?
- Est-il facile de faire un contact visuel avec votre enfant ?

B.1.5 Comportements répétitifs

- Votre enfant s'intéresse-t-il à différents types d'objets et pas seulement, par exemple, aux voitures ou aux boutons ?
- Votre enfant regarde-t-il des objets rotatifs comme un ventilateur ou des roues pendant de longues périodes ?
- Votre bébé est-il content de jouer seul pendant une heure ou plus à la fois ?
- Votre bébé se balance-t-il d'avant en arrière encore et encore ?
- Votre bébé reste-t-il bloqué à faire une activité simple encore et encore ?
- Votre bébé aime-t-il fixer une lumière vive pendant de longues périodes ?
- Votre bébé semble-t-il se concentrer sur une partie d'un jouet (comme un œil, une étiquette, une roue ou une étiquette) au lieu de l'ensemble du jouet ?
- Votre bébé aime-t-il frotter ou gratter des jouets ou des objets pendant de longues périodes ?
- Votre bébé aime-t-il faire tourner des objets encore et encore de la même manière ?

B.1.6 Imitation

- Votre enfant fait-il semblant, par exemple, de préparer une tasse de thé avec une tasse et une théière jouet, ou fait-il semblant d'autres choses ?
- Votre enfant vous imite-t-il en faisant la vaisselle, en faisant semblant de cuisiner ou de sortir les poubelles, etc. ?
- Votre enfant imite-t-il vos gestes faciaux ?
- Votre bébé participe-t-il facilement lorsque vous lui présentez un nouveau jeu (comme le coucou caché, etc.) ?

B.1.7 Engagement social et affectif

- Votre enfant, de son propre chef, vous apporte-t-il des objets ou vous montre-t-il quelque chose ?
- Si vous ou quelqu'un d'autre dans la famille êtes visiblement contrarié, votre enfant montre-t-il des signes de vouloir les reconforter ? (par exemple en caressant les cheveux, en les embrassant)
- Votre enfant montre-t-il de l'affection en se blottissant contre vous ?
- Votre enfant vous montre-t-il des choses qu'il/elle a faites et souhaite que vous les louiez ?
- Votre enfant sourit-il lorsque vous le louez ?
- Votre enfant réciproque-t-il les gestes affectueux de votre part ?
- Dans des situations nouvelles ou étranges, votre bébé regarde-t-il votre visage pour se rassurer ?

- Est-il facile de comprendre les expressions faciales de votre bébé ?
- Votre bébé sourit-il en vous regardant ?
- Votre bébé essaie-t-il d'attirer votre attention pour jouer à des jeux physiques, comme se balancer, se chatouiller ou être lancé en l'air ?

B.1.8 Réactivité

- Votre bébé se met-il en colère lorsque vous devez le passer d'une activité à une autre ?
- Est-il difficile de calmer votre bébé une fois qu'il ou elle est contrarié(e) ?
- Votre enfant répond-il de manière ludique en : jouant à des jeux de simulation avec des poupées, des voitures, des figurines, une maison de poupée ?

B.1.9 Sans catégorie

- Votre enfant : a-t-il un visage impassible ?
- Votre bébé utilise-t-il l'index et le bout du pouce pour ramasser un très petit objet comme un raisin sec ou un Cheerio ?
- Votre enfant regarde-t-il souvent le jouet avec lequel il ou elle joue (en manipulant) ?

Annexe C

Outils d'évaluation du niveau d'immersion/Outils d'évaluation de l'envie de consommation

C.1 SLATER-USOH-STEED QUESTIONNAIRE (SUS)

1. Veuillez évaluer votre sentiment d'être dans l'environnement virtuel, sur une échelle de 1 à 7, où 7 représente votre expérience normale d'être dans un lieu.
2. Dans quelle mesure y a-t-il eu des moments pendant l'expérience où l'environnement virtuel était la réalité pour vous ?
3. Lorsque vous pensez à l'expérience, considérez-vous l'environnement virtuel davantage comme des images que vous avez vues ou comme un endroit que vous avez visité ?
4. Pendant l'expérience, quel était le plus fort dans l'ensemble, votre sentiment d'être dans l'environnement virtuel ou d'être ailleurs ?
5. En ce qui concerne votre souvenir d'être dans l'environnement virtuel, à quel point est-il similaire en termes de structure de la mémoire à celui d'autres endroits que vous avez fréquentés aujourd'hui ? Par "structure de la mémoire", considérez des éléments tels que l'étendue de votre mémoire visuelle de l'environnement virtuel, si cette mémoire est en couleur, dans quelle mesure elle semble vivante ou réaliste, sa taille, son emplacement dans votre imagination, dans quelle mesure elle est panoramique dans votre imagination, et d'autres éléments structurels similaires.
6. Pendant l'expérience, pensiez-vous souvent que vous étiez réellement dans l'environnement virtuel ?

C.2 I-Group Presence Questionnaire (IPQ) (version Française)

Num	IPQ item	Question	Echelle
1	G1	Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment d'y être.	Pas du tout–Beaucoup
2	SP1	D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel m'entourait.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord
3	SP2	J'avais l'impression que j'étais juste en train de percevoir des images.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord
4	SP3	Je ne me suis pas senti présent dans l'espace virtuel.	Pas senti présent–Senti présent
5	SP4	J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.	Pas du tout d'accord–Complètement d'accord
6	SP5	Je me suis senti présent dans l'espace virtuel.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord
7	INV1	A quel point étiez-vous conscient du monde réel environnant alors que vous étiez en train de naviguer dans le monde virtuel? (par exemple : sons, température de la pièce, présence d'autres gens, etc.)?	Extrêmement conscient–Modérément conscient–Pas conscient du tout
8	INV2	Je n'étais pas conscient de mon environnement réel.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord
9	INV3	Je faisais toujours attention à l'environnement réel.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord
10	INV4	J'étais complètement captivé par le monde virtuel.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord
11	REAL1	Comment le monde virtuel vous a-t-il semblé?	Complètement réel–Pas du tout réel
12	REAL2	A quel point votre expérience dans l'environnement virtuel vous a-t-elle semblée cohérente avec votre expérience dans le monde réel?	Pas cohérente–Modérément cohérente–Très cohérente
13	REAL3	A quel point le monde virtuel vous a-t-il semblé réel?	A peu près aussi réel qu'un monde imaginé–Indistinguable du monde réel
14	REAL4	Le monde virtuel semblait plus réaliste que le monde réel.	Pas du tout d'accord–Tout à fait d'accord

TABLE C.1 – I-Group Presence Questionnaire (IPQ) (version Française)

C.3 PRESENCE QUESTIONNAIRE (Witmer & Singer, Vs. 3.0, Nov. 1994)

C.3.1 Contenu

Caractériser votre expérience dans l'environnement, en marquant une "X" dans la case appropriée de l'échelle de 7 points, conformément au contenu de la question et aux étiquettes descriptives. Veuillez tenir compte de toute l'échelle lorsque vous faites vos réponses, car les niveaux intermédiaires peuvent s'appliquer. Répondez aux questions indépendamment dans l'ordre où elles apparaissent. Ne sautez aucune question et ne revenez pas à une question précédente pour changer votre réponse.

DANS LE CONTEXTE DE L'ENVIRONNEMENT EXPÉRIMENTÉ :

1. Dans quelle mesure avez-vous pu contrôler les événements ?
2. À quel point l'environnement répondait-il aux actions que vous avez initiées (ou effectuées) ?
3. À quel point vos interactions avec l'environnement semblaient-elles naturelles ?
4. Dans quelle mesure les aspects visuels de l'environnement vous impliquaient-ils ?
5. À quel point le mécanisme qui contrôlait les mouvements à travers l'environnement semblait-il naturel ?
6. À quel point votre perception des objets se déplaçant dans l'espace était-elle convaincante ?
7. Dans quelle mesure vos expériences dans l'environnement virtuel semblaient-elles cohérentes avec vos expériences dans le monde réel ?
8. Étiez-vous en mesure d'anticiper ce qui se passerait ensuite en réponse aux actions que vous avez effectuées ?
9. Dans quelle mesure avez-vous été en mesure de parcourir ou d'explorer activement l'environnement en utilisant votre vision ?
10. À quel point votre sensation de vous déplacer à l'intérieur de l'environnement virtuel était-elle convaincante ?
11. Dans quelle mesure avez-vous été en mesure d'examiner de près les objets ?
12. Dans quelle mesure avez-vous été en mesure d'examiner les objets sous plusieurs angles ?
13. À quel point avez-vous été impliqué dans l'expérience de l'environnement virtuel ?
14. À quel point avez-vous ressenti de retard entre vos actions et les résultats attendus ?
15. À quelle vitesse vous êtes-vous adapté à l'expérience de l'environnement virtuel ?
16. À quel point vous êtes-vous senti compétent pour vous déplacer et interagir avec l'environnement virtuel à la fin de l'expérience ?
17. Dans quelle mesure la qualité de l'affichage visuel vous a-t-elle gêné ou distrait de l'exécution des tâches assignées ou des activités requises ?
18. Dans quelle mesure les dispositifs de contrôle ont-ils interféré avec l'exécution des tâches assignées ou d'autres activités ?

19. Dans quelle mesure avez-vous pu vous concentrer sur les tâches assignées ou les activités requises plutôt que sur les mécanismes utilisés pour effectuer ces tâches ou activités?
20. SI L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL INCLUAIT DES SONS :
- (a) Dans quelle mesure les aspects auditifs de l'environnement vous impliquaient-ils ?
 - (b) À quel point pouviez-vous identifier les sons ?
 - (c) À quel point pouviez-vous localiser les sons ?
21. SI L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL INCLUAIT LE HAPTIC (SENS DU TOUCHER) :
- (a) Dans quelle mesure pouviez-vous parcourir ou explorer activement l'environnement virtuel en utilisant le toucher ?
 - (b) Dans quelle mesure pouviez-vous déplacer ou manipuler des objets dans l'environnement virtuel ?

C.3.2 Catégorisation

- Total : Éléments 1 à 19 (éléments inversés 14, 17, 18)
- « **Réalisme** » : Éléments 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 10 + 13
 - « **Possibilité d'agir** » : Éléments 1 + 2 + 8 + 9
 - « **Qualité de l'interface** » : Éléments (tous inversés) 14 + 17 + 18
 - « **Possibilité d'examiner** » : Éléments 11 + 12 + 19
 - « **Auto-évaluation de la performance** » : Éléments 15 + 16

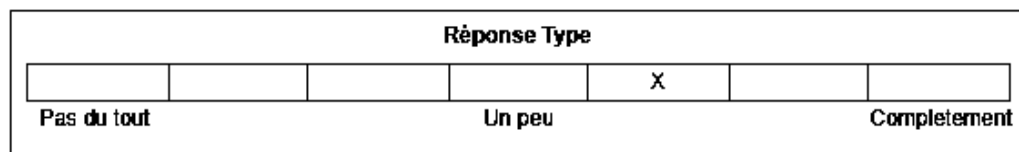


FIGURE C.1 – Réponse type au PQ

C.4 ALCOHOL CRAVING QUESTIONNAIRE

C.4.1 Background

L'ALCOHOL CRAVING QUESTIONNAIRE (ACQ-NOW ; Singleton et al., 1995) contient 45 items développés pour évaluer les aspects multidimensionnels du craving (envie de consommation) pour l'alcool chez les personnes alcooliques (Singleton et al., 1998 ; Anton, 1999 ; Drobles et al., 1999). Quarante-cinq items (45) ont été adaptés du Questionnaire du COCAINE CRAVING QUESTIONNAIRE (CCQ-NOW ; Tiffany, Singleton, Henningfield, & Haertzen, 1993). Chaque item est lié à l'un des cinq domaines considérés comme pertinents : (1) envies et désirs de boire de l'alcool, (2) intention de consommer de l'alcool, (3) anticipation de résultats positifs, (4) anticipation de soulagement du sevrage et de résultats négatifs, et (5) manque de contrôle sur la consommation.

C.4.2 Contenu

1. ENVIES ET DÉSIRS DE CONSOMMER DE L'ALCOOL

- (a) En ce moment, la consommation me manque.
- (b) J'ai envie de boire maintenant.
- (c) J'ai tellement envie de boire que je peux presque le goûter.
- (d) J'ai envie de consommer de l'alcool dès maintenant.
- (e) Tout ce que je veux faire maintenant, c'est boire.
- (f) Je n'ai pas besoin de consommer de l'alcool maintenant.
- (g) Je n'ai aucune envie de boire maintenant.
- (h) J'ai une forte envie de boire en ce moment.
- (i) Mon désir de boire semble irrépressible.

2. INTENTION DE CONSOMMER DE L'ALCOOL

- (a) Si j'avais l'occasion de consommer de l'alcool, je pense que je boirais.
- (b) Même si c'était possible, je ne boirais probablement pas maintenant.
- (c) Je vais boire dès que possible.
- (d) En ce moment, je ne prévois pas de boire.
- (e) Je ferais presque n'importe quoi pour boire.
- (f) Je cherche des moyens d'obtenir de l'alcool.
- (g) Si j'avais de l'alcool maintenant, je le boirais probablement.
- (h) Je boirai dès que j'en aurai l'occasion.
- (i) Si on m'offrait de l'alcool, je le boirais immédiatement.

3. ANTICIPATION DE RÉSULTATS POSITIFS

- (a) Boire de l'alcool ne serait pas agréable en ce moment.
- (b) Boire serait merveilleux.
- (c) Boire rendrait les choses parfaites.
- (d) Rien ne serait mieux que de boire maintenant.
- (e) Boire un verre serait idéal.
- (f) Boire ne serait pas très satisfaisant en ce moment.
- (g) Je n'apprécierais pas de boire maintenant.
- (h) Ce serait génial de boire maintenant.

- (i) Boire ne me rendrait pas content.
- 4. ANTICIPATION DE SOULAGEMENT DES SYMPTÔMES DE SEVRAGE OU DE RÉSULTATS NÉGATIFS
 - (a) Je me sentirais mieux si je pouvais boire.
 - (b) Je serais moins nerveux si je consommais de l'alcool maintenant.
 - (c) Je me sentirais plus maître de la situation si je pouvais boire maintenant.
 - (d) Boire me ferait moins trembler.
 - (e) Je serais moins irritable maintenant si je consommais de l'alcool.
 - (f) Si je consommais de l'alcool maintenant, je serais moins tendu.
 - (g) Je serais moins agité si je buvais de l'alcool maintenant.
 - (h) Si je consommais de l'alcool maintenant, je serais moins nerveux.
 - (i) Boire me mettrait de meilleure humeur.
- 5. MANQUE DE CONTRÔLE SUR LA CONSOMMATION
 - (a) S'il y avait de l'alcool juste devant moi, il serait difficile de ne pas en consommer.
 - (b) Je ne pourrais pas m'empêcher de boire s'il y avait de l'alcool ici.
 - (c) Si je buvais un peu d'alcool maintenant, je ne pourrais pas m'arrêter.
 - (d) Il serait difficile de refuser un verre à cet instant.
 - (e) À partir de maintenant, je pourrais facilement m'abstenir de boire.
 - (f) Je ne pourrais pas contrôler la quantité d'alcool que je boirais s'il y en avait ici.
 - (g) Je pourrais facilement limiter la quantité d'alcool que je bois maintenant.
 - (h) Je pense que je pourrais résister à la consommation d'alcool maintenant.
 - (i) Il serait facile de refuser l'occasion de boire de l'alcool.

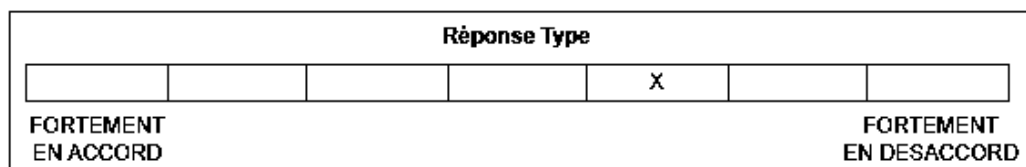


FIGURE C.2 – Réponse type au ACQ

Bibliographie

1. Abdi, H., Valentin, D., Edelman, B. : Neural networks. Sage (1999)
2. Abramowitz, J.S., Deacon, B.J., Whiteside, S.P. : Exposure therapy for anxiety : Principles and practice. Guilford Publications (2019)
3. Adamopoulou, E., Moussiades, L. : An overview of chatbot technology. In : IFIP international conference on artificial intelligence applications and innovations, p. 373-383 (2020)
4. Ahmed, H.S., Abdelkrim, B., Miguel, M.M.J. : A Lossless Virtual Reality Based Alternative to Eye-Tracking for Attention Quantification. In : 2023 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA), p. 93-96 (2023)
5. Allison, C., Auyeung, B., Baron-Cohen, S. : Toward brief "red flags" for autism screening : the short autism spectrum quotient and the short quantitative checklist in 1,000 cases and 3,000 controls. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry* **51**(2), 202-212 (2012)
6. Allison, C., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Charman, T., Richler, J., Pasco, G., Brayne, C. : The Q-CHAT (Quantitative CHECKlist for Autism in Toddlers) : a normally distributed quantitative measure of autistic traits at 18–24 months of age : preliminary report. *Journal of autism and developmental disorders* **38**, 1414-1425 (2008)
7. Allison, C., Williams, J., Scott, F., Stott, C., Bolton, P., Baron-Cohen, S., Brayne, C. : The Childhood Asperger Syndrome Test (CAST) Test–retest reliability in a high scoring sample. *Autism* **11**(2), 173-185 (2007)
8. Alloghani, M., Al-Jumeily, D., Mustafina, J., Hussain, A., Aljaaf, A.J. : A systematic review on supervised and unsupervised machine learning algorithms for data science. *Supervised and unsupervised learning for data science* (2020)
9. American Psychiatric Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-5*. Autor, Washington, DC (2013)
10. American Psychiatric Association, *Practice Guideline for the Treatment of Patients With Major Depressive Disorder*, https://psychiatryonline.org/pb/assets/raw/sitewide/practice_guidelines/guidelines/mdd.pdf (2010). Accessed : [Date].
11. American Psychiatric Association, A., Association, A.P. *et al.* : *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-IV*. American psychiatric association Washington, DC (1994)
12. American Psychiatric Association, A., Association, A.P. *et al.* : *Diagnostic and statistical manual of mental disorders : DSM-V*. American psychiatric association Washington, DC (2013)
13. Antonuccio, D.O., Danton, W.G., DeNelsky, G.Y. : Psychotherapy versus medication for depression : challenging the conventional wisdom with data. *Professional Psychology : Research and Practice* **26**(6), 574 (1995)
14. AshaRani, P., Karuvetil, M.Z., Brian, T.Y.W., Satghare, P., Roystonn, K., Peizhi, W., Cetty, L., Zainuldin, N.A., Subramaniam, M. : Prevalence and correlates of physical comorbidities in alcohol use disorder (AUD) : a pilot study in treatment-seeking population. *International Journal of Mental Health and Addiction* **21**(4), 2508-2525 (2023)
15. Attwood, A. : *Asperger's syndrome : A guide for parents and professionals*. Jessica Kingsley Publishers (1997)
16. Bai, Y. : RELU-function and derived function review. In : SHS Web of Conferences, p. 02006 (2022)
17. Baird, G., Charman, T., Baron-Cohen, S., Cox, A., Swettenham, J., Wheelwright, S., Drew, A. : A screening instrument for autism at 18 months of age : a 6-year follow-up study. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry* **39**(6), 694-702 (2000)
18. Beck, A.T., Epstein, N., Brown, G., Steer, R. : *Beck anxiety inventory*. Journal of consulting and clinical psychology (1993)
19. Beck, J.S. : *Cognitive behavior therapy : Basics and beyond*. Guilford Publications (2020)

20. Beresford, T.P., Wongngamnit, N., Temple, B.A. : Alcoholism : diagnosis, prognosis, epidemiology, and burden of the disease. *Handbook of clinical neurology* **125**, 3-13 (2014)
21. Berument, S.K., Rutter, M., Lord, C., Pickles, A., Bailey, A. : Autism screening questionnaire : diagnostic validity. *The British Journal of Psychiatry* **175**(5), 444-451 (1999)
22. Bhatt, D., Patel, C., Talsania, H., Patel, J., Vaghela, R., Pandya, S., Modi, K., Ghayvat, H. : CNN variants for computer vision : History, architecture, application, challenges and future scope. *Electronics* **10**(20), 2470 (2021)
23. Bilquise, G., Ibrahim, S., Shaalan, K. *et al.* : Emotionally intelligent chatbots : A systematic literature review. *Human Behavior and Emerging Technologies* **2022** (2022)
24. Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., Oberman, M., Teitel, M. : Reality built for two : a virtual reality tool. In : *Proceedings of the 1990 symposium on Interactive 3D graphics*, p. 35-36 (1990)
25. Bradshaw, P., Pickett, C., van Driel, M.L., Brooker, K., Urbanowicz, A. : 'Autistic' or 'with autism' ? : Why the way general practitioners view and talk about autism matters. *Australian journal of general practice* **50**(3), 104-108 (2021)
26. Breidbord, J., Croudace, T.J. : Reliability generalization for childhood autism rating scale. *Journal of autism and developmental disorders* **43**, 2855-2865 (2013)
27. Brereton, A.V., Tonge, B.J., Mackinnon, A.J., Einfeld, S.L. : Screening young people for autism with the developmental behavior checklist. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry* **41**(11), 1369-1375 (2002)
28. Briggs-Gowan, M.J., Carter, A.S., Irwin, J.R., Wachtel, K., Cicchetti, D.V. : The Brief Infant-Toddler Social and Emotional Assessment : screening for social-emotional problems and delays in competence. *Journal of pediatric psychology* **29**(2), 143-155 (2004)
29. Brookman-Frazee, L.I., Drahota, A., Stadnick, N. : Training community mental health therapists to deliver a package of evidence-based practice strategies for school-age children with autism spectrum disorders : A pilot study. *Journal of autism and developmental disorders* **42**, 1651-1661 (2012)
30. Brown, H.D., Kosslyn, S.M. : Hemispheric differences in visual object processing : Structural versus allocation theories. (1995)
31. Bryson, S.E., Zwaigenbaum, L., McDermott, C., Rombough, V., Brian, J. : The Autism Observation Scale for Infants : scale development and reliability data. *Journal of autism and developmental disorders* **38**, 731-738 (2008)
32. Busch, F.N., Sandberg, L.S. : *Psychotherapy and medication : The challenge of integration*. Routledge (2016)
33. C2 Care, C2 Care, <https://www.c2.care/fr/>. Accessed : 3/9/2023.
34. Campbell, J.M. : Diagnostic assessment of Asperger's disorder : A review of five third-party rating scales. *Journal of Autism and Developmental Disorders* **35**, 25-35 (2005)
35. Carbone, P.S., Campbell, K., Wilkes, J., Stoddard, G.J., Huynh, K., Young, P.C., Gabrielsen, T.P. : Primary care autism screening and later autism diagnosis. *Pediatrics* **146**(2) (2020)
36. Carmigniani, J., Furht, B. : *Augmented reality : an overview*. *Handbook of augmented reality* (2011)
37. Chambless, D.L., Ollendick, T.H. : Empirically supported psychological interventions : Controversies and evidence. *Annual review of psychology* **52**(1), 685-716 (2001)
38. Charman, T., Gotham, K. : Measurement Issues : Screening and diagnostic instruments for autism spectrum disorders—lessons from research and practise. *Child and adolescent mental health* **18**(1), 52-63 (2013)
39. Choueiri, R., Wagner, S. : A new interactive screening test for autism spectrum disorders in toddlers. *The Journal of Pediatrics* **167**(2), 460-466 (2015)
40. Cochrane, A., Barnes-Holmes, D., Barnes-Holmes, Y. : The perceived-threat behavioral approach test (PT-BAT) : Measuring avoidance in high-, mid-, and low-spider-fearful participants. *The Psychological Record* **58**(4), 585-596 (2008)
41. Cohen, S. : The evolution of machine learning : Past, present, and future. In : *Artificial intelligence and deep learning in pathology*, p. 1-12. Elsevier (2021)
42. Coulehan, K, Baron, I. : *Neuropsychology, Developmental*. (2014)

43. Craske, M.G. : Cognitive-behavioral therapy. American Psychological Association (2010)
44. Craske, M.G., Mystkowski, J.L. : Exposure Therapy and Extinction : Clinical Studies. (2006)
45. Craske, M.G., Rauch, S.L., Ursano, R., Prenoveau, J., Pine, D.S., Zinbarg, R.E. : What is an anxiety disorder? *Focus* **9**(3), 369-388 (2011)
46. Daily, S.B., James, M.T., Cherry, D., Porter III, J.J., Darnell, S.S., Isaac, J., Roy, T. : Affective computing : historical foundations, current applications, and future trends. *Emotions and affect in human factors and human-computer interaction* (2017)
47. Dayan, P., Kakade, S., Montague, P.R. : Learning and selective attention. *Nature neuroscience* **3**(11), 1218-1223 (2000)
48. De Leeuw, E.D. : Choosing the method of data collection. In : *International handbook of survey methodology*, p. 113-135. Routledge (2012)
49. Dereu, M., Warreyn, P., Raymaekers, R., Meirsschaut, M., Pattyn, G., Schietecatte, I., Roeyers, H. : Screening for autism spectrum disorders in Flemish day-care centres with the checklist for early signs of developmental disorders. *Journal of autism and developmental disorders* **40**(10), 1247-1258 (2010)
50. DuBose, J. : The case for VR. *Journal of Electronic Resources Librarianship* **32**(2), 130-133 (2020)
51. Dugarin, J. : Addictology : a neo-discipline and its homogeneity. Historical conditions of its emergence in France. *Psychotropes* **25**(2), 171-184 (2019)
52. Eaves, R.C., Jr, T.O.W. : The reliability and construct validity of ratings for the Autism Behavior Checklist. *Psychology in the Schools* **43**(2), 129-142 (2006)
53. El Naqa, I., Murphy, M.J. : What is machine learning? Springer (2015)
54. Esfahani, S.R., Motaghipour, Y., Kamkari, K., Zahiredin, A., Janbozorgi, M. : Reliability and Validity of the Persian version of the Yale-Brown Obsessive-Compulsive scale (Y-BOCS). *Iranian journal of psychiatry and clinical psychology* (2012)
55. Fajnerová, I., Francová, A., Taranzová, K., Darmová, B., Kosová, E., Stopková, P. : Virtual reality environment for exposure therapy in obsessive-compulsive disorder : a validation study. *Virtual Reality* (2023)
56. Famili, A, Shen, W.-M., Weber, R., Simoudis, E. : Data preprocessing and intelligent data analysis. *Intelligent data analysis* **1**(1), 3-23 (1997)
57. Fantasia, V., De Jaegher, H., Fasulo, A. : We can work it out : an enactive look at cooperation. *Frontiers in psychology* **5**, 874 (2014)
58. Farmer, R.E. : Behavioral interventions in cognitive behavior therapy (2008)
59. Filippini, C., Perpetuini, D., Cardone, D., Chiarelli, A.M., Merla, A. : Thermal infrared imaging-based affective computing and its application to facilitate human robot interaction : A review. *Applied Sciences* **10**(8), 2924 (2020)
60. Foa, E.B. : Prolonged exposure therapy : past, present, and future. *Depression and anxiety* (2011)
61. Ford, J.D., Fallot, R.D., Harris, M. : Group therapy. Treating complex traumatic stress disorders : An evidence-based guide (2009)
62. Frauenberger, C., Good, J., Pares, N. : Autism and technology : beyond assistance & intervention. In : *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, p. 3373-3378 (2016)
63. Freeman, D., Haselton, P., Freeman, J., Spanlang, B., Kishore, S., Albery, E., Denne, M., Brown, P., Slater, M., Nickless, A. : Automated psychological therapy using immersive virtual reality for treatment of fear of heights : a single-blind, parallel-group, randomised controlled trial. *The Lancet Psychiatry* **5**(8), 625-632 (2018)
64. Freund, Y., Schapire, R.E. *et al.* : Experiments with a new boosting algorithm. In : *icml*, p. 148-156 (1996)
65. Funke, G., Greenlee, E., Carter, M., Dukes, A., Brown, R., Menke, L. : Which eye tracker is right for your research? performance evaluation of several cost variant eye trackers. In : *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society annual meeting*, p. 1240-1244 (2016)
66. Gao, B., Pavel, L. : On the properties of the softmax function with application in game theory and reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv :1704.00805* (2017)
67. García, S., Luengo, J., Herrera, F. : Data preprocessing in data mining. Springer (2015)

68. Garin, O., Ayuso-Mateos, J.L., Almansa, J., Nieto, M., Chatterji, S., Vilagut, G., Alonso, J., Cieza, A., Svetskova, O., Burger, H. *et al.* : Validation of the " World Health Organization Disability Assessment Schedule, WHODAS-2" in patients with chronic diseases. *Health and quality of life outcomes* **8**, 1-15 (2010)
69. Gerhand, S., Saville, C.W. : ADHD prevalence in the psychiatric population. *International journal of psychiatry in clinical practice* **26**(2), 165-177 (2022)
70. Ghandeharioun, A., McDuff, D., Czerwinski, M., Rowan, K. : Emma : An emotion-aware well-being chatbot. In : 2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), p. 1-7 (2019)
71. Ghariba, B., Shehata, M.S., McGuire, P. : Visual saliency prediction based on deep learning. *Information* **10**(8), 257 (2019)
72. Ghuman, J.K., Leone, S.L., Lecavalier, L., Landa, R.J. : The screen for social interaction (SSI) : A screening measure for autism spectrum disorders in preschoolers. *Research in developmental disabilities* **32**(6), 2519-2529 (2011)
73. Goldstein, S., Naglieri, J.A., Rzepa, S., Williams, K.M. : A national study of autistic symptoms in the general population of school-age children and those diagnosed with autism spectrum disorders. *Psychology in the Schools* **49**(10), 1001-1016 (2012)
74. González-Prendes, A.A., Resko, S., Cassady, C.M. : Cognitive-behavioral therapy. In : *Trauma : Contemporary directions in trauma theory, research, and practice*, p. 20-66. Columbia University Press (2019)
75. Grant, B.F., Dufour, M.C., Harford, T.C. : Epidemiology of alcoholic liver disease. In : *Seminars in liver disease*, p. 12-25 (1988)
76. Gray, K.M., Tonge, B.J., Sweeney, D.J., Einfeld, S.L. : Screening for autism in young children with developmental delay : an evaluation of the developmental behaviour checklist : early screen. *Journal of Autism and Developmental Disorders* **38**, 1003-1010 (2008)
77. Grisso, T. : The differences between forensic psychiatry and forensic psychology. *Journal of the American Academy of Psychiatry and the Law Online* **21**(2), 133-145 (1993)
78. Guthrie, W., Wallis, K., Bennett, A., Brooks, E., Dudley, J., Gerdes, M., Pandey, J., Levy, S.E., Schultz, R.T., Miller, J.S. : Accuracy of autism screening in a large pediatric network. *Pediatrics* **144**(4) (2019)
79. Gutierrez, N. : The Ballad of Morton Heilig : On VR's Mythic Past. *JCMS : Journal of Cinema and Media Studies* **62**(3), 86-106 (2023)
80. Hadri, S.A., Bouramoul, A. : Friendly : A Deep Learning based Framework for Assisting in Young Autistic Children Psychotherapy Interventions. *Journal of Communications Software and Systems* **19**(1), 30-38 (2023)
81. Hadri, S.A., Bouramoul, A. : Towards a deep learning based contextual chat bot for preventing depression in young children with autistic spectrum disorder. *Smart Health* **27**, 100371 (2023)
82. Hadri, S.A., Bouramoul, A. : Towards a Novel Machine Learning and Hybrid Questionnaire Based Approach for Early Autism Detection. In : *International Conference on Deep Learning, Artificial Intelligence and Robotics*, p. 53-61 (2022)
83. Hahne, F., Huber, W., Gentleman, R., Falcon, S., Gentleman, R., Carey, V. : Unsupervised machine learning. *Bioconductor case studies* (2008)
84. Hansson, S.L., Svanströmrvall, A., Rastam, M., Gillberg, C., Gillberg, C., Anckarsäter, H. : Psychiatric telephone interview with parents for screening of childhood autism-tics, attention-deficit hyperactivity disorder and other comorbidities (A-TAC) : preliminary reliability and validity. *The British Journal of Psychiatry* **187**(3), 262-267 (2005)
85. Hasin, D.S., Goodwin, R.D., Stinson, F.S., Grant, B.F. : Epidemiology of major depressive disorder : results from the National Epidemiologic Survey on Alcoholism and Related Conditions. *Archives of general psychiatry* **62**(10), 1097-1106 (2005)
86. Hastings, R.P., Symes, M.D. : Early intensive behavioral intervention for children with autism : Parental therapeutic self-efficacy. *Research in developmental disabilities* **23**(5), 332-341 (2002)
87. Hayes, S.C., Strosahl, K.D., Wilson, K.G. : *Acceptance and commitment therapy : The process and practice of mindful change*. Guilford press (2011)

88. Heinsfeld, A.S., Franco, A.R., Craddock, R.C., Buchweitz, A., Meneguzzi, F. : Identification of autism spectrum disorder using deep learning and the ABIDE dataset. *NeuroImage : Clinical* **17**, 16-23 (2018)
89. Helm, J.M., Swiergosz, A.M., Haeberle, H.S., Karnuta, J.M., Schaffer, J.L., Krebs, V.E., Spitzer, A.I., Ramkumar, P.N. : Machine learning and artificial intelligence : definitions, applications, and future directions. *Current reviews in musculoskeletal medicine* **13**, 69-76 (2020)
90. Herrnstein, R.J., Prelec, D. : A theory of addiction. (1992)
91. Hilbert, K., Jacobi, T., Kunas, S.L., Elsner, B., Reuter, B., Lueken, U., Kathmann, N. : Identifying CBT non-response among OCD outpatients : A machine-learning approach. *Psychotherapy Research* **31**(1), 52-62 (2021)
92. Holt, R.I., Peveler, R.C. : Antipsychotics and hyperprolactinaemia : mechanisms, consequences and management. *Clinical endocrinology* **74**(2), 141-147 (2011)
93. Howlin, P : The effectiveness of interventions for children with autism. *Neurodevelopmental disorders* (2005)
94. Hupp, S., Jewell, J.D. : The encyclopedia of child and adolescent development. Wiley Online Library (2020)
95. Hus, V., Bishop, S., Gotham, K., Huerta, M., Lord, C. : Factors influencing scores on the social responsiveness scale. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* **54**(2), 216-224 (2013)
96. Imel, Z.E., Malterer, M.B., McKay, K.M., Wampold, B.E. : A meta-analysis of psychotherapy and medication in unipolar depression and dysthymia. *Journal of affective disorders* **110**(3), 197-206 (2008)
97. Insel, T.R. : Translating scientific opportunity into public health impact : a strategic plan for research on mental illness. *Archives of general psychiatry* **66**(2), 128-133 (2009)
98. Ip, H.H., Wong, S.W., Chan, D.F., Byrne, J., Li, C., Yuan, V.S., Lau, K.S., Wong, J.Y. : Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder : A virtual reality enabled approach. *Computers & Education* **117**, 1-15 (2018)
99. Ishikawa, S.-i., Romano, M., Hudson, J.L. : A Comparison of Interactions Among Children, Parents, and Therapists in Cognitive Behavior Therapy for Anxiety Disorders in Australia and Japan. *Behavior Therapy* **53**(1), 34-48 (2022)
100. Javaherirenani, R., Mortazavi, S.S., Shalbfafan, M., Ashouri, A., Farani, A.R. : Virtual reality exposure and response prevention in the treatment of obsessive-compulsive disorder in patients with contamination subtype in comparison with in vivo exposure therapy : a randomized clinical controlled trial. *BMC psychiatry* **22**(1), 1-16 (2022)
101. Jiang, T., Gradus, J.L., Rosellini, A.J. : Supervised machine learning : a brief primer. *Behavior Therapy* **51**(5), 675-687 (2020)
102. Johnston, W.A., Dark, V.J. : Selective attention. *Annual review of psychology* **37**(1), 43-75 (1986)
103. Jorm, A.F., Korten, A.E., Jacomb, P.A., Rodgers, B., Pollitt, P. : Beliefs about the helpfulness of interventions for mental disorders : a comparison of general practitioners, psychiatrists and clinical psychologists. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry* **31**(6), 844-851 (1997)
104. Juneja, M., Mishra, D., Russell, P.S., Gulati, S., Deshmukh, V., Tudu, P., Sagar, R., Silberberg, D., Bhutani, V.K., Pinto, J.M. *et al.* : INCLEN diagnostic tool for autism spectrum disorder (INDT-ASD) : Development and validation. *Indian pediatrics* **51**, 359-365 (2014)
105. Kakooza-Mwesige, A., Ssebyala, K., Karamagi, C., Kiguli, S., Smith, K., Anderson, M.C., Croen, L.A., Trevathan, E., Hansen, R., Smith, D. *et al.* : Adaptation of the "ten questions" to screen for autism and other neurodevelopmental disorders in Uganda. *Autism* **18**(4), 447-457 (2014)
106. Kanner, L. : Child psychiatry. (1948)
107. Kaufman, N.K. : Rethinking "gold standards" and "best practices" in the assessment of autism. *Applied Neuropsychology : Child* **11**(3), 529-540 (2022)
108. Keel, P.K. : Eating disorders. Oxford University Press (2017)
109. Kendler, K.S. : The structure of psychiatric science. *American Journal of Psychiatry* **171**(9), 931-938 (2014)
110. Kessler, R.C., Wang, P.S. : The descriptive epidemiology of commonly occurring mental disorders in the United States. *Annu. Rev. Public Health* **29**, 115-129 (2008)

111. Kishi, T., Ikuta, T., Sakuma, K., Okuya, M., Hatano, M., Matsuda, Y., Iwata, N. : Antidepressants for the treatment of adults with major depressive disorder in the maintenance phase : a systematic review and network meta-analysis. *Molecular Psychiatry* **28**(1), 402-409 (2023)
112. Kok, J.N., Boers, E.J., Kusters, W.A., Van der Putten, P., Poel, M. : Artificial intelligence : definition, trends, techniques, and cases. *Artificial intelligence* **1**, 270-299 (2009)
113. Koob, G.F., Volkow, N.D. : Neurocircuitry of addiction. *Neuropsychopharmacology* **35**(1), 217-238 (2010)
114. Krenker, A., Bešter, J., Kos, A. : Introduction to the artificial neural networks. *Artificial Neural Networks : Methodological Advances and Biomedical Applications*. InTech (2011)
115. Krösl, K., Felnhofer, A., Kafka, J.X., Schuster, L., Rinnerthaler, A., Wimmer, M., Kothgassner, O.D. : The virtual schoolyard : attention training in virtual reality for children with attentional disorders. In : *ACM SIGGRAPH 2018 Posters*, p. 1-2 (2018)
116. Kümmerer, M., Bethge, M., Wallis, T.S. : Deepgaze iii : Modeling free-viewing human scanpaths with deep learning. *Journal of Vision* **22**(5), 7-7 (2022)
117. Lambert, A.J., Ryckman, N.A., Qian, Y. : Landmark cueing and exogenous (onset) cueing : How are they related? *Brain and Cognition* **153**, 105787 (2021)
118. Lanier, J. : *Who owns the future?* Simon et Schuster (2014)
119. Larousse Editorial Team, *Le Petit Larousse*. Larousse, Paris, France (2021)
120. Larson, T., Anckarsäter, H., Gillberg, C., Ståhlberg, O., Carlström, E., Kadesjö, B., Råstam, M., Lichtenstein, P., Gillberg, C. : The autism-tics, AD/HD and other comorbidities inventory (A-TAC) : further validation of a telephone interview for epidemiological research. *BMC psychiatry* **10**, 1-11 (2010)
121. LaValle, S.M. : *Virtual reality*. Cambridge university press (2023)
122. Le Chénéchal, M., Chatel-Goldman, J. : HTC Vive Pro time performance benchmark for scientific research. In : *Icat-Egve 2018* (2018)
123. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. : Deep learning. *nature* **521**(7553), 436-444 (2015)
124. LeCun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., Haffner, P. : Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE* **86**(11), 2278-2324 (1998)
125. Leichsenring, F., Leibing, E., Kruse, J., New, A.S., Leweke, F. : Borderline personality disorder. *The Lancet* **377**(9759), 74-84 (2011)
126. Lenroot, R.K., Yeung, P.K. : Heterogeneity within autism spectrum disorders : what have we learned from neuroimaging studies? *Frontiers in human neuroscience* **7**, 733 (2013)
127. Lewis, M.E. : *Child and adolescent psychiatry : A comprehensive textbook*. Lippincott Williams & Wilkins Publishers (2002)
128. Li, C., Yanagisawa, H. : Intrinsic motivation in virtual assistant interaction for fostering spontaneous interactions. *Plos one* **16**(4), e0250326 (2021)
129. Li, G., Zhang, M., Li, J., Lv, F., Tong, G. : Efficient densely connected convolutional neural networks. *Pattern Recognition* **109**, 107610 (2021)
130. Li, J., Zhu, L., Liu, J., Li, X. : Social and non-social deficits in children with high-functioning autism and their cooperative behaviors. *Research in Autism Spectrum Disorders* **8**(12), 1657-1671 (2014)
131. Lidstone, D.E., Mostofsky, S.H. : Moving toward understanding autism : Visual-motor integration, imitation, and social skill development. *Pediatric Neurology* **122**, 98-105 (2021)
132. Liebal, K., Colombi, C., Rogers, S.J., Warneken, F., Tomasello, M. : Helping and cooperation in children with autism. *Journal of autism and developmental disorders* **38**, 224-238 (2008)
133. Liliana, D.Y., Basaruddin, C., Widyanto, M.R. : Mix emotion recognition from facial expression using SVM-CRF sequence classifier. In : *Proceedings of the 1st International Conference on Algorithms, Computing and Systems*, p. 27-31 (2017)
134. Lindner, P., Dagö, J., Hamilton, W., Miloff, A., Andersson, G., Schill, A., Carlbring, P. : Virtual Reality exposure therapy for public speaking anxiety in routine care : a single-subject effectiveness trial. *Cognitive Behaviour Therapy* **50**(1), 67-87 (2021)
135. Lindner, P., Frykheden, O., Forsström, D., Andersson, E., Ljótsson, B., Hedman, E., Andersson, G., Carlbring, P. : The Brunnsvikén brief quality of life scale (BBQ) : development and psychometric evaluation. *Cognitive behaviour therapy* **45**(3), 182-195 (2016)

136. Lindner, P., Hamilton, W., Miloff, A., Carlbring, P. : How to treat depression with low-intensity virtual reality interventions : Perspectives on translating cognitive behavioral techniques into the virtual reality modality and how to make anti-depressive use of virtual reality–unique experiences. *Frontiers in psychiatry* **10**, 792 (2019)
137. Lindner, P., Miloff, A., Fagernäs, S., Andersen, J., Sigeman, M., Andersson, G., Furmark, T., Carlbring, P. : Therapist-led and self-led one-session virtual reality exposure therapy for public speaking anxiety with consumer hardware and software : A randomized controlled trial. *Journal of anxiety disorders* **61**, 45-54 (2019)
138. Liu, Y., Wang, K., Wei, L., Chen, J., Zhan, Y., Tao, D., Chen, Z. : Affective Computing for Healthcare : Recent Trends, Applications, Challenges, and Beyond. arXiv preprint arXiv :2402.13589 (2024)
139. Lord, C., Brugha, T.S., Charman, T., Cusack, J., Dumas, G., Frazier, T., Jones, E.J., Jones, R.M., Pickles, A., State, M.W. *et al.* : Autism spectrum disorder. *Nature reviews Disease primers* **6**(1), 1-23 (2020)
140. Loucks, L., Yasinski, C., Norrholm, S.D., Maples-Keller, J., Post, L., Zwiebach, L., Fiorillo, D., Goodlin, M., Jovanovic, T., Rizzo, A.A. *et al.* : You can do that?! : Feasibility of virtual reality exposure therapy in the treatment of PTSD due to military sexual trauma. *Journal of anxiety disorders* **61**, 55-63 (2019)
141. Löwe, B., Kroenke, K., Herzog, W., Gräfe, K. : Measuring depression outcome with a brief self-report instrument : sensitivity to change of the Patient Health Questionnaire (PHQ-9). *Journal of affective disorders* **81**(1), 61-66 (2004)
142. Maenner, M.J., Warren, Z., Williams, A.R., Amoakohene, E., Bakian, A.V., Bilder, D.A., Durkin, M.S., Fitzgerald, R.T., Furnier, S.M., Hughes, M.M. *et al.* : Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years—Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 sites, United States, 2020. *MMWR Surveillance Summaries* **72**(2), 1 (2023)
143. Magiati, I., Goh, D.A., Lim, S.J., Gan, D.Z.Q., Leong, J., Allison, C., Baron-Cohen, S., Rifkin-Graboi, A., Broekman, B.F.P., Saw, S.M. *et al.* : The psychometric properties of the Quantitative-Checklist for Autism in Toddlers (Q-CHAT) as a measure of autistic traits in a community sample of Singaporean infants and toddlers. *Molecular autism* **6**, 1-14 (2015)
144. Magnusson, C., Rai, D., Goodman, A., Lundberg, M., Idring, S., Svensson, A., Koupil, I., Serlachius, E., Dalman, C. : Migration and autism spectrum disorder : population-based study. *The British Journal of Psychiatry* **201**(2), 109-115 (2012)
145. Mai, N.-D., Lee, B.-G., Chung, W.-Y. : Affective computing on machine learning-based emotion recognition using a self-made EEG device. *Sensors* **21**(15), 5135 (2021)
146. Malbos, E., CHICHERY, N., BORWELL, B., SEIMANDI, J., WEINDEL, G., LANCON, C. : Virtual reality for relaxation in the treatment of generalized anxiety disorder : a comparative trial. *Annu Rev Cyberther Telemed* **18**, 183-187 (2020)
147. Mandell, D.S., Novak, M. : The role of culture in families' treatment decisions for children with autism spectrum disorders. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews* **11**(2), 110-115 (2005)
148. Marlow, M., Servili, C., Tomlinson, M. : A review of screening tools for the identification of autism spectrum disorders and developmental delay in infants and young children : recommendations for use in low-and middle-income countries. *Autism Research* **12**(2), 176-199 (2019)
149. Marteleto, M.R.F., Pedromônico, M.R.M. : Validity of autism behavior checklist (ABC) : preliminary study. *Brazilian Journal of Psychiatry* **27**, 295-301 (2005)
150. Masi, A., DeMayo, M.M., Glozier, N., Guastella, A.J. : An overview of autism spectrum disorder, heterogeneity and treatment options. *Neuroscience bulletin* **33**, 183-193 (2017)
151. Matheis, M., Turygin, N.C. : Depression and autism. *Handbook of assessment and diagnosis of autism spectrum disorder* (2016)
152. Matson, J.L., Fodstad, J.C., Mahan, S., Sevin, J.A. : Cutoffs, norms, and patterns of comorbid difficulties in children with an ASD on the Baby and Infant Screen for Children with aUtism Traits (BISCUIT-Part 2). *Research in Autism Spectrum Disorders* **3**(4), 977-988 (2009)
153. Matson, J.L., Kozlowski, A.M., Fitzgerald, M.E., Sipes, M. : True versus false positives and negatives on the modified checklist for autism in toddlers. *Research in Autism Spectrum Disorders* **7**(1), 17-22 (2013)

154. Mattila, M.-L., Jussila, K., Kuusikko, S., Kielinen, M., Linna, S.-L., Ebeling, H., Bloigu, R., Joskitt, L., Pauls, D., Moilanen, I. : When does the Autism Spectrum Screening Questionnaire (ASSQ) predict autism spectrum disorders in primary school-aged children? *European Child & Adolescent Psychiatry* **18**, 499-509 (2009)
155. Mayes, S.D., Calhoun, S.L., Murray, M.J., Morrow, J.D., Cothren, S., Purichia, H., Yurich, K.K., Boudier, J.N. : Use of Gilliam Asperger's disorder scale in differentiating high and low functioning autism and ADHD. *Psychological Reports* **108**(1), 3-13 (2011)
156. Mayes, S.D., Calhoun, S.L., Murray, M.J., Morrow, J.D., Yurich, K.K., Mahr, F., Cothren, S., Purichia, H., Boudier, J.N., Petersen, C. : Comparison of scores on the Checklist for Autism Spectrum Disorder, Childhood Autism Rating Scale, and Gilliam Asperger's Disorder Scale for children with low functioning autism, high functioning autism, Asperger's disorder, ADHD, and typical development. *Journal of autism and developmental disorders* **39**, 1682-1693 (2009)
157. McCarthy, J. : History of LISP. In : *History of programming languages*, p. 173-185 (1978)
158. McCulloch, W.S., Pitts, W. : A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics* **5**, 115-133 (1943)
159. Medjden, S., Ahmed, N., Lataifeh, M. : Adaptive user interface design and analysis using emotion recognition through facial expressions and body posture from an RGB-D sensor. *PloS one* **15**(7), e0235908 (2020)
160. Medsker, L., Jain, L.C. : *Recurrent neural networks : design and applications*. CRC press (1999)
161. Merikangas, K.R., Nakamura, E.F., Kessler, R.C. : Epidemiology of mental disorders in children and adolescents. *Dialogues in clinical neuroscience* **11**(1), 7-20 (2009)
162. Meta, Meta Quest 2, (2024). <https://www.meta.com/fr/quest/products/quest-2/>. Consulté le 6 juin 2024.
163. Michalski, R.S., Carbonell, J.G., Mitchell, T.M. : *Machine learning : An artificial intelligence approach*. Springer Science & Business Media (2013)
164. Mihic, S.J., Harris, R.A. : *Hypnotics and sedatives*. Goodman and Gilman's Pharmacological Basis of Therapeutics. 12th ed. New York : McGraw-Hill (2011)
165. Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F. : Augmented reality : A class of displays on the reality-virtuality continuum. In : *Telem manipulator and telepresence technologies*, p. 282-292 (1995)
166. Miloff, A., Lindner, P., Dafgård, P., Deak, S., Garke, M., Hamilton, W., Heinsoo, J., Kristofferson, G., Rafi, J., Sindemark, K. *et al.* : Automated virtual reality exposure therapy for spider phobia vs. in-vivo one-session treatment : A randomized non-inferiority trial. *Behaviour research and therapy* **118**, 130-140 (2019)
167. Miloff, A., Lindner, P., Hamilton, W., Reuterskiöld, L., Andersson, G., Carlbring, P. : Single-session gamified virtual reality exposure therapy for spider phobia vs. traditional exposure therapy : study protocol for a randomized controlled non-inferiority trial. *Trials* **17**, 1-8 (2016)
168. Minsky, M.L. : Logical versus analogical or symbolic versus connectionist or neat versus scruffy. *AI magazine* **12**(2), 34-34 (1991)
169. Minsky, M.L. : *Computation*. Prentice-Hall Englewood Cliffs (1967)
170. Mitchell, T.M. : *The discipline of machine learning*. Carnegie Mellon University, School of Computer Science, Machine Learning ... (2006)
171. Moerland, T.M., Broekens, J., Plaat, A., Jonker, C.M. *et al.* : Model-based reinforcement learning : A survey. *Foundations and Trends® in Machine Learning* **16**(1), 1-118 (2023)
172. Mokaddem, Y., Melin, N., Bensadon, M., Dubois, J., Rey, G. : Traduction française de la 11e révision de la Classification internationale des maladies (CIM-11). *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique* **68**, S38 (2020)
173. Molnár, G., Szüts, Z. : The role of chatbots in formal education. In : *2018 IEEE 16th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, p. 000197-000202 (2018)
174. Mongan, D., Millar, S.R., O'Dwyer, C., Long, J., Galvin, B. : Drinking in denial : a cross-sectional analysis of national survey data in Ireland to measure drinkers' awareness of their alcohol use. *BMJ open* **10**(7), e034520 (2020)

175. Moody, E.J., Reyes, N., Ledbetter, C., Wiggins, L., DiGuseppi, C., Alexander, A., Jackson, S., Lee, L.-C., Levy, S.E., Rosenberg, S.A. : Screening for autism with the SRS and SCQ : Variations across demographic, developmental and behavioral factors in preschool children. *Journal of Autism and Developmental Disorders* **47**, 3550-3561 (2017)
176. Moore, R.A., Murphy, T.C. : Denial of alcoholism as an obstacle to recovery. *Quarterly Journal of Studies on Alcohol* **22**(4), 597-609 (1961)
177. Morel, A. : L'addictologie : croyance ou révolution? *Psychotropes* **12**(3), 21-40 (2006)
178. Muhammad, A.F., Susanto, D., Alimudin, A., Adila, F., Assidiqi, M.H., Nabhan, S. : Developing English conversation chatbot using dialogflow. In : 2020 International Electronics Symposium (IES), p. 468-475 (2020)
179. Muhammad, U., Wang, W., Chattha, S.P., Ali, S. : Pre-trained VGGNet architecture for remote-sensing image scene classification. In : 2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), p. 1622-1627 (2018)
180. Mukherjee, S.B., Malhotra, M.K., Aneja, S., Chakraborty, S., Deshpande, S. : Diagnostic accuracy of Indian Scale for Assessment of Autism (ISAA) in children aged 2–9 years. *Indian pediatrics* **52**, 212-216 (2015)
181. Myers, S.G., Fisher, P.L., Wells, A. : Belief domains of the Obsessive Beliefs Questionnaire-44 (OBQ-44) and their specific relationship with obsessive-compulsive symptoms. *Journal of Anxiety Disorders* **22**(3), 475-484 (2008)
182. Nah, Y.-H., Young, R.L., Brewer, N. : Using the Autism Detection in Early Childhood (ADEC) and Childhood Autism Rating Scales (CARS) to predict long term outcomes in children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders* **44**, 2301-2310 (2014)
183. National Institute of Mental Health, Mental Health Medications, <https://www.nimh.nih.gov/health/topics/mental-health-medications>. Accessed : 8/10/2023.
184. Nemoto, T., Beglar, D. : Likert-scale questionnaires. In : JALT 2013 conference proceedings, p. 1-8 (2014)
185. Nestler, E.J., Hyman, S.E. : Animal models of neuropsychiatric disorders. *Nature neuroscience* **13**(10), 1161-1169 (2010)
186. Nosouhian, S., Nosouhian, F., Khoshouei, A.K. : A review of recurrent neural network architecture for sequence learning : Comparison between LSTM and GRU. (2021)
187. Oculus, OVR Metrics Tool, (2024). <https://developer.oculus.com/downloads/package/ovr-metrics-tool/>. Consulté le 6 juin 2024.
188. O'Donohue, W.T., Fisher, J.E. : Cognitive Behavior Therapy. Wiley Online Library (2012)
189. Olatunji, B.O., Woods, C.M., de Jong, P.J., Teachman, B.A., Sawchuk, C.N., David, B. : Development and initial validation of an abbreviated Spider Phobia Questionnaire using item response theory. *Behavior Therapy* **40**(2), 114-130 (2009)
190. Oner, P., Oner, O., Munir, K. : Three-item Direct Observation Screen (TIDOS) for autism spectrum disorder. *Autism* **18**(6), 733-742 (2014)
191. Oosterling, I., Rommelse, N., De Jonge, M., Van Der Gaag, R.J., Swinkels, S., Roos, S., Visser, J., Buitelaar, J. : How useful is the Social Communication Questionnaire in toddlers at risk of autism spectrum disorder? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* **51**(11), 1260-1268 (2010)
192. Paleyes, A., Urma, R.-G., Lawrence, N.D. : Challenges in deploying machine learning : a survey of case studies. *ACM Computing Surveys* **55**(6), 1-29 (2022)
193. Pamungkas, E.W. : Emotionally-aware chatbots : A survey. arXiv preprint arXiv :1906.09774 (2019)
194. Parikh, S.V., Hawke, L.D., Velyvis, V., Zaretsky, A., Beaulieu, S., Patelis-Siotis, I., MacQueen, G., Young, L.T., Yatham, L.N., Cervantes, P. : Combined treatment : impact of optimal psychotherapy and medication in bipolar disorder. *Bipolar disorders* **17**(1), 86-96 (2015)
195. Pavlova, M.K., Latreille, V. : Sleep disorders. *The American journal of medicine* **132**(3), 292-299 (2019)
196. Perepa, P. : Cultural basis of social 'deficits' in autism spectrum disorders. *European Journal of Special Needs Education* **29**(3), 313-326 (2014)
197. Perera, H., Jeewandara, K.C., Seneviratne, S., Guruge, C. : Culturally Adapted Pictorial Screening Tool for Autism Spectrum Disorder. In : WJCP (2017)

198. Perry, M., Streusand, W.C. : The role of psychiatry and psychology collaboration in pediatric dermatology. *Dermatologic clinics* **31**(2), 347-355 (2013)
199. Picard, R.W. : *Affective computing*. MIT press (2000)
200. Piccinini, G. : The First computational theory of mind and brain : a close look at mcculloch and pitts's "logical calculus of ideas immanent in nervous activity". *Synthese* **141**, 175-215 (2004)
201. Pierce, K., Courchesne, E., Bacon, E. : To screen or not to screen universally for autism is not the question : Why the task force got it wrong. *The Journal of pediatrics* **176**, 182-194 (2016)
202. Pierson, H.A., Gashler, M.S. : Deep learning in robotics : a review of recent research. *Advanced Robotics* **31**(16), 821-835 (2017)
203. Plomin, R., DeFries, J.C., Knopik, V.S., Neiderhiser, J.M. : Top 10 replicated findings from behavioral genetics. *Perspectives on psychological science* **11**(1), 3-23 (2016)
204. Posner, M.I., Snyder, C.R., Davidson, B.J. : Attention and the detection of signals. *Journal of experimental psychology : General* **109**(2), 160 (1980)
205. Price, J.L., Drevets, W.C. : Neurocircuitry of mood disorders. *Neuropsychopharmacology* **35**(1), 192-216 (2010)
206. Pylyshyn, Z.W., Storm, R.W. : Tracking multiple independent targets : Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial vision* **3**(3), 179-197 (1988)
207. Raabe, A., Grüsser, S.M., Wessa, M., Podschus, J., Flor, H. : The assessment of craving : psychometric properties, factor structure and a revised version of the Alcohol Craving Questionnaire (ACQ). *Addiction* **100**(2), 227-234 (2005)
208. Rahman, A., Al Mamun, A., Islam, A. : Programming challenges of chatbot : Current and future prospective. In : 2017 IEEE region 10 humanitarian technology conference (R10-HTC), p. 75-78 (2017)
209. Raymond, J.E., Shapiro, K.L., Arnell, K.M. : Temporary suppression of visual processing in an RSVP task : An attentional blink? *Journal of experimental psychology : Human perception and performance* **18**(3), 849 (1992)
210. Raza, S., Zwaigenbaum, L., Sacrey, L.-A.R., Bryson, S., Brian, J., Smith, I.M., Reid, K., Roberts, W., Szatmari, P., Vaillancourt, T. *et al.* : Brief report : Evaluation of the short quantitative checklist for autism in toddlers (Q-CHAT-10) as a brief screen for autism spectrum disorder in a high-risk sibling cohort. *Journal of autism and developmental disorders* **49**, 2210-2218 (2019)
211. Rich, J.S., Martin, P.R. : Co-occurring psychiatric disorders and alcoholism. *Handbook of clinical neurology* **125**, 573-588 (2014)
212. Robins, D.L., Casagrande, K., Barton, M., Chen, C.-M.A., Dumont-Mathieu, T., Fein, D. : Validation of the modified checklist for autism in toddlers, revised with follow-up (M-CHAT-R/F). *Pediatrics* **133**(1), 37-45 (2014)
213. Robins, D.L., Fein, D., Barton, M.L., Green, J.A. : The Modified Checklist for Autism in Toddlers : an initial study investigating the early detection of autism and pervasive developmental disorders. *Journal of autism and developmental disorders* **31**, 131-144 (2001)
214. Rogeness, G.A., Javors, M.A., Pliszka, S.R. : Neurochemistry and child and adolescent psychiatry. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry* **31**(5), 765-781 (1992)
215. Rosen, R.C. : Prevalence and risk factors of sexual dysfunction in men and women. *Current psychiatry reports* **2**(3), 189-195 (2000)
216. Rössler, W., Salize, H.J., Van Os, J., Riecher-Rössler, A. : Size of burden of schizophrenia and psychotic disorders. *European neuropsychopharmacology* **15**(4), 399-409 (2005)
217. Rothbaum, A.O., Tannenbaum, L.R., Zimand, E., Rothbaum, B.O. : A pilot randomized controlled trial of virtual reality delivered relaxation for chronic low back pain. *Virtual Reality* (2023)
218. Rothbaum, B.O., Meadows, E.A., Resick, P., Foy, D.W. : *Cognitive-behavioral therapy*. (2000)
219. Rumelhart, D.E., Durbin, R., Golden, R., Chauvin, Y. : Backpropagation : The basic theory. In : *Backpropagation*, p. 1-34. Psychology Press (2013)
220. Rutter, M., Macdonald, H., Le Couteur, A., Harrington, R., Bolton, P., Bailey, A. : Genetic factors in child psychiatric disorders : II. Empirical findings. *Child Psychology & Psychiatry & Allied Disciplines* (1990)

221. Sait, M., Alattas, A., Omar, A., Almalki, S., Sharf, S., Alsaggaf, E. : Employing virtual reality techniques in environment adaptation for autistic children. *Procedia Computer Science* **163**, 338-344 (2019)
222. Samadi, S.A., McConkey, R. : Screening for autism in Iranian preschoolers : Contrasting M-CHAT and a scale developed in Iran. *Journal of autism and developmental disorders* **45**, 2908-2916 (2015)
223. Samadi, S.A., McConkey, R. : The utility of the Gilliam autism rating scale for identifying Iranian children with autism. *Disability and rehabilitation* **36**(6), 452-456 (2014)
224. Schilder, P. : *Psychotherapy*. Psychology Press (1999)
225. Schuetz, I., Fiehler, K. : Eye tracking in virtual reality : Vive pro eye spatial accuracy, precision, and calibration reliability. *Journal of Eye Movement Research* **15**(3) (2022)
226. Scott, J., Pope, M. : With Mood Stabilizers : Prevalence and Predictors. *J Clin Psychiatry* **63**(5), 384-390 (2002)
227. Shiffrin, R.M., Lee, M.D., Kim, W., Wagenmakers, E.-J. : A survey of model evaluation approaches with a tutorial on hierarchical Bayesian methods. *Cognitive Science* **32**(8), 1248-1284 (2008)
228. Siegel, B. : Pervasive developmental disorders screening test (PDDST). *Encyclopedia of Autism Spectrum Disorders* (2021)
229. Sinclair, L., Nutt, D. : Anxiolytics. *Psychiatry* **6**(7), 284-288 (2007)
230. Skuse, D.H., Mandy, W.P., Scourfield, J. : Measuring autistic traits : heritability, reliability and validity of the Social and Communication Disorders Checklist. *The British Journal of Psychiatry* **187**(6), 568-572 (2005)
231. Slater, M., Usoh, M., Steed, A. : Depth of presence in virtual environments. *Presence : Teleoperators & Virtual Environments* **3**(2), 130-144 (1994)
232. Smith, N.J., Sheldrick, R.C., Perrin, E.C. : An abbreviated screening instrument for autism spectrum disorders. *Infant Mental Health Journal* **34**(2), 149-155 (2013)
233. Smutny, P., Schreiberova, P. : Chatbots for learning : A review of educational chatbots for the Facebook Messenger. *Computers & Education* **151**, 103862 (2020)
234. Spiel, K., Frauenberger, C., Fitzpatrick, G. : Experiences of autistic children with technologies. *International Journal of Child-Computer Interaction* **11**, 50-61 (2017)
235. Spitzer, R.L., Endicott, J. : Medical and mental disorder : Proposed definition and criteria. In : *Annales Médico-psychologiques, revue psychiatrique*, p. 656-665 (2018)
236. Stancin, T., Perrin, E.C. : Psychologists and pediatricians : Opportunities for collaboration in primary care. *American Psychologist* **69**(4), 332 (2014)
237. Statista, Key facts on alcohol-related deaths worldwide as of 2022, Available at <https://www.statista.com/statistics/367890/alcohol-related-deaths-facts-worldwide/> (03/04/2024) (2022).
238. Stocker, R., Tran, T., Hammarberg, K., Nguyen, H., Rowe, H., Fisher, J. : Patient Health Questionnaire 9 (PHQ-9) and General Anxiety Disorder 7 (GAD-7) data contributed by 13,829 respondents to a national survey about COVID-19 restrictions in Australia. *Psychiatry Research* **298**, 113792 (2021)
239. Stone, W.L., McMahon, C.R., Henderson, L.M. : Use of the screening tool for autism in two-year-olds (STAT) for children under 24 months : An exploratory study. *Autism* **12**(5), 557-573 (2008)
240. Strunk, J., Leisen, M., Schubert, C. : Using a multidisciplinary approach with children diagnosed with autism spectrum disorder. *Journal of Interprofessional Education & Practice* **8**, 60-68 (2017)
241. Summers, R.F., Barber, J.P. : *Psychodynamic therapy : A guide to evidence-based practice*. Guilford Press (2010)
242. Swinkels, S.H., Dietz, C., van Daalen, E., Kerkhof, I.H., van Engeland, H., Buitelaar, J.K. : Screening for autistic spectrum in children aged 14 to 15 months. I : the development of the Early Screening of Autistic Traits Questionnaire (ESAT). *Journal of autism and developmental disorders* **36**(6), 723-732 (2006)
243. Szymanski, J., O'Donohue, W. : Fear of spiders questionnaire. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry* **26**(1), 31-34 (1995)
244. Tager-Flusberg, H. : *Neurodevelopmental disorders*. MIT press (1999)

245. Tao, X., Shaik, T.B., Higgins, N., Gururajan, R., Zhou, X. : Remote patient monitoring using radio frequency identification (RFID) technology and machine learning for early detection of suicidal behaviour in mental health facilities. *Sensors* **21**(3), 776 (2021)
246. Tarnowski, P., Kołodziej, M., Majkowski, A., Rak, R.J. *et al.* : Eye-tracking analysis for emotion recognition. *Computational intelligence and neuroscience* **2020** (2020)
247. Tarwani, K.M., Edem, S. : Survey on recurrent neural network in natural language processing. *Int. J. Eng. Trends Technol* **48**(6), 301-304 (2017)
248. Tharmaratnam, V., Patel, M., Lowe, M.X., Cant, J.S. : Shared cognitive mechanisms involved in the processing of scene texture and scene shape. *Journal of Vision* **21**(7), 11-11 (2021)
249. Tobii, Tobii Eye Tracker 5, (2024). <https://gaming.tobii.com/product/eye-tracker-5/>. Consulté le 6 juin 2024.
250. Treisman, A.M., Gelade, G. : A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology* **12**(1), 97-136 (1980)
251. Trevisan, D.F., de Araujo, F.A., Benitez, P., Gois, J.P. : A scalable and customizable multimedia framework for behavioral intervention. *Journal of Computers in Education* (2021)
252. Trinh Van, L., Dao Thi Le, T., Le Xuan, T., Castelli, E. : Emotional speech recognition using deep neural networks. *Sensors* **22**(4), 1414 (2022)
253. Turner-Brown, L.M., Baranek, G.T., Reznick, J.S., Watson, L.R., Crais, E.R. : The First Year Inventory : A longitudinal follow-up of 12-month-old to 3-year-old children. *Autism* **17**(5), 527-540 (2013)
254. Tutun, S., Johnson, M.E., Ahmed, A., Albizri, A., Irgil, S., Yesilkaya, I., Ucar, E.N., Sengun, T., Harfouche, A. : An AI-based decision support system for predicting mental health disorders. *Information Systems Frontiers* **25**(3), 1261-1276 (2023)
255. Twining, C. : The role of the clinical psychologist. *Psychiatry* **4**(2), 90-92 (2005)
256. Tymofiyeva, O., Yuan, J.P., Huang, C.-Y., Connolly, C.G., Blom, E.H., Xu, D., Yang, T.T. : Application of machine learning to structural connectome to predict symptom reduction in depressed adolescents with cognitive behavioral therapy (CBT). *NeuroImage : Clinical* **23**, 101914 (2019)
257. Ungerleider, S.K., G. L. : Mechanisms of visual attention in the human cortex. *Annual review of neuroscience* **23**(1), 315-341 (2000)
258. Van Os, J., Kenis, G., Rutten, B.P. : The environment and schizophrenia. *Nature* **468**(7321), 203-212 (2010)
259. Vasconcelos-Raposo, J., Bessa, M., Melo, M., Barbosa, L., Rodrigues, R., Teixeira, C.M., Cabral, L., Sousa, A.A. : Adaptation and validation of the Igroup Presence Questionnaire (IPQ) in a Portuguese sample. *Presence* **25**(3), 191-203 (2016)
260. VIVE, VIVE Focus 3, (2024). <https://business.vive.com/us/product/vive-focus3/overview/>. Consulté le 6 juin 2024.
261. Wake, N., Kanehira, A., Sasabuchi, K., Takamatsu, J., Ikeuchi, K. : Bias in emotion recognition with ChatGPT. *arXiv preprint arXiv :2310.11753* (2023)
262. Wall, N.G., Smith, O., Campbell, L.E., Loughland, C., Wallis, M., Henskens, F., Schall, U. : E-technology social support programs for autistic children : Can they work? *World Journal of Psychiatry* **11**(12), 1239 (2021)
263. Wang, P. : On defining artificial intelligence. *Journal of Artificial General Intelligence* **10**(2), 1-37 (2019)
264. Wang, Y.-P., Gorenstein, C. : Psychometric properties of the Beck Depression Inventory-II : a comprehensive review. *Brazilian Journal of Psychiatry* **35**, 416-431 (2013)
265. Wani, M.A., ELAffendi, M.A., Shakil, K.A., Imran, A.S., Abd El-Latif, A.A. : Depression screening in humans with AI and deep learning techniques. *IEEE transactions on computational social systems* (2022)
266. Wei, Q., Dunbrack Jr, R.L. : The role of balanced training and testing data sets for binary classifiers in bioinformatics. *PloS one* **8**(7), e67863 (2013)
267. West, R., Brown, J. : Theory of addiction. (2013)
268. Wetherby, A.M., Woods, J., Allen, L., Cleary, J., Dickinson, H., Lord, C. : Early indicators of autism spectrum disorders in the second year of life. *Journal of autism and developmental disorders* **34**, 473-493 (2004)

269. Widrow, B., Lehr, M.A. : 30 years of adaptive neural networks : perceptron, madaline, and back-propagation. *Proceedings of the IEEE* **78**(9), 1415-1442 (1990)
270. Witmer, B.G., Singer, M.J. : Measuring presence in virtual environments : A presence questionnaire. *Presence* **7**(3), 225-240 (1998)
271. Wohlgenannt, I., Simons, A., Stieglitz, S. : Virtual reality. *Business & Information Systems Engineering* **62**, 455-461 (2020)
272. World Health Organization, *International Classification of Diseases for Mortality and Morbidity Statistics (11th Revision)*. World Health Organization, Geneva (2020)
273. World Health Organization, WHO, Alcohol, Available at <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/alcohol> (03/04/2024) (2022).
274. World Health Organization, WHO, Global status report on alcohol and health 2018, Available at <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565639/> (04/04/2024) (2018).
275. Wu, J. : Introduction to convolutional neural networks. National Key Lab for Novel Software Technology. Nanjing University. *China* **5**(23), 495 (2017)
276. Yu, Y., Si, X., Hu, C., Zhang, J. : A review of recurrent neural networks : LSTM cells and network architectures. *Neural computation* **31**(7), 1235-1270 (2019)
277. Zeidan, J., Fombonne, E., Scolah, J., Ibrahim, A., Durkin, M.S., Saxena, S., Yusuf, A., Shih, A., Elsabbagh, M. : Global prevalence of autism : A systematic review update. *Autism research* **15**(5), 778-790 (2022)
278. Zhou, L., Gao, J., Li, D., Shum, H.-Y. : The design and implementation of xiaoice, an empathetic social chatbot. *Computational Linguistics* **46**(1), 53-93 (2020)
279. Zhou, Z.-H. : *Machine learning*. Springer Nature (2021)
280. Zimmerman, T.G., Lanier, J., Blanchard, C., Bryson, S., Harvill, Y. : A hand gesture interface device. *ACM Sigchi Bulletin* **18**(4), 189-192 (1986)
281. Zou, Z., Wang, H., d'Oleire Uquillas, F., Wang, X., Ding, J., Chen, H. : Definition of substance and non-substance addiction. *substance and non-substance addiction* (2017)