

ANNEE 2022

N°

Application de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les troubles
neurodéveloppementaux : une revue systématique de la littérature

The application of robotic and artificial intelligence in neurodevelopmental disorders: a
systematic review

THESE
Présentée

à l'UFR des Sciences de Santé de Dijon
Circonscription Médecine

et soutenue publiquement le 13 octobre 2022

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

Par ABECASSIS Ariel

Né le 30 mai 1989

A BESANCON

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à la disposition de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur.

Ceci implique une obligation de citation et de référencement dans la rédaction de vos travaux.

D'autre part, toutes contrefaçons, plagiat, reproductions illicites encourrent une poursuite pénale.

De juridiction constante, en s'appropriant tout ou partie d'une œuvre pour l'intégrer dans son propre document, l'étudiant se rend coupable d'un délit de contrefaçon (au sens de l'article L.335.1 et suivants du code de la propriété intellectuelle). Ce délit est dès lors constitutif d'une fraude pouvant donner lieu à des poursuites pénales conformément à la loi du 23 décembre 1901 dite de répression des fraudes dans les examens et concours publics.

ANNEE 2022

N°

Application de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les troubles
neurodéveloppementaux : une revue systématique de la littérature

The application of robotic and artificial intelligence in neurodevelopmental disorders: a
systematic review

THESE
Présentée

à l'UFR des Sciences de Santé de Dijon
Circonscription Médecine

et soutenue publiquement le 13 octobre 2022

pour obtenir le grade de Docteur en Médecine

Par ABECASSIS Ariel

Né le 30 mai 1989

A BESANCON

Doyen :

Assesseurs :

M. Marc MAYNADIÉ

M. Pablo ORTEGA-DEBALLON

Mme Laurence DUVILLARD

PROFESSEURS DES UNIVERSITES – PRATICIENS HOSPITALIERS

			Discipline
M.	Jean-Louis	ALBERINI	Biophysiques et médecine nucléaire
M.	Sylvain	AUDIA	Médecine interne
M.	Marc	BARDOU	Pharmacologie clinique
M.	Jean-Noël	BASTIE	Hématologie - transfusion
M.	Emmanuel	BAULOT	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M.	Christophe	BEDANE	Dermato-vénéréologie
M.	Yannick	BEJOT	Neurologie
M.	Moncef	BERHOUMA	Neurochirurgie
Mme	Christine	BINQUET	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
M.	Philippe	BONNIAUD	Pneumologie
M.	Alain	BONNIN	Parasitologie et mycologie
M.	Bernard	BONNOTTE	Immunologie
M.	Olivier	BOUCHOT	Chirurgie cardiovasculaire et thoracique
M.	Belaid	BOUHEMAD	Anesthésiologie - réanimation chirurgicale
M.	Benjamin	BOUILLET	Endocrinologie
M.	Alexis	BOZORG-GRAYELI	Oto-Rhino-Laryngologie
Mme	Marie-Claude	BRINDISI	Nutrition
M.	Alain	BRON	Ophthalmologie
Mme	Mary	CALLANAN (WILSON)	Hématologie type biologique
M.	Patrick	CALLIER	Génétique
Mme	Catherine	CHAMARD-NEUWIRTH	Bactériologie - virologie; hygiène hospitalière
M.	Pierre-Emmanuel	CHARLES	Réanimation
M.	Jean-Christophe	CHAUVET-GELINIER	Psychiatrie d'adultes, Addictologie
M.	Nicolas	CHEYNEL	Anatomie
M.	Alexandre	COCHET	Biophysique et médecine nucléaire
M.	Luc	CORMIER	Urologie
M.	Yves	COTTIN	Cardiologie
M.	Charles	COUTANT	Gynécologie-obstétrique
Mme	Catherine	CREUZOT-GARCHER	Ophthalmologie
M.	Frédéric	DALLE	Parasitologie et mycologie
M.	Alexis	DE ROUGEMONT	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
M.	Hervé	DEVILLIERS	Médecine interne
Mme	Laurence	DUVILLARD	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Olivier	FACY	Chirurgie générale
Mme	Laurence	FAIVRE-OLIVIER	Génétique médicale
Mme	Patricia	FAUQUE	Biologie et Médecine du Développement
Mme	Irène	FRANCOIS-PURSELL	Médecine légale et droit de la santé
Mme	Marjolaine	GEORGES	Pneumologie
M.	François	GHIRINGHELLI	Cancérologie
M.	Charles	GUENANCIA	Physiologie
M.	Pierre Grégoire	GUINOT	Anesthésiologie – réanimation chirurgicale
M.	Frédéric	HUET	Pédiatrie
Mme	Agnès	JACQUIN	Physiologie
M.	Pierre	JOUANNY	Gériatrie
M.	Philippe	KADHEL	Gynécologie-obstétrique
M.	Sylvain	LADOIRE	Histologie
M.	Gabriel	LAURENT	Cardiologie
M.	Côme	LEPAGE	Hépto-gastroentérologie

M.	Romarc	LOFFROY	Radiologie et imagerie médicale
M.	Luc	LORGIS	Cardiologie
M.	Jean-Francis	MAILLEFERT	Rhumatologie
M.	Cyriaque Patrick	MANCKOUNDIA	Gériatrie
M.	Sylvain	MANFREDI	Hépto-gastroentérologie
M.	Laurent	MARTIN	Anatomie et cytologie pathologiques
M.	David	MASSON	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Marc	MAYNADIÉ	Hématologie – transfusion
M.	Marco	MIDULLA	Radiologie et imagerie médicale
M.	Thibault	MOREAU	Neurologie
Mme	Christiane	MOUSSON	Néphrologie
M.	Paul	ORNETTI	Rhumatologie
M.	Pablo	ORTEGA-DEBALLON	Chirurgie Générale
M.	Pierre Benoit	PAGES	Chirurgie thoracique et vasculaire
M.	Jean-Michel	PETIT	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
M.	Christophe	PHILIPPE	Génétique
M.	Lionel	PIROTH	Maladies infectieuses
Mme	Catherine	QUANTIN	Biostatistiques, informatique médicale
M.	Jean-Pierre	QUENOT	Réanimation
M.	Patrick	RAT	Chirurgie générale
M.	Patrick	RAY	Médecine d'urgence
M.	Jean-Michel	REBIBOU	Néphrologie
M.	Frédéric	RICOLFI	Radiologie et imagerie médicale
M.	Paul	SAGOT	Gynécologie-obstétrique
(Retraite au 1 ^{er} Novembre 2022)			
M	Maxime	SAMSON	Médecine interne
M.	Emmanuel	SAPIN	Chirurgie Infantile
M.	Emmanuel	SIMON	Gynécologie-obstétrique
M.	Éric	STEINMETZ	Chirurgie vasculaire
Mme	Christel	THAUVIN	Génétique
M.	Benoit	TROJAK	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
M.	Gilles	TRUC	Oncologie-Radiothérapie
M.	Pierre	VABRES	Dermato-vénéréologie
(Mission temporaire à Londres du 01/09/2021 au 31/08/2023)			
M.	Bruno	VERGÈS	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques
M.	Narcisse	ZWETYENGA	Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

PROFESSEURS EMERITES

M.	Laurent	BEDENNE	(01/09/2021 au 31/08/2024)
M.	Jean-François	BESANCENOT	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Bernard	BONIN	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Laurent	BRONDEL	(01/09/2021 au 31/08/2024)
M.	François	BRUNOTTE	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Philippe	CAMUS	(01/09/2019 au 31/08/2022)
M.	Jean-Marie	CASILLAS-GIL	(01/09/2020 au 31/08/2023)
M.	Pascal	CHAVANET	(01/09/2021 au 31/08/2024)
M.	Jean-Pierre	DIDIER	(01/11/2021 au 31/10/2024)
M.	Serge	DOUVIER	(15/12/2020 au 14/12/2023)
M.	Maurice	GIROUD	(01/09/2022 au 31/12/2025)
M.	Henri-Jacques	SMOLIK	(01/09/2019 au 31/08/2022)
M.	Pierre	TROUILLOUD	(01/09/2020 au 31/08/2023)

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES MEDICALES

			Discipline Universitaire
Mme	Lucie	AMOUREUX BOYER	Bactériologie
Mme	Julie	BARBERET	Biologie et médecine du développement et de la reproduction- gynécologie médicale
Mme	Louise	BASMACIYAN	Parasitologie-mycologie
Mme	Shaliha	BECHOUA	Biologie et médecine du développement
(Disponibilité)			
M.	Guillaume	BELTRAMO	Pneumologie
M.	Mathieu	BLOT	Maladies infectieuses
Mme	Marie-Lorraine	CHRETIEN	Hématologie
Mme	Vanessa	COTTET	Nutrition
M.	Damien	DENIMAL	Biochimie et biologie moléculaire
M.	Valentin	DERANGERE	Histologie
Mme	Ségolène	GAMBERT	Biochimie et biologie moléculaire
Mme	Françoise	GOIRAND	Pharmacologie fondamentale
M.	David	GUILLIER	Anatomie, chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
M.	Alain	LALANDE	Biophysique et médecine nucléaire
Mme	Stéphanie	LEMAIRE-EWING	Biochimie et biologie moléculaire
Mme	Anne-Sophie	MARIET	Biostatistiques, informatique médicale
M.	Pierre	MARTZ	Chirurgie orthopédique et traumatologie
M.	Thomas	MOUILLOT	Physiologie
M.	Alain	PUTOT	Gériatrie
(Disponibilité pour convenances personnelles)			
Mme	Claire	TINEL	Néphrologie
M.	Antonio	VITOBELLO	Génétique
M.	Paul-Mickaël	WALKER	Biophysique et médecine nucléaire

PROFESSEUR ASSOCIE DES DISCIPLINES MEDICALES

M.	Ludwig Serge	AHO GLELE	Hygiène hospitalière
M.	Victorin	AHOSSI	Odontologie
M.	Jacques	BEURAIN	Neurochirurgie
M.	Jean-Michel	PINOIT	Pédopsychiatrie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES DE MEDECINE GENERALE

Mme	Katia	MAZALOVIC	Médecine Générale
Mme	Claire	ZABAWA	Médecine Générale

PROFESSEURS ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE

M.	Clément	CHARRA	Médecine Générale
M.	Arnaud	GOUGET	Médecine Générale
M.	François	MORLON	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES DE MEDECINE GENERALE

M.	Jérôme	BEAUGRAND	Médecine Générale
Mme	Anne	COMBERNOUX -WALDNER	Médecine Générale
M.	Benoit	DAUTRICHE	Médecine Générale
M.	Alexandre	DELESVAUX	Médecine Générale
M.	Rémi	DURAND	Médecine Générale
M.	Olivier	MAIZIERES	Médecine Générale
Mme	Ludivine	ROSSIN	Médecine Générale

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Anaïs	CARNET	Anglais
Mme	Catherine	LEJEUNE	Pôle Epidémiologie
M.	Gaëtan	JEGO	Biologie Cellulaire

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Marianne	ZELLER	Physiologie
-----	----------	---------------	-------------

PROFESSEURS AGREGES de L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

Mme	Marceline	EVRARD	Anglais
Mme	Lucie	MAILLARD	Anglais

PROFESSEUR CERTIFIE

M.	Philippe	DE LA GRANGE	Anglais
----	----------	---------------------	---------

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

M.	Mathieu	BOULIN	Pharmacie clinique
M.	François	GIRODON	Sciences biologiques, fondamentales et cliniques
Mme	Evelyne	KOHLI	Immunologie
M.	Antonin	SCHMITT	Pharmacologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

PRATICIENS HOSPITALIERS DES DISCIPLINES PHARMACEUTIQUES

Mme	Amélie	CRANSAC	Pharmacie clinique
M.	Philippe	FAGNONI	Pharmacie clinique
M.	Marc	SAUTOUR	Botanique et cryptogamie

L'UFR des Sciences de Santé de Dijon, Circonscription Médecine, déclare que les opinions émises dans les thèses qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend ne leur donner ni approbation, ni improbation.

COMPOSITION DU JURY

Président : Professeur CHAUVET-GELINIER Jean-Christophe

Membres :

Professeur HUET Frédéric

Professeur PINOIT Jean-Michel

Docteur FORESTIER Nathalie

SERMENT D'HIPPOCRATE

"Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions.

J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité.

Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences.

Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera.

Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque."

DEDICACES ET REMERCIEMENTS

À mon président de jury, Monsieur le Professeur Jean-Christophe Chauvet-Gelinier, vous m'avez fait l'honneur d'accepter de présider mon jury, vous avez su me transmettre la volonté d'approfondir mes recherches, je vous remercie pour votre disponibilité et votre soutien.

À Madame le Docteur Nathalie Forestier, qui m'a accompagné depuis mon premier semestre en 2018 et en particulier lors de la rédaction de ma thèse. C'est un immense honneur pour moi d'avoir accepté d'être ma directrice de thèse, je vous en suis sincèrement reconnaissant.

Monsieur le Professeur Jean-Michel Pinoit, je vous remercie du grand soutien que vous m'avez apporté pendant mon internat et dans ma formation en tant que pédopsychiatre. Merci pour votre gentillesse et votre supervision pendant mon cursus et la période de ma thèse. C'est un honneur de vous compter parmi les membres de mon jury.

Monsieur le Professeur Huet Frédéric, merci de m'honorer de votre présence dans mon jury. Merci de m'avoir montré le lien inséparable entre la pédiatrie et la pédopsychiatrie. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Aux médecins, aux équipes soignantes et à tous les intervenants avec qui j'ai eu la chance de travailler durant ces années d'études, à tous ceux qui m'ont expliqué, qui se sont opposés, qui m'ont aidé à voir les choses d'une façon différente et m'ont donné la passion pour cette profession.

Aux patients qui m'ont fait confiance et m'ont permis d'apprendre à travers leurs histoires de vies.

À mes parents, Myriam Abécassis et le Docteur Philippe Abécassis, qui ont su me guider et m'aider à voir le bien autour de nous, pour avoir cru en moi et m'avoir laissé la liberté de devenir ce que je souhaitais être.

À mon frère le Docteur Lichai Abécassis, à ma sœur le Docteur Auriane Abécassis, je vous remercie de toujours avoir cru en moi, c'est un honneur d'être votre grand frère.

A mes amis à travers le monde qui m'ont toujours donné le courage de continuer et l'amour nécessaire pour traverser les périodes difficiles.

À mes grands-mères et mes grands-pères paternels et maternels, qui ne pourront être ici avec nous, merci. Je vous aime.

Table des matières

1. Introduction	14
• 1.1. Aspect clinique	14
• 1.1.1. Trouble du spectre autistique	14
• 1.1.1.1. Diagnostic	14
• 1.1.1.2. Les facteurs neurobiologiques	15
• 1.1.1.3. Les facteurs genetiques	15
• 1.1.1.4. Les traitements medicamenteux	16
• 1.1.2. Trouble deficit de l'attention avec ou sans hyperactivite	16
• 1.1.2.1. Les donnees neurobiologiques	16
• 1.1.2.2. Les traitements	17
• 1.2. Prevalence des troubles :	17
• 1.3. Therapies traditionnelles :	18
2. Matériels et méthodes	20
• 2.1. Strategie de recherche	20
• 2.2. Criteres d'inclusion et d'exclusion	21
• 2.3. Elimination des doublons	22
• 2.4. Selection des articles	22
• 2.5. Extraction des donnees	22
3. Résultats	24
• 3.1. Processus de selection	24
• 3.2. Analyse des donnees	26
• 3.2.1. Caracteristiques des etudes incluses : design et resultats principaux	26
• 3.2.2. Analyse des donnees : interaction sociale	27
• 3.2.3. Trouble de la communication	29
• 3.2.4. Analyse des donnees : trouble de la communication	30
• 3.2.5. Trouble moteur	32

• 3.2.5.1. Analyse des donnees : trouble moteur	34
• 3.3. Trouble de l'attention conjointe :	37
• 3.3.1. Analyse des donnees : attention conjointe	38
• 3.4. Reconnaissance des emotions :	39
• 3.4.1. Analyse des donnees : reconnaissance des emotions	40
• 3.5. Trouble du comportement et repetitions	42
• 3.5.1. Analyse des donnees : trouble du comportement et repetitions	42
• 3.6. Trouble deficit de l'attention avec ou sans hyperactivite	43
• 3.6.1. Analyse des donnees : trouble deficit de l'attention avec ou sans hyperactivite :	44
• 3.7. Analyse des biais	45
4. Discussion	46
• 4.1. Limites de l'etude :	46
• 4.2. La theorie de la motivation sociale dans l'autisme, comment peut-elle etre un biais ?	48
• 4.3. Études en cours	48
• 4.4. Etude analogue	49
• 4.5. Aspect ethique d'un therapeute robot dote d'une intelligence artificielle	49
• 4.6. Perspectives	50
5. Conclusions	51
6. Bibliographie	53
7. Annexe	55

TABLE DES TABLEAUX

• Tableau 1 : Trouble des interactions sociales	26
• Tableau 2 : Trouble des interactions sociales, éléments complémentaires	27
• Tableau 3 : Trouble de la communication	29
• Tableau 4 : Trouble de la communication, éléments complémentaires	30
• Tableau 5 : Trouble moteur	33
• Tableau 6 : Trouble moteur, éléments complémentaires	34
• Tableau 7 : Trouble de l'attention conjointe	37
• Tableau 8 : Attention conjointe, éléments complémentaires	37
• Tableau 9 : Reconnaissance des émotions	39
• Tableau 10 : Reconnaissance des émotions, éléments complémentaires	40
• Tableau 11 : Trouble du comportement et répétitions	42
• Tableau 12 : Trouble du comportement et répétitions, éléments complémentaires	42
• Tableau 13 : Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité	43
• Tableau 14 : Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, éléments complémentaires	43
• Tableau 15 : analyse des biais ROB-2	45

LISTE DES ABREVIATIONS

ABC: Aberrant Behavioral Checklist ratings

ADI: Autism Diagnosis Interview-Revised

ADOS-2: Autism Diagnostic Observation Schedule -2

ANT: Attention Network Test

BOT-2: Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, 2nd edition

BRIEF: Behavior Rating Inventory of Executive Function

CARSTM-2: Childhood Autism Rating Scale™ – Second Edition

CBCL: child behavior checklist

CGI-I: Clinical Global Impression-Improvement

CPT-III: commission score from Conners

DISCO: Communication Disorders

EGG: The Emotion Guessing Game

ELT: Emotional Lexicon Test

IEP: Individualized Education Program

K-ABC: Kaufman Assessment Battery for Children

KBIT: Kaufman Brief Intelligence Test – Second Edition

MSEL: Mullen Scale of Early Learning; Mullen, 1995

NEPSY: II-The Developmental Neuropsychological Assessment, Second edition

PEP-3 : Psychoeducational Profile, Third Edition

SCQ : Social Communication Questionnaire

SRS: Social Responsiveness scale, preschool and child version.

SRS 2: Social Responsiveness Scale, Second Edition

STAT: Screening Tool for Autism in Toddlers and Young Children

TDAH : Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

TEC : Test of Emotional Comprehension

TED : Trouble envahissant du développement

TND: Trouble neurodéveloppementaux

ToM : Theory of mind understanding

TSA : Trouble du spectre autistique

VABS : II-The Vineland Adaptive Behavioral Scales, Second edition

1. INTRODUCTION

Les troubles neurodéveloppementaux sont un ensemble de pathologies évoluant dans la petite enfance et pouvant affecter le développement de plusieurs systèmes neurologiques, ce qui impacte l'acquisition de nouvelles capacités mentales, la résolution de problèmes, la programmation, la pensée complexe et enfin le discernement. (1)

Dans la majorité des cas, les premiers troubles se manifestent avant l'âge de 5 ans et peuvent être évocateurs d'une affection ayant un impact sur l'adaptation personnelle, sociale mais aussi scolaire. (2)

Les troubles neurodéveloppementaux sont souvent associés entre eux et coexistent, cela rend les diagnostics difficiles et nécessitent une prise en soins pluridisciplinaires. Nous observons que les enfants ayant un trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) souffrent souvent également de troubles spécifiques des apprentissages.

Ces derniers peuvent être handicapants dans la vie quotidienne. Le handicap intellectuel, dans la société actuelle, peut conduire les patients à développer un mal-être face à la gestion souvent complexe du quotidien.

Dans les pathologies telles que les troubles du spectre autistique, les patients sont atteints de plusieurs symptômes. Afin d'être précis dans la compréhension de l'efficacité de la robotique, nous avons classé les études en fonction de la pathologie étudiée. Ce classement simplifie la compréhension et permet ainsi d'aborder plus aisément l'efficacité de la robotique. Nous analyserons donc chaque trouble séparément et donc pas dans sa globalité au vu de la variété des aspects à étudier.

1.1. Aspect clinique

Nous avons choisi de nous focaliser sur les TSA et TDAH car les articles sélectionnés traitent principalement les aspects de ces pathologies.

1.1.1. Trouble du spectre autistique

1.1.1.1. Diagnostic

Le diagnostic d'un trouble du spectre autistique est difficile. Les parents s'inquiètent souvent avant l'âge de 2 ans du développement de leur enfant. Ces dernières années, les diagnostics sont posés de plus en plus précocement.

Les aspects principaux du diagnostic sont :

- Des anomalies qualitatives de la communication telles que l'absence de bégaiement, absence de pointage ou d'intérêt.
- Anomalies qualitatives des interactions sociales, pauvreté du contact visuel et des interactions sociales, manque d'orientation du regard et du sourire social.
- Comportements restreints et répétitifs tels que la fixation d'une partie d'un objet ou l'alignement des jouets.

Les signes d'alerte absolue sont le manque de bégaiement et de pointage à l'âge de 12 mois, absence totale de mots à 16 mois et absence de combinaison d'au moins deux mots à 14 mois.

1.1.1.2. Les facteurs neurobiologiques

À ce jour, l'étiologie précise de la pathologie reste floue. Des troubles sensoriels et perceptifs sont remarqués. Sur le plan neurobiologique, des études démontrent que plusieurs régions cérébrales sont atteintes telles que le corps amygdaloïde, le cervelet, la région temporo-ventro basale et la région supérieure du noyau caudé. Des anomalies entre la connectivité des neurones et les dendrites ont été évoqués.

Sur le plan des neurotransmetteurs, nous trouvons chez 30 à 40 % des patients une hypersérotoninergie et un dysfonctionnement dans la synthèse de la sérotonine. Certaines études suggèrent des modifications de certains neuropeptides mais cela reste incertain.

Les systèmes gabaergique et glutamatergique semblent également avoir un rôle dans le dysfonctionnement.(1).

Enfin, plusieurs études mettent en avant le rôle du microbiote intestinal et le profil anormal des taux de cytokines ainsi que du taux de vitamine A. (3)

1.1.1.3. Les facteurs génétiques

Les dernières études montrent une hérédité dans 65 à 90 % des cas. Néanmoins les gènes impactés sont nombreux et à ce jour il est impossible de les identifier clairement.

1.1.1.4. Les traitements médicamenteux

Il n'existe pas à ce jour de traitement médicamenteux efficace pour atténuer l'intégralité des symptômes du TSA.

Des études récentes montrent que, parmi les antipsychotiques les plus étudiés, l'Haloperidol serait efficace pour les symptômes tels que l'agressivité, l'hyperactivité et l'impulsivité mais les effets indésirables sont importants. La Risperidone et l'Aripiprazole se sont montrés efficaces pour l'irritabilité.

Parmi les psychostimulants, le Méthylphénidate a montré une certaine efficacité dans le TDAH. Aucun antidépresseur n'a démontré une efficacité dans cette population. (1,4)

1.1.2. Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

La prévalence du TDAH dans la population pédiatrique est de 5 %. Les changements de diagnostics entre les DSM-IV et 5 auraient légèrement augmentés cette dernière.

Les garçons sont deux à quatre fois plus impactés que les filles.

Le diagnostic se fait à partir de 3 éléments majeurs :

- Les troubles de l'attention qui se manifestent dans les difficultés du patient à entamer des activités et des difficultés d'organisation.
- L'hyperactivité responsable d'une agitation motrice régulière.
- L'impulsivité dans le comportement telle que des réponses données avant que les questions soient finies, interruption de conversations ou d'activités des autres.

Nous pouvons également trouver des éléments tels qu'une faible tolérance à la frustration, une irritabilité et une fragilité de l'humeur. Le DSM-5 précise que plusieurs de ces éléments doivent être présents avant l'âge de 12 ans.

1.1.2.1. Les données neurobiologiques

Les articles s'intéressant à la neuro- imagerie confirme une réduction totale du cerveau d'environ 3 à 5 %. Ils constatent également un retard de maturation corticale impliquant les circuits cérébelleux reliés au fonctionnement cognitif supérieur notamment les réseaux sensori-moteurs de base. (5)

De nombreuses études suggèrent un dysfonctionnement du système catecholaminergique, et récemment certaines retrouvent également une implication du système sérotoninergique.

De nombreux facteurs génétiques et environnementaux ont été associés au TDAH sans pouvoir être considéré en tant que facteur majeur ou unique.

1.1.2.2. Les traitements

Le Méthylphénidate est le traitement de première intention avec une efficacité de 70 % chez les patients entre 7 et 12 ans. Les effets indésirables les plus fréquents sont l'insomnie, la perte d'appétit, les céphalées et les douleurs abdominales.

Des alternatives telles que l'Atomoxétine, l'Imipramine et la Clonidine ont montré une certaine efficacité.

Dans les TDAH, il est important d'inclure les parents et les enseignants dans les interventions et les prises en soins. La guidance parentale consiste principalement à informer les parents et à leur prodiguer des conseils éducatifs visant à améliorer la compréhension et favoriser l'intégration sociale. Compte tenu des difficultés d'apprentissage, souvent liés à cette pathologie, il est important d'informer les enseignants afin de favoriser l'évolution du patient tout en mettant en place un aménagement scolaire avec des conditions pédagogiques répondant aux besoins du patient. (6)

1.2. Prévalence des troubles :

Une grande étude publiée en 2022, montre une prévalence des TSA au niveau international de 65/10000 (7) en comparaison à une étude de 2012 qui démontrait une prévalence de 62/10000, avec une grande variété entre les pays. (8)

En France, le ministère de la Santé nous communique des chiffres marquants, entre 0,9 % et 1,2 % des naissances, soit 7500 nouveau-nés chaque année.

La population de TSA serait de 700000 en France, soit 1 % de la population alors que 5 % de la population souffrirait d'un TDAH, entre 5 et 7% des enfants de dyslexie et 6 % de troubles de la coordination.

L'évolution technologique de ces dernières années nous permet de mettre en place des nouvelles stratégies thérapeutiques et de prise en soins régulières ainsi qu'un diagnostic plus précoce et plus précis.

1.3. Thérapies traditionnelles :

Les prises en soins des TSA sont multiples. Chaque patient a besoin d'une adaptation à ses difficultés individuelles. Ceux en souffrant sont atteints dans plusieurs aspects de leur vie, notamment les interactions sociales, les troubles moteurs et de la coordination. Il est difficile de trouver une thérapie incluant dans sa prise en soins tous les aspects de la pathologie et par conséquent, les thérapeutes doivent faire avec celles disponibles concernant la majorité des patients. Certaines montrent peu d'efficacité et un manque d'amélioration malgré les efforts des intervenants. Il y a donc une demande de la communauté scientifique de comprendre quels sont les meilleurs types d'interventions dans cette population de patients.

La meilleure thérapie devrait inclure dans sa prise en soins le plus d'aspects possibles, avec une capacité à s'adapter aux besoins des patients incluant la famille et les professionnels. Une étude, publiée en 2005, évalue en terme de -Médecine fondée sur les faits- « evidence based medicine », les prises en soins existantes dans les TSA. Elle conclut que 3 des thérapies déjà pratiquées sont efficaces, pour améliorer les interactions sociales : *Applied behavior analysis* , *Discrete trial teaching* *Committee on Educational Interventions for Children with Autism*, et *Pivotal response training*

Des thérapies telles que *Communication System et Incidental teaching*, *Structured teaching* *Picture Exchange* démontrent également une amélioration globale des résultats des patients mais sans preuve d'évidence scientifique.(9)

À ce jour, la littérature n'identifie aucune thérapie ciblant précisément les comportements antisociaux des patients souffrant de TSA. La thérapie cognitivo-comportementale est recommandée mais n'est pas spécifique. (10)

Le développement rapide de la robotique offre au thérapeute de nombreuses options et champs à explorer dans des domaines différents : la communication, les mouvements et les interactions sociales.

De plus en plus d'adolescents TSA se retrouvent sur les réseaux sociaux, dans les jeux vidéo en ligne et confrontés à la technologie et leurs dangers (10)

Il est donc pertinent d'inclure la technologie dans leur prise en soins. Les robots interactifs peuvent venir soutenir les thérapies déjà existantes en ajoutant une spécificité afin de cibler des aspects des troubles. Grâce à des détecteurs de mouvements oculaires, les thérapeutes peuvent adapter le cours de la prise en soins si nécessaire.

D'autres applications de la robotique dans la psychiatrie sont apparues.

En effet, depuis plusieurs années, les robots sociaux sont inclus dans les prises en soins de psychiatrie notamment concernant les troubles anxieux généralisés. Une étude publiée en 2022 conclut que la robotique aurait potentiellement une efficacité dans la thérapie de troubles anxieux sociaux.(11)

Face à ces constats, notre étude explore la littérature afin d'identifier l'application et de comprendre l'efficacité de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les troubles neurodéveloppementaux.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Nous avons effectué notre revue systématique de la littérature en suivant les recommandations de la Cochrane Association. Les recommandations Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (ci-après « PRISMA ») ont été suivies pour l'écriture.

La revue a été établie en plusieurs étapes : établir l'hypothèse de travail, définir un objectif et répondre à une question. Nous avons alors défini les critères d'inclusion correspondant au mieux à notre tâche tout en sachant que la question traite d'un sujet relativement récent dans le monde de la médecine.

2.1. Stratégie de recherche

Avant la rédaction, le protocole de recherche et le titre de cette revue systématique de la littérature a été publié sur *l'International Prospective Register of Systematic Review* (PROSPERO) sous le numéro CRD42022338248, consultable à l'adresse suivante :

https://www.crd.york.ac.uk/prospero/display_record.php?ID=CRD42022338248

Les bases de données de littératures scientifiques médicales qui ont été utilisé sont : PUBMED, COCRHANE, EMBASE, PSYCHINFO. Dans cette revue systématique, nous incluons les études publiées pendant la période de janvier 2013 jusqu'à novembre 2021.

Des algorithmes de recherche ont été écrits afin de trouver les articles traitants le sujet de la façon la plus précise possible.

Les algorithmes de recherche ont été faits séparément pour chaque base de données, via les mots clés "MeSH" (Medical Subject Headings).

➤ PUBMED:

(Intervention*[Text Word] OR Trial*[Text Word]) AND (((((((((((neurodevelopmental disorder*[Text Word]) OR (autis*[Text Word])) OR (learning disorder*[Text Word])) OR (communication disorder*[Text Word])) OR (psychomotor disorder*[Text Word])) OR (attention deficit disorder with hyperactivity[Text Word])) OR (autism spectrum disorder[MeSH Terms])) OR (learning disorders[MeSH Terms])) OR (psychomotor disorders[MeSH Terms])) OR (attention deficit disorder with hyperactivity[MeSH Terms])) AND (((robotics[MeSH Terms]) OR (artificial intelligence[MeSH Terms])) OR (robotic*[Text Word] OR artificial intelligence[Text Word]))

➤ EMBASE:

((('neurodevelopmental disorder'/exp OR 'neurodevelopmental disorder' OR (neurodevelopmental AND ('disorder'/exp OR disorder)) OR autis* OR 'learning'/exp OR learning) AND disorder* OR 'communication'/exp OR communication) AND disorder* OR psychomotor) AND disorder* OR 'attention deficit disorder with hyperactivity'/exp OR 'attention deficit disorder with hyperactivity' OR (('attention'/exp OR attention) AND deficit AND ('disorder'/exp OR disorder) AND with AND ('hyperactivity'/exp OR hyperactivity))) AND (robotic* OR 'artificial intelligence'/exp OR 'artificial intelligence' OR (artificial AND ('intelligence'/exp OR intelligence))) AND (intervention* OR trial*)

➤ PSYCINFO:

((neurodevelopmental disorder or autis* or learning disorder* or communication disorder* or psychomotor disorder* or attention deficit disorder with hyperactivity) and (robotic* or artificial intelligence) and (Intervention* or Trial*)).tw.

2.2. Critères d'inclusion et d'exclusion

La question de cette revue systématique a été posé en utilisant la méthode de recherche PICOT (Patient, Intervention, Comparateur, Outcome, Type d'étude).

La sélection des articles s'est faite en répondant aux critères suivants :

- Essais cliniques ou essais randomisés contrôlés
- Patients atteints de troubles neurodéveloppementaux en adéquation avec les critères des classifications suivantes DSM-III, DSM-III-R, DSM-IV, DSM-IV-TR, DSM-5, CIM-9, CIM-10, ADOS-1, ADOS-2.
- Utilisation lors des interventions de robots particulièrement conçus pour les troubles neurodéveloppementaux (TND) et technologies utilisant l'intelligence artificielle
- Population Pédiatrique de 18 mois à 17 ans
- Etudes incluant un groupe contrôle ou comparant à d'autres thérapies utilisées
- Etudes rédigées en anglais

Nous avons exclu un grand nombre d'articles qui ne respectaient pas les critères d'inclusion ou avaient au moins un critère d'exclusion :

- Patients qui n'ont pas été diagnostiqués par une échelle officielle souffrant de TND
- Etudes qui ne répondaient pas à un niveau de preuve suffisant : études de cas, rapports d'observation, études transversales, études croisées
- Etudes n'utilisant pas en intervention des robots ou des logiciels avec une intelligence artificielle

2.3. Elimination des doublons

Après avoir effectué une recherche dans les bases de données, nous avons procédé à l'élimination de doublons en utilisant les outils informatiques : RAYYAN et ZOTERO.

L'élimination des articles sélectionnés a été fait avec le logiciel ZOTERO, divisant les articles présélectionnés en 2 catégories, se basant initialement sur le titre et le sujet : inclu, exclu.

2.4. Sélection des articles

Après la présélection des articles, la lecture des abstracts nous permettait d'emblée d'exclure les articles en appliquant les critères d'inclusion et d'exclusion mentionnés ci-dessus.

Les deux lecteurs Nathalie Forestier (NF) et Ariel Abécassis (AA), n'ont pas eu de conflit ou de désaccord lors de la sélection des articles et par conséquent un troisième lecteur, afin de résoudre le désaccord, n'a pas été nécessaire.

Les articles complets ont été récupérés avec accès au texte complet. Les mêmes étapes ont été mises en place lors de la lecture.

2.5. Extraction des données

Les données ont été extraites des articles complets initialement dans des fiches séparées, mais au vu de l'hétérogénéité des échelles et des types d'intervention de chaque étude, il a été décidé d'extraire les données dans des tableaux traitant des aspects de chaque pathologie.

Pour chaque étude sélectionnée, nous avons extrait les données suivantes :

- Premier auteur
- Type d'étude
- Pays, Année de publication
- Pathologie étudiée
- Aspect de la pathologie étudiée
- Type d'intervention
- Echelle et outils utilisés afin d'évaluer l'efficacité de l'intervention.
- Durée et fréquence de l'intervention
- Résultat principal (intervention vs contrôle)
- Nombre de participants

Les résultats des données et l'efficacité des interventions ont été comparées dans chaque étude appliquant des échelles telles que : Screening Tool for Autism in Toddlers and Young Children(STAT), The Emotion Guessing Game (EGG) et The Developmental Neuropsychological Assessment, Second edition (NEPSY-II).

3. RÉSULTATS

3.1. Processus de sélection

L'application des algorithmes de recherche nous a permis de trouver un total de 542 articles. Nous avons procédé à l'élimination de doublons (n=69), utilisant l'application RAYYAN réduisant le nombre d'articles à 473.

Une simple lecture des titres nous a permis d'éliminer 350 articles, la majorité d'entre eux ne traitant pas le sujet ou ne répondant pas à un niveau de preuve suffisant.

Sur les 123 articles restant à l'issue de de la première étape, une lecture attentive des abstracts a affiné notre processus de sélection, nous basant désormais sur le contenu de l'étude, les hypothèses et la méthodologie de cette dernière.

Nous avons retenu 20 articles, tous sont des essais cliniques randomisés. Ils traitent de l'utilisation de la robotique et/ou de l'intelligence artificielle dans la prise en soins des troubles neurodéveloppementaux en utilisant des échelles d'évaluation objectives et standardisées.

Toutes les études sélectionnées ont été publiées en anglais.

Le nombre total de participants dans les études est de 526 patients.

Le nombre de participants est variable suivant les études, dans une fourchette de 6 à 73.

Les durées des interventions étaient également très hétérogènes variant de 5 minutes une seule fois à 32 séances de 45 minutes chacune. (12,13)

L'âge de la population se situe entre 3 et 12 ans. Nous n'avons pas inclus des études traitant la population majeure.

Les patients souffrent tous de troubles neurodéveloppementaux, majoritairement de TSA (n=497) et 29 patients de TDAH. Compte tenu la grande variété de symptômes de chaque pathologie, les études se sont focalisées sur un aspect ou des symptômes précis de la pathologie tels que : trouble moteur, trouble de la reconnaissance d'émotions ou interaction sociale.

Afin de diagnostiquer les patients, des échelles telles que ADOS-1 ou ADOS-2 ont été utilisées pour réduire les biais et la subjectivité des intervenants.

Le type d'intervention varie parmi l'ensemble des études sélectionnées. Nous trouvons 10 études évaluant l'efficacité du robot NAO (social robot), 5 autres études utilisent des robots

différents de type : ROBOT PROB , Robot dramas designed by So et al OU iRobiQ -CARO (12,14,15)

Nous avons également sélectionné des logiciels et des appareils dotés d'une intelligence artificielle : Superpower *Glass- Google Glass* ou *KAD_SCL_01 games*. (16,17)

Le type d'intervention et la population des patients rendaient impossible le double aveugle dans la grande majorité des études.

3.2. Analyse des données

Caractéristiques des études incluses : design et résultats principaux

Tableau 1 : Trouble des interactions sociales

1^{er} auteur	Type d'étude	Pays, Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudié	Type d'intervention	Résultats principaux	Nombre de participants et données générales
Iris van den Berk-Smeekens	Essai clinique randomisé	Les pays bas 2021	ASD Interaction sociale	Social robot NAO	Aucune supériorité de l'une des prises en soins par rapport aux deux autres en se basant sur le score de l'échelle SRS , $p=0.086$	n= 73 3-8 ans
Catalin Voss	Essai clinique randomisé	USA 2019	ASD Interaction sociale	Superpower Glass- Google Glass	Une amélioration observable uniquement à l'échelle VABS-II montrant 4.58 points, $P = .005$	n=71 63 garçons 8 filles 8 -12 ans âge moyen 8.38
Elizabeth S. Kim	Essai clinique randomisé	USA 2012	ASD Interaction sociale	The socially expressive robot Pleo.	Les résultats de l'étude nous montrent que les enfants souffrant de TSA sont plus curieux et réagissent plus en interaction avec le robot $p>0.05$	n=24 4 - 12 ans
Cristina A. Pop	Essai clinique randomisé	Roumanie 2019	ASD Interaction sociale	Robot Ptobo	Le groupe Robot, interagit significativement plus et répond a plus de questions que le groupe contrôle. $p = 0.025$.	n=20 4 - 9 ans

Tableau 2 : Trouble des interactions sociales, éléments complémentaires

1 ^{er} auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour le diagnostic
Iris van den Berk-Smeekens	14 séances de 45 minutes, et 2 séances de 90 minutes	SRS-II ADOS	DMS-IV IQ TEST
Catalin Voss	20 minutes par séance, 4 fois par semaine pendant 6 semaines.	EKG NEPSY-II VABS-II SRS-II IQ	Social Communication Questionnaire
Elizabeth S. Kim	Une séance de 6 minutes 3 fois	Nombre de réactions et de regards	ADOS IQ test
Cristina A. Pop	Une séance de 15 minutes	Nombre de réactions et de regards	ADOS DMS-IV

3.2.1. Analyse des données : Interaction sociale

Nous avons sélectionné 4 études évaluant l'efficacité de la robotique et de l'intelligence artificielle dans le trouble des interactions sociales chez les patients TSA.

3.2.1.1. Dr. Iris van den Berk-Smeekens

La première étude évalue trois différents types de thérapies visant à améliorer les interactions sociales :

- Traitement à réponse charnière (PRT)
- PRT (Pivotal response treatment) ajoutant le robot NAO
- Prise en soins habituelle

La comparaison des thérapies ne conclue à aucune supériorité de l'une des prises en soins, par rapport aux deux autres, en se basant sur le score de l'échelle SRS, $p=0.086$. Cependant, l'étude constate une amélioration des résultats pour les patients ayant été également pris en soins par le robot. (18)

3.2.1.2. Dr. Catalin Voss

La deuxième étude évalue l'efficacité de lunettes Google utilisant des échelles VABS-II Emotion Guessing Game, NEPSY-II–Affect. Le but est d'évaluer l'efficacité de l'intervention sur plusieurs aspects, notamment la reconnaissance des émotions. Les résultats de l'étude démontrent dans ce domaine une amélioration chez certains patients après l'usage des lunettes. Une amélioration observable uniquement à l'échelle VABS-II montrant 4.58 points, $P = .005$. Les autres échelles utilisées montrent une certaine amélioration mais non significative. Cette étude nous montre également que l'efficacité et les capacités acquises lors des interventions restent significativement efficaces après 12 semaines. (16)

3.2.1.3. Dr. Elisabeth S. Kim

Cette étude évalue l'efficacité d'un robot dinosaure en comptant le nombre de réactions des patients. L'étude compare l'efficacité des thérapies par robot, par un adulte et avec écran. Les résultats nous montrent que les enfants souffrant de troubles autistiques sont plus curieux et réagissent plus en interaction avec le robot $M = 25.5$, $SD = 15.5$, $t(23) = 1.87$, $p > 0.05$. (19)

Nous pouvons nous interroger sur l'originalité et la fréquence à laquelle les patients sont confrontés à un robot. Ces éléments peuvent effectivement biaiser les résultats tout en sachant que les patients sont régulièrement confrontés à des adultes et des écrans donc désensibilisés

3.2.1.4. Dr. Cristina A.Pop

Cette étude compare un robot racontant une histoire avec un groupe contrôle et un écran. Elle utilise une échelle d'évaluation incluant les nombres de réponses, de regards et de réactions avec un score maximum de 7 points. L'expérimentation de type interactive se déroule durant 10 min avec un intervenant ou un Robot. Une différence significative est constatée entre le groupe contrôle et le groupe robot $U = 7$, $Z = -2.23$, $p = 0.025$. L'étude objective que les patients, dans le groupe Robot, interagissent significativement plus et répondent à plus de questions que le groupe contrôle. Aucune autre différence n'a pu être montrée. $P = 0.116$. (20)

Interactions sociales :

Parmi les quatre études étudiant l'aspect des interactions sociales dans les TSA, trois études utilisent des robots interactifs de modèles différents et une étude utilise des super lunettes de Google. **Trois études démontrent une amélioration significative utilisant les échelles respectives.** Les quatre études montrent une amélioration générale mais non significative.

3.2.2. Trouble de la communication.

Tableau 3 : Trouble de la communication

1 ^{er} auteur	Type d'étude	Pays Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudiée	Type d'intervention	Résultats principaux	Nombre de participants et données générales
Sudha M. Srinivasan	Essai clinique randomisé	USA 2016	ASD Trouble de la communication Attention conjointe	Social robot NAO	Pas d'amélioration significative entre les différents types d'interventions	n = 36 5 - 12 ans Age moyen : 7.63ans
Wing-Chee So	Essai clinique randomisé	Chine 2019	ASD Trouble de la communication	Social robot NAO	Capacité narrative :P<0.001 Elément complexe: P<0.001 Objective : :P<0.001 Dessin: p<.004 Emotions: p<0.07	n = 26 4 - 6ans
Bibi Huskens	Essai clinique randomisé	Pays-bas 2013	Trouble de la communication Initiation de question	Social robot NAO	Amélioration des 2 groupes mais pas significative.	n = 6

Tableau 4 : Trouble de la communication, éléments complémentaires

1 ^{er} auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour le diagnostic	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention
Sudha M. Srinivasan	32 séances de 45 minutes, pendant 8 semaines	SCQ ADOS	JTAT
Wing-Chee So	45 minutes, une fois par semaine pendant 12 semaines	ADOS-2 DSM-5	MSEL ToM
Bibi Huskens	3 à 5 séances de 10 minutes	IQ test DSM-4 SCQ	Nombre de questions correctes posées

3.2.3. Analyse des données : Trouble de la Communication

Parmi les 18 articles sélectionnés, certains s'intéressent plus spécifiquement aux troubles de la communication. Nous en avons sélectionné trois qui se focalisent principalement sur ce sujet en utilisant la robotique.

3.2.3.1. Dr. Sudha M. Srinivasan

Une première étude, incluant 36 participants, étudie l'efficacité de la robotique dans les troubles de la communication et d'attention conjointes. Les résultats montrent que dans l'échelle principale JTAT, nous n'observons pas d'amélioration significative entre les différents types d'interventions.

En revanche, l'étude constate une amélioration du score général entre le milieu et la fin de l'intervention p values < 0.002, range of SMD values = 0.75 to 0.76.

En comparant uniquement les résultats de verbalisation pré et post intervention dans le groupe robot, il y a une amélioration mais non significative.

Cependant, concernant la comparaison entre le groupe contrôle avec le groupe robot, le premier démontre plus d'engagement et de conversation spontanée que le groupe robot $p = 0.001$, SMD = 0.78. Ce dernier montre cependant une majoration du vocabulaire auto dirigée p values < 0.002, range of SMD values = 0.75 to 0.76. (21)

3.2.3.2. Dr. Wing-Chee So

Une étude chinoise, première d'une série de quatre études utilisant un robot Nao, évalue les capacités narratives des patients souffrant de TSA.

Cette étude donne des notes en fonction de la structure et de la logique narrative que les patients parviennent à verbaliser.

Les résultats montrent une amélioration significative de la capacité narrative des patients dans l'immédiat et après l'intervention, comparée au groupe contrôle $SE = 1.06$; $t = 5.50$, $p < .001$.

Dans un deuxième temps, une deuxième échelle d'évaluation a été mise en place afin d'évaluer des constructions d'histoire plus complexes. Les résultats montrent qu'il y a une amélioration significative dans la transmission des éléments complexes de l'histoire dans le groupe robot comparé au groupe contrôle, $SE = .02$; $t = 5.60$, $p < .001$. Le groupe contrôle ne montre pas d'amélioration significative $SE = .01$; $t = 1.55$, $p < .12$

Dans un troisième temps, l'étude tente de répondre à la question si les patients observent la compréhension objective de l'histoire. Les résultats montrent en effet une amélioration significative dans le groupe robot et n'est pas présente dans les groupes contrôle $SE = .05$; $t = 3.99$, $p < .001$.

Le degré d'intégration de l'histoire est enfin recherché. Ils ont demandé aux patients de dessiner des éléments de l'histoire et les résultats montrent que le groupe robot a de façon significative mieux intégré les événements et les personnages de l'histoire que le groupe contrôle $SE = .06$; $t = 2.87$, $p < .004$.

L'équipe a donc tenté de comprendre si les patients sont plus impliqués émotionnellement dans les événements de l'histoire pendant la répétition du récit. Les résultats ne montrent pas de changement significatif dans l'aspect affectif, $SE = .04$; $t = 1.79$, $p < .07$. (22)

3.2.3.3. Dr. Bibi Huskens

Cette étude, réalisée aux Pays-Bas, s'interroge sur la capacité de générer de la curiosité chez les patients souffrant de TSA en comptant le nombre de questions que ces derniers posent lors des interventions. Six patients sont inclus dans cette étude qui a été divisé en deux phases distinctes pré et post intervention. Dans un premier temps, les résultats ont été comparés individuellement. Le nombre de questions que chaque patient a posé en pré et post intervention a significativement augmenté. La comparaison entre le groupe robot et le groupe contrôle est difficile car, dans la première phase, le nombre de questions posées par les patients était très bas et dans la deuxième phase, le nombre de questions a augmenté de façon

importante chez tous les patients. Il est donc difficile de démontrer une efficacité significative dans le groupe robot.

Cette étude conclut que les robots peuvent significativement augmenter le nombre de questions posées par des patients mais est dans l'incapacité de répondre à la question si les robots sont plus efficaces que la thérapie habituelle.

Elle présente plusieurs limitations notamment dans le nombre de participants mais aussi la durée et la fréquence des interventions à savoir 3 à 5 fois 10 minutes. (23)

Communication

Nous avons sélectionné trois études utilisant le même modèle de robot Nao, se focalisant sur l'aspect de la communication chez les patients TSA.

Une d'entre elles montre une amélioration significative chez les patients dans la compréhension, l'intégration et dans l'implication émotionnelle lors des échanges verbaux

Trouble moteur

Tableau 5 : Trouble moteur

1 ^{er} auteur	Type d'étude	Pays, Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudié	Type d'intervention	Résultats principaux	Nombre de participants et données générales
Wing-Chee So	ERC	Chine 2018	ASD Trouble moteur	Social robot NAO	Gestuelle $p < .001$ Imitation verbale $p < .01$ Imitation verbale $p < .01$	n = 45 4 - 6 ans 9 f : 36 m
Sudha M. Srinivasan	ERC	USA 2015	ASD Trouble moteur	Social robot NAO	Synchronicité $p < 0.001$ Limitation $p = 0.007$	n = 36 5 - 12 ans Age moyen: 7.63 ans
Wing-Chee So	ERC	Chine 2019	ASD Trouble moteur.	Social robot NAO	Gestes : $p < .83$ Compréhension et la reproduction des gestes : $p < .96$ Chercher le regard humain $p < .04$ Imiter le comportement des humains : $p < .24$	n = 23 6 - 12ans Age moyen : 9.04 ans 3 filles 20 garçons
Wing-Chee So	ERC	Chine 2018	ASD Trouble moteur	Social robot NAO	Gestuelle $p < .001$ Imitation verbale $p < .01$ Imitation verbale $p < .01$	n = 45 4 - 6 ans 9 f : 36 m

Tableau 6 : Trouble moteur, éléments complémentaires

1 er auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour le diagnostic	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention.
Wing-Chee So	9 semaines, une fois par semaine pendant 30 minutes	IQ DSM5	BOT™-2 Fine Motor Composite standardized score (ANT)
Sudha M. Srinivasan	8 semaines de 32 sessions qui durait chacune 45 minutes	SCQ ADOS2	BOT-2
Wing-Chee So	9 semaines, une fois par semaine pendant 30 minutes	ADOS ADI DSM-5	PEP-3 BOT™-2

3.2.3.4. Analyse des données : Trouble moteur

3.2.3.4.1. Dr.Wing Chee So

Cette étude, réalisée à Hong Kong, est la deuxième de 3 études menées par le Docteur Wing-Chee-So. 45 patients ont été répartis en trois groupes de 15 : le groupe robot, le groupe contrôle et un groupe de patients avec un neurodéveloppement normal.

L'étude est divisée en deux parties : dans un premier temps « l'entraînement » qui inclut 5 histoires et une deuxième partie qui inclut 5 histoires différentes qui seront donc évaluées et prises en compte dans l'étude. Le robot enseigne 14 gestes basiques qui sont inclus dans le narratif d'une histoire. Les patients sont évalués en fonction de leur capacité à reconnaître la signification des gestes et la capacité de les reproduire.

Elle conclut qu'il y a une amélioration significative dans les domaines de mouvements fins, attention, reconnaissance et performance des gestes. Elle compare les résultats pré et post interventions liées à la gestuelle et établit une amélioration significative $F(2, 38) = 24.44, p < .001$ dans la capacité de reproduire certains gestes.

Elle s'est également intéressée à l'imitation verbale lors des gestes. La capacité d'imitation verbale est significativement meilleure dans les deux phases de l'étude $F(2, 38) = 3.74, p < .01$

La question posée est : l'intervention robotique aurait-elle une influence sur la facilité d'apprentissage chez les patients qui ont déjà acquis d'autres capacités telle que la communication, mobilité et reconnaissance de gestes ?

Les résultats montrent que l'apprentissage de nouveaux gestes serait le seul domaine dans lequel les patients auraient des facilités d'apprentissage $F(1, 26) = 4.56, p < .04$.

Les patients ne présentent pas d'amélioration dans la communication $\beta = .05, SE = .01, p < .21$, dans les mouvements fins $\beta = .01, SE = .09, p < .13$ et dans la capacité de concentration $SE = .82, p < .29$ (24)

3.2.3.4.2. Dr. Sudha M. Srinivasan

L'étude du Docteur. Sudha M.Srinivasan, évalue l'efficacité de la robotique dans les troubles pratiques, sur 36 patients de 5 à 12 ans. Les patients sont repartis en 3 groupes : le premier avec un instructeur qui encadre les patients en enseignant des gestes, le groupe robot et une intervention traditionnelle avec des dessins.

L'étude utilise une échelle standardisée Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency, 2nd edition (BOT-2) afin d'évaluer avant et après l'intervention les capacités motrices fines et brutes des patients. Ces derniers bénéficiaient déjà d'une prise en soins de type ABA. Lors des interventions trois patients ont été exclus suite à leur incapacité de suivre les interventions jusqu'à la fin.

Les résultats de cette étude montrent que les patients du groupe d'intervention traditionnelle se sont significativement améliorés ($SD = 41.44 (8.72), p = 0.02$) dans les gestes fins comparativement au groupe rythme ou au groupe robot.

En évaluant les patients individuellement, on constate une amélioration de la coordination générale de 9 patients. Les patients du groupe robot et du groupe rythme n'ont pas démontré d'amélioration significative dans les mouvements fins utilisant l'échelle BOT-2.

Sur le plan des limitations, le groupe robot démontre une amélioration significative dans la capacité de reproduire des gestes entre le début et la fin de l'intervention.

- Début : $M (SD) = 27.91 (21.66)$,
- Fin : $M (SD) = 22.60 (17.59), t(23)$
- $P = 0.007, SMD = -0.23$

L'étude évalue également la capacité de synchronicité avec les adultes. Le groupe robot montre une amélioration significative chez 10 des 12 participants, $p < 0.001$.(12)

3.2.3.4.3. Dr.Wing Chee So

Cette étude est la troisième d'une série de quatre études évaluant l'efficacité de la robotique dans les TSA, se penchant particulièrement sur les troubles moteurs mais également venant ajouter l'aspect visuel et la capacité d'attirer l'attention des patients.

Les résultats de l'étude montrent en outre qu'il n'y a pas d'amélioration significative dans le groupe robot pour la production des gestes demandés à travers les différentes phases de l'intervention $SE = .06$; $t = 0.21$, $p < .83$.

Une question aborde l'induction à l'erreur pour observer si les robots ont un effet délétère sur la compréhension et la reproduction des gestes. Les résultats ne le montrent pas. Ceux du groupe robot n'ont en effet pas fait plus de fautes que le groupe contrôle $SE = .06$; $t = 0.02$, $p < .96$.

L'étude s'interroge enfin sur le nombre de contacts visuels qui durent plus de 2 secondes avec un être humain en présence d'un robot. Les résultats nous apprennent que les patients ont significativement plus tendance à chercher le regard humain lors d'une intervention robotique $SE = .24$; $t = 2.21$, $p < .04$.

En définitif, l'étude montre donc qu'en présence d'un robot les patients n'ont pas plus tendance à imiter le comportement des humains $SE = .51$; $t = 1.19$, $p < .24$ mais uniquement à chercher leur regard. (25)

Trouble moteur :

4 études ont été sélectionnés abordant la question des troubles moteurs.

Les quatre études montrent une efficacité significative dans la gestuelle, l'imitation, la synchronicité et le recherche du regard humain.

Des échelles différentes ont été utilisé avec des résultats hétérogènes entre les études.

3.3. Trouble de l'attention conjointe :

Tableau 7 : Trouble de l'attention conjointe

1 ^{er} auteur	Type d'étude	Pays Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudié	Type d'intervention	Résultats principaux	Nombre de participants et données générales
Hirokazu Kumazaki	ERC	Japon 2018	ASD Trouble de l'attention conjointe	CommU (Vstone Co., Ltd.)- Robot	L'attention conjointe $p < 0.01$	n = 30 5 - 6 ans
Zhi Zheng	ERC	USA 2020		Social robot NAO	Non significative $p = 0.07$	n = 20 Age moyen 2.54 ans Entre 1.6 an et 3.2 ans
Wing-Chee So	ERC	Chine 2020	ASD Trouble de l'attention conjointe	Robot dramas designed by So et al	Interagir avec l'entourage et de pointer du doigt $P < .98$	n = 18 6 - 8ans 2 f : 2 m

Tableau 8 : Attention conjointe, éléments complémentaires

1 ^{er} auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour le diagnostic	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention.
Hirokazu Kumazaki	5 minutes 3 fois lors de la même visite	K-ABC. ADOS-G DISCO DSM-5 SCQ	Nombre de réaction et de regards
Zhi Zheng	Groupe RI 6 : 19 semaines Groupe WL 5 : 4 semaines 4 fois 10 minutes par semaine	STAT	Screening Tool for Autism in Toddlers and Young Children (STAT)
Wing-Chee So	6 Séances récits de 1 minute	-ADOS -DSM-V	ESCS. CARSTM-2 MSEL KBIT

3.3.1. Analyse des données : Attention conjointe

Les troubles de l'attention conjointe sont particulièrement handicapants dans la population de patients souffrant de TSA, nous avons sélectionné trois articles s'interrogeant sur l'efficacité des robots dans les thérapies.

3.3.1.1. Dr. Hirokazu Kumazaki

La première étude japonaise, incluant 30 patients, évalue les capacités d'attention conjointe pendant l'intervention robot et après, en interaction avec des humains. Leur hypothèse a été confirmée en montrant une amélioration significative dans l'attention conjointe pendant l'intervention avec les robots $F(1, 26) = 11.45; p < 0.01$ et après l'intervention $F(1, 26) = 8.90; p < 0.01$ en interagissant avec leur entourage. (13)

3.3.1.2. Dr. Zhi Zheng

L'étude suivante utilise plusieurs échelles avant et après l'intervention, afin de savoir si les robots interactifs améliorent l'attention conjointe.

Les résultats de STAT montrent une amélioration de 25% sans pour autant être statistiquement significatifs. L'étude constate que les patients ayant un QI supérieur à la moyenne et ceux plus jeunes seraient plus en capacité de bénéficier de ces thérapies notamment le résultat STAT.

Néanmoins, l'étude conclut que dans aucune des échelles ADOS-2, SRS-2, SRS-2 T, SCQ, et IQ, les patients ne montrent une amélioration significative, $p = 0.07$, après les interventions. (14)

3.3.1.3. Dr Wing chee so

Cette étude évalue la capacité de patients à interagir avec l'entourage et de pointer du doigt des objets après et durant une interaction avec un robot. L'étude conclue qu'il n'y a pas d'amélioration significative dans le groupe robot $p < .98$, $p < .65$ ou même dans le groupe humain $p < .51$, $p < .52$ après les interventions. (22)

Attention conjointe :

Nous avons retenu 3 études qui s'intéressaient à l'attention conjointe dans les TSA.

Les articles utilisaient des robots de modèles différents et des échelles d'évaluation différentes.

Une des trois études a démontré une amélioration significative.

3.4. Reconnaissance des émotions :

Tableau 9 : Reconnaissance des émotions

1 ^{er} auteur	Type d'étude	Pays Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudié	Type d'intervention	Résultats principaux	Nombre de participants et données générales
Sang-Seok Yun	ERC	KOREA 2017	ASD Reconnaissance de émotions	iRobiQ CARO	SRS : p = 0.232 CBCL : p = 0.03 SCQ : p = 0.92	n = 15 4 - 7 ans Age moyen : 5.75 ans
Flavia Marino	ERC	USA 2019	ASD Reconnaissance des émotions	Social robot NAO	TEC : p = .001 ELT p = .001	n = 14 4 - 8 ans Age moyen : 6.7 ans 12 m et 2 f
Arshya Vahabzadeh	ERC	USA 2018	ASD Reconnaissance des émotions	Computerized smartglasses Google X Empowered Brain is Face2Face	Diminution ABC Irritabilité 90 % Hyperactivité 41 % Retrait social 46,6 %	n = 4 Age moyen : 7.5 ans entre 6.7 - 8.8 ans

Tableau 10 : Reconnaissance des émotions, éléments complémentaires

1 er Auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour le diagnostic	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention.
Sang-Seok Yun	8 semaines, 5 minutes par semaine.	IQ DSM5	SRS CBCL SCQ EWHA VABS ADOS
Flavia Marino	6 semaines, 3 heures par semaine (90minutes 2 fois par semaine)	DSM-5	TEC Test ELT
Arshya Vahabzadeh	10 minutes 2 fois par semaine pendant 6 semaines	IEP SRS-2	SRS-2 ABC

3.4.1. Analyse des données : reconnaissance des émotions

3.4.1.1. Dr. Sang-Seok Yun

Cette étude coréenne évalue la capacité de reconnaissance des émotions après l'utilisation d'un robot en capacité de suivre les mouvements oculaires des patients. La capacité des patients à jouer et à interagir aurait été significativement améliorée d'après l'échelle d'évaluation ADOS-2 en pré et post intervention.

L'échelle d'évaluation *child behavior checklist*- CBCL montre une diminution significative de l'état d'anxiété et de retrait du patient ($P = 0.03$).

Cette étude montre une augmentation importante du nombre de regards et de contacts oculaires après la cinquième intervention dans le groupe contrôle et le groupe robot ($P < 0.05$). Elle constate une diminution importante de l'amélioration entre la 5e et la 8e interventions. En effet, elle montre une amélioration significative des reconnaissances des émotions jusqu'à la 4e intervention $P < 0.05$ et puis un état quasi statique jusqu'à la 8e intervention. (26)

3.4.1.2. Dr. Flavia Marino

Cette étude utilise deux échelles afin d'évaluer l'efficacité de la robotique dans la reconnaissance des émotions : *Test of Emotional Comprehension (TEC)* et *Emotional Lexicon Test (ELT)*.

- TEC-Le groupe robot a démontré une amélioration significative, $p=.001$, 59 % dans le score total
- ELT- le groupe robot montre une amélioration de 48 %, statistiquement significative $p=.001$. En additionnant le score global, le groupe robot montre une amélioration significativement plus importante que le groupe contrôle. (15)

3.4.1.3.Dr. Arshya Vahabzadeh

L'étude américaine utilise des smart glasses. L'intervention s'intègre dans le quotidien des patients, dans un milieu scolaire, à domicile. L'étude conclue a une diminution, dans le score ABC Aberrant Behavioral Checklist, de l'ordre de 90% pour l'irritabilité, de 41% concernant l'hyperactivité et enfin de 46.6% pour le retrait social. (27)

Reconnaissance des émotions :

Les trois études sélectionnées montrent une amélioration significative dans la reconnaissance des émotions, utilisant des échelles d'évaluation différentes et trois types d'interventions différentes ; 2 modèles de robots différents et une étude utilisant des smartglasses.

3.5. Trouble du comportement et répétitions

Tableau 11 : Trouble du comportement et répétitions

1 ^{er} auteur	Type d'étude	Pays Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudié	Type d'intervention	Résultats principaux	Nombre de participants et données générales
Sudha M. Srinivasan	Essai clinique randomisé	USA 2015	ASD Trouble du comportement et répétitions	Social robot NAO	Pas d'amélioration Groupe robot : réduction de l'humeur post intervention	n = 36 32 garçons 4 filles 5 - 12 ans Age moyen: 7.63 ans

Tableau 12 : Trouble du comportement et répétitions, éléments complémentaires

1 ^{er} auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outils utilisés pour le diagnostic	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention
Sudha M. Srinivasan	32 séances de 45 minutes, pendant 8 semaines		SCQ ADOS

3.5.1. Analyse des données : Trouble du comportement et répétitions

3.5.1.1. Dr. Sudha M. Srinivasan

Cette étude divise les patients en trois groupes : un intervenant humain, un groupe avec un robot et un groupe avec une tablette. L'objectif de cet article est d'évaluer l'efficacité dans la prise en soins de comportements sensoriels (coordination, équilibre, conscience de son entourage) dans la population pédiatrique souffrant de TSA.

En comparant les trois groupes, aucune différence significative n'a été observée.

L'étude évalue également l'état affectif des participants après les interventions et le groupe humain démontre une meilleure humeur comparée au groupe robot qui montre un fléchissement thymique après l'intervention. (28)

La seule étude qui évalue l'efficacité sur les troubles du comportement, ne montre pas d'amélioration significative.

3.6. Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

Tableau 13 : Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

1 ^{er} auteur	Type d'étude	Pays, Année de publication	Pathologie et aspect de la pathologie étudié	Type d'intervention	Résultat principal (intervention vs contrôle)	Nombre de participants et données générales
Rafael Medina	Essai clinique randomisé	Espagne 2019	ADHD Trouble de la concentration	KAD_SCL_01 games	Cluster significatif (P=.04) Fréquence des intervalles dans la région postéro-cérébral	n = 29 8 - 11 ans

Tableau 14 : Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité, éléments complémentaires

1 ^{er} auteur	Durée de fréquence de l'intervention	Echelle et outil utilisé pour le diagnostic	Echelle et outils utilisés pour évaluer l'efficacité de l'intervention.
Rafael Medina	15 minutes 3 fois par semaine pendant 12 semaines	DSM-5	CPT-III Magnetoencephalography BRIEF

3.6.1. Analyse des données : Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité :

3.6.1.1. Dr. Rafael Medina

Cette étude est la seule évaluant l'efficacité de l'intelligence artificielle dans le TDAH.

L'équipe utilise des magnéto encéphalographies et l'échelle CPT (performance continue) afin d'avoir la capacité de comparer les résultats pré et post intervention. Elle ne trouve pas de différences dans les scores CPT entre avant et après l'intervention. Dans la magnéto encéphalographie, elle trouve un cluster significatif ($P=.04$) de fréquence des intervalles principalement dans la région postérieure du cerveau. Il y a une corrélation négative ($P=.003$) entre les scores CPT et la fréquence des intervalles des ondes cérébrales, ce qui n'est pas le cas du groupe contrôle. (17)

TDAH :

Une étude abordant les troubles du comportement et de la répétition n'a pas montré d'amélioration significative.




A contrario, on a pu déceler une perte de l'humeur dans le groupe robot.

Une seule étude a été retenue traitant du TDAH. Elle conclut une corrélation significative post intervention utilisant les magnéto encéphalographies.

3.7. ANALYSE DES BIAIS

Tableau 15 : analyse des biais ROB-2

<u>Unique ID</u>	<u>Study ID</u>	<u>Weight</u>	<u>D1</u>	<u>D2</u>	<u>D3</u>	<u>D4</u>	<u>D5</u>	<u>Overall</u>
Interaction sociale-1	Iris van den Berk-Smeekens 1	1	+	+	+	-	-	!
Interaction sociale-2	Catalin Voss 2019	1	+	-	+	-	-	!
Interaction sociale-3	Elizabeth S. Kim 2012, USA	1	+	-	+	-	-	!
Interaction sociale-4	CRISTINA A. POP 2012	1	+	-	+	-	-	-
Communication-1	Sudha M. Srinivasan 2016	1	+	-	+	-	-	-
Communication-2	Wing-Chee So 2019	1	+	+	+	-	-	-
Communication-3	BIBI HUSKENS 2013	1	+	!	+	-	-	-
Motuer - 1	Wing-Chee So 2018	1	+	-	+	-	-	-
Motuer - 2	Sudha M. Srinivasan 2015	1	+	-	+	+	-	-
Motuer - 3	Wing-Chee So 2018	1	+	-	+	-	-	-
Attention conjointe-1	Hirokazu Kumazak 2018	1	+	-	+	-	-	-
Attention conjointe-2	Zhi Zheng 2020	1	+	-	+	-	-	-
Attention conjointe-3	Wing Chee So - 2020	1	+	-	+	-	-	-
Reconnaissance d'emotion Sang-Seok Yun-2017		1	+	+	+	-	-	!
Reconnaissance d'emotion Flavia Marino 2019		1	+	!	+	+	-	!
Trouble du comportement V 2015		1	+	-	+	-	-	-
TDAH -2021	NA	1	+	+	+	+	-	!

-  Bas risque
-  Certaines inquiétudes
-  Risque haut

- D1 Presseuse de randomisation
- D2 Déviation de de l'intervention Initiale
- D3 Résultats manquants
- D4 Calcul et mesures des résultats.
- D5 Sélection des résultats rapportés

4. DISCUSSION

Notre revue de la littérature a pu identifier de nombreux avantages dans les prises en soins utilisant la robotique dans les TND. La grande majorité des études montre une amélioration significative dans les capacités visées par l'intervention. Il est impossible au vu des résultats de dire avec certitude que ce nouveau domaine a une efficacité supérieure comparée aux thérapies traditionnelles. Il s'avère que le corps médical n'a à ce jour pas assez d'outils et de marqueurs neurobiologiques objectifs afin de réduire considérablement les biais dans les études scientifiques.

Dans le modèle de recherche de notre étude, nous avons utilisé les moteurs de recherche principaux PubMed, Embase, psychinfo et Cochrane. Nous sommes conscients qu'il y est possible que certaines études répondant aux critères d'inclusion n'ont pas été trouvés. Nous espérons que la recherche dans les moteurs mentionnés ci-dessus inclut les études les plus importantes avec les niveaux de preuves et l'impact facteurs adéquats.

Dans notre souhait de suivre les démarches "*d'Evidence-Base Medicine*" ou médecine fondée sur les faits, nous avons suivi une méthodologie en conformité avec les recommandations de la "*Cochrane association*".

Nous avons établi un protocole, et nous l'avons suivi lors de l'écriture de l'étude. L'intégralité des études incluses sont des études contrôlées randomisées, dont le niveau de preuve a été défini par la qualité des protocoles et le nombre de participants.

4.1. Limites de l'étude :

Lors de l'évaluation des biais (ROB-2) nous avons été confrontés à plusieurs limitations inhérentes à la constitution des protocoles, de la population étudiée et la méthodologie.

Lors des interventions avec les intervenants humains, il n'était pas rare que ces derniers changent légèrement le script afin de créer une stimulation chez le patient ou attirer leurs attentions. (29)

Dans la majorité des études, les intervenants/thérapeutes étaient conscients que la thérapie était filmée dans le cadre d'une étude.

Du fait des difficultés de communication, il est difficile de savoir si les patients étaient au fait qu'ils faisaient l'objet d'une étude. Lors des interventions les patients étaient filmés, donc nous pouvons supposer que leurs comportements ont pu potentiellement être modifiés.

Certaines études évaluant la reconnaissance des émotions et l'attention conjointe ont été publiées ces deux dernières années durant la pandémie de la COVID. Les intervenants portaient donc des masques lors des interventions, cela a aussi pu potentiellement altérer les capacités à reconnaître des émotions.

Dans notre revue systématique de la littérature, nous nous sommes focalisés sur l'effet bénéfique immédiat et post intervention. Il serait donc intéressant de prolonger l'étude afin de savoir si les bénéfices perdurent dans le temps, avec et sans thérapie active. L'étude de Wing Chee So, étudiant la gestuelle, nous montre que les capacités acquises lors des interventions sont maintenues pendant au moins deux semaines.

Parmi les limitations de notre travail, nous prenons en compte la grande hétérogénéité des échelles utilisées pour l'évaluation de l'efficacité. Ados 2 étant une échelle incluant plusieurs domaines et souvent utilisée comme un outil standardisé afin d'évaluer l'efficacité des interventions. L'état d'esprit des patients le jour de l'évaluation peut être influencé par plusieurs facteurs impactant son état de motivation, de concentration ou d'éveil. La conséquence peut-être alors un haut niveau de biais dans toutes les études d'après ROB-2 et Cochrane.

À ce jour, le corps médical ne dispose pas de meilleur outil d'évaluation. L'incapacité de mettre en place des études en double aveugle lors des évaluations est également un handicap dans la fiabilité et la précision des résultats.

Parmi les nombreux points à améliorer dans les études à venir, il serait intéressant de se pencher sur la différence entre les capacités d'apprentissage entre les garçons et les filles atteints de troubles neurodéveloppementaux. La pédopsychiatrie actuelle est dans les prémices des prises en soins basées sur les preuves et donc il n'y a pas de thérapie visant spécifiquement les garçons ou les filles.

L'étude du docteur Iris van den Berk-Smeekens, évalue la différence entre la prise en soins habituelle incluant un robot et sans robot comparant les sexes. L'étude montre une amélioration significative chez les filles dans les interactions sociales comparativement aux garçons. Ce résultat nous laisse penser qu'effectivement nous devons poursuivre la recherche afin d'adapter les thérapies.

Dans plusieurs études concernant notamment les Smart glasses, l'intervention se fait dans un milieu scolaire avec des spécialistes capables d'évaluer l'efficacité des lunettes. L'école est un lieu dynamique avec de multiples éléments altérant les conditions de la méthodologie. Les résultats observés chez les patients dépendent également de leur entourage, cela pouvant biaiser leur attention et l'efficacité de l'intervention.

Dans d'autres cas, nous pouvons observer que malgré les critères d'exclusion et les scores effectués afin de sélectionner les patients, certains ne parviennent pas à finir l'étude du fait d'handicaps trop importants. Nous pouvons observer dans les études traitant les troubles moteurs que certains patients répondent aux critères d'inclusion ne parviennent pas à suivre la thérapie avec le robot- Nao.

Nous avons mentionné dans l'introduction que les pathologies et les symptômes sont souvent associés. En évaluant les interactions sociales des patients, il est difficile de différencier les comorbidités telles que les troubles de l'attention conjointe et les troubles de la communication. Cette comorbidité peut altérer les résultats. Par ailleurs, le degré d'handicap social (échelles de type SRS-2 ou VABS-II) est différent parmi les participants dans l'étude. Le manque initial d'homogénéité de base des patients provoque une difficulté d'interprétation supplémentaire des résultats et dans la compréhension de l'efficacité de l'intervention.

4.2. La théorie de la motivation sociale dans l'autisme, comment peut-elle être un biais ?

L'être humain a une tendance innée, fruit de l'évolution, à chercher la socialisation, les interactions humaines et les échanges physiques et verbaux. Plusieurs études montrent que les patients atteints d'autisme ont une tendance amoindrie à interagir avec leur entourage, en particulier concernant la motivation sociale. Certaines études montrent que les patients TSA ont une affinité supérieure envers les robots. Il est donc intéressant de faire une étude à l'avenir se focalisant principalement sur comparaison entre les thérapeutes humains et robot.

4.3. Études en cours

Le docteur Arshya Vahabzadeh, a publié en 2018, une étude dans le domaine de la reconnaissance des émotions utilisant des smart glasses. Cette dernière élargit ses recherches et s'intéresse en 2021 à l'intérêt des smart glasses pour les patients TDAH. Elle vise la population scolaire, adolescente et jeune adulte.

L'étude publiée en 2018 mentionnée ci-dessus renforce l'hypothèse des effets bénéfiques sur le quotidien des patients utilisant les smart glasses. (27)

Parmi les études que nous avons exclues, car non randomisées, étudiant l'efficacité des robots dans l'apprentissage de l'écriture, une étude en deux phases mérite d'être mentionnée dans notre discussion. Elle incluait les patients souffrant de troubles de l'hyperactivité et de troubles du spectre autistique. Il est intéressant de noter que les résultats de cette étude se déroulent sur 20 jours d'intervention, la durée des sessions étant de 30 minutes. Les patients montraient une amélioration dans la fluidité de l'écriture après 10 heures de thérapie. (30)

4.4. Etude analogue

Une revue de la littérature, semblable à la nôtre, publiée en 2021, s'interroge également sur les prises en soins robotiques dans les TSA.

Cette étude ne se restreint pas aux essais cliniques randomisés mais inclut dans ses résultats plusieurs cas cliniques donc avec un niveau de preuve moins important. Dans notre travail, nous évaluons les troubles neurodéveloppementaux dans leur globalité, pas uniquement les troubles du spectre autistique. Nous incluons divers produits dotés d'une intelligence artificielle, de type Smart glasses pour les troubles TDAH et des logiciels informatiques. L'étude du docteur Katrin D. se focalisait principalement sur les émotions engendrées par les robots. Dans notre revue, nous avons étudié chaque aspect des pathologies séparément afin de clarifier l'efficacité de la robotique dans chacun des symptômes de la pathologie.

Enfin, nous nous sommes focalisés uniquement sur la population pédiatrique tandis que cette étude incluait également les adultes dans ses résultats principaux. (31)

4.5. Aspect éthique d'un thérapeute robot doté d'une intelligence artificielle

D'un point de vue clinique, les interventions robotiques ont dès à présent démontré des capacités d'amélioration dans la population souffrant de troubles cognitifs sévères avec l'utilisation des robots compagnons de type PARO. Une thérapie par un robot est à la frontière de la technologie et de la médecine. Dans un monde où la place du virtuel et de la robotique est chaque jour plus présente, il est important de se poser les bonnes questions. À ce jour il existe déjà plusieurs logiciels application de type "Chatbot", Sara, WYSA et Woebot qui font office de thérapeutes aux personnes en situation de crises anxieuses ou suicidaires. Ces applications sont interactives et visent à reconnaître les émotions du patient et à aider à

développer des mécanismes afin de réduire les symptômes présents. Cependant, nous observons que le bénéfice principal de l'intelligence artificielle est d'atteindre des patients qui ont subi des échecs thérapeutiques dans le passé.

4.6. Perspectives

L'utilisation de la robotique et de l'intelligence artificielle semble être un outil efficace pouvant être utilisé tout en étant associé à d'autres thérapies et/ou seul.

Le développement des robots sociaux conçus pour les prises en soins est en pleine expansion, plusieurs modèles ont déjà fait leur apparition dans les centres de soins. Le robot social s'améliore et présente un éventail d'options tel que le tactile, les détecteurs de mouvement oculaire et des écrans interactifs. L'intelligence artificielle développe une capacité à s'adapter et à interagir avec les patients. Les robots les plus utilisés à ce jour sont les robots Nao, ROMO, iRobiQ et CARO.(31)

Un autre axe de recherche mériterait une attention particulière dans les années, il s'agit de l'impact neurobiologique que les interventions ont sur les patients. À ce jour il est difficile d'être précis dans les lectures et dans la compréhension des IRM fonctionnels qui sont encore dans les prémices de la neuro imagerie.

Nous détenons uniquement des échelles d'évaluations soumis à une grande quantité de biais. Pour les études à venir, il serait pertinent de standardiser l'utilisation de placebo et du double aveugle, méthodologie impossible dans la plupart des études jusqu'à présent.

Dans le futur on pourrait imaginer des patients ayant dans leur quotidien un robot tel un chien aveugle, les assistant dans leurs tâches quotidiennes, afin de les aider à évoluer dans la société et d'obtenir une autonomisation. À ce jour, les établissements spécialisés sont en expansion mais restent insuffisants au vu du besoin croissant de ces dernières décennies.

La sensibilisation de la société envers les troubles neurodéveloppementaux augmente la sollicitation des familles afin de donner à leurs proches les chances d'évoluer sur le plan personnel et professionnel dans la vie adulte.

Un dernier point, et qui n'est pas des moindres, serait avant la prise en soins de comprendre dans les détails l'étiologie et la patho-neurophysiologie des TND notamment des TSA. Nous pourrions alors mettre en place des thérapies précises avec un impact biologique perceptible et calculable.

5. CONCLUSIONS

Notre revue de littérature nous a permis d'évaluer l'efficacité de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les troubles neurodéveloppementaux, notamment les TSA et TDAH. Dix-huit études ont été sélectionnées dans notre revue. Nous avons catégorisé les articles selon l'aspect de la pathologie étudiée. Nous avons donc quatre articles abordant les interactions sociales, trois articles sur les troubles de la communication, trois sur les troubles moteurs et trois sur les troubles de l'attention conjointe. Trois autres articles s'intéressaient aux troubles de la reconnaissance des émotions, un aux comportements et répétitions et enfin un seul article étudiait les troubles de la concentration chez les patients présentant un TDAH. Notre étude a trouvé une amélioration significative dans les interactions sociales dans trois articles sur quatre sélectionnés et une amélioration significative des troubles moteurs dans les quatre articles sélectionnés. Une étude en retrouvait une dans les troubles de la communication impactant la compréhension et l'implication émotionnelle dans les échanges verbaux. Nous avons été confrontés lors de l'extraction des données à une grande hétérogénéité dans les échelles d'évaluation, la durée des fréquences des interventions et le type d'intervention. Certaines études mettaient en avant la différence dans l'apprentissage selon l'âge des patients, le sexe et les capacités déjà acquises. Nous avons constaté que dans certaines, les patients, âgés de 9 ans ou plus, étaient d'avantage réceptifs aux robots tandis que, dans une autre étude, nous avons retrouvé une différence majeure dans les résultats entre les garçons et les filles. Nous avons alors posé l'hypothèse que les thérapies proposées, pour la même pathologie, devraient également être adaptées. Des biais importants ont été retrouvés en raison de l'utilisation d'échelles d'évaluations et l'incapacité de réaliser les études en double aveugle dans la majorité des cas.

La physiopathologie complexe des troubles du neurodéveloppement met en difficulté les thérapeutes et l'évaluation de l'efficacité des prises en soins. Malgré le faible niveau de preuve, les résultats restent encourageants et devraient conduire à des études utilisant une méthodologie et des échelles plus standardisées. Concernant les données retrouvées, nous pouvons déjà dire que la robotique et l'intelligence artificielle ont leur place parmi les thérapies proposées pour les patients présentant un TSA ou un TDAH. Les chercheurs devraient mener des études plus rigoureuses afin d'améliorer les prises en soins traditionnelles. Enfin, notre revue offre des pistes de recherche pour l'avenir et s'interroge sur l'intégration de la robotique dans notre quotidien ainsi que dans les thérapies proposées.

THESE SOUTENUE PAR M. ABECASSIS Ariel

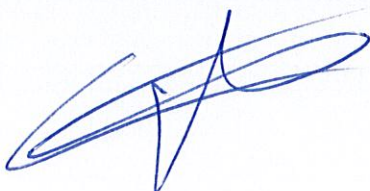
CONCLUSIONS

Notre revue de littérature nous a permis d'évaluer l'efficacité de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les troubles neurodéveloppementaux, notamment les TSA et TDAH. Dix-huit études ont été sélectionnées dans notre revue. Nous avons catégorisé les articles selon l'aspect de la pathologie étudiée. Nous avons été confrontés lors de l'extraction des données à une grande hétérogénéité dans les échelles d'évaluation, la durée des fréquences des interventions et le type d'intervention. Certaines études mettaient en avant la différence dans l'apprentissage selon l'âge des patients, le sexe et les capacités déjà acquises. Nous avons constaté que dans certaines, les patients, âgés de 9 ans ou plus, étaient d'avantage réceptifs aux robots tandis que, dans une autre étude, nous avons retrouvé une différence majeure dans les résultats entre les garçons et les filles. Nous avons alors posé l'hypothèse que les thérapies proposées, pour la même pathologie, devraient également être adaptées. Des biais importants ont été retrouvés en raison de l'utilisation d'échelles d'évaluations et l'incapacité de réaliser les études en double aveugle dans la majorité des cas.

La physiopathologie complexe des troubles du neurodéveloppement met en difficulté les thérapeutes et l'évaluation de l'efficacité des prises en soins. Malgré le faible niveau de preuve, les résultats restent encourageants et devraient conduire à des études utilisant une méthodologie et des échelles plus standardisées. Concernant les données retrouvées, nous pouvons déjà dire que la robotique et l'intelligence artificielle ont leur place parmi les thérapies proposées pour les patients présentant un TSA ou un TDAH. Les chercheurs devraient mener des études plus rigoureuses afin d'améliorer les prises en soins traditionnelles. Enfin, notre revue offre des pistes de recherche pour l'avenir et s'interroge sur

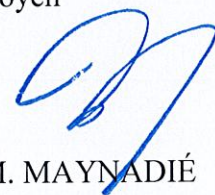
Le Président du jury,

Pr. CHAUVET-GELINIER Jean-Christophe



Vu et permis d'imprimer
Dijon, le 21 SEPTEMBRE 2022
Le Doyen

Pr. M. MAYNADIÉ



6. BIBLIOGRPAHIE

1. Bailly D. *Psychiatrie de l'enfant et de l'adolescent*. Arcueil: Doin; 2020.
2. American Psychiatric Association, American Psychiatric Association, éditeurs. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. 5th ed. Washington, D.C: American Psychiatric Association; 2013. 947 p.
3. Yang T, Chen L, Dai Y, Jia F, Hao Y, Li L, et al. Vitamin A Status Is More Commonly Associated With Symptoms and Neurodevelopment in Boys With Autism Spectrum Disorders-A Multicenter Study in China. *Front Nutr*. 2022;9:851980.
4. Stepanova E, Dowling S, Phelps M, Findling RL. Pharmacotherapy of emotional and behavioral symptoms associated with autism spectrum disorder in children and adolescents. *Dialogues Clin Neurosci*. déc 2017;19(4):395-402.
5. Actualité en neuro-imagerie du Trouble Déficit d'Attention/Hyperactivité Update on the neuroimaging of Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder Author links open overlay panel Anita Beggiato abc Samuele Cortese d. 2014: 298-301.
6. Gagné PP, Leblanc N, Rousseau André. *Apprendre-- une question de stratégies: développer les habiletés liées aux fonctions exécutives*. Montréal: Chenelière éducation; 2009.
7. Zeidan J, Fombonne E, Scolah J, Ibrahim A, Durkin MS, Saxena S, et al. Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism Res*. mai 2022;15(5):778-90.
8. Elsabbagh M, Divan G, Koh YJ, Kim YS, Kauchali S, Marcín C, et al. Global prevalence of autism and other pervasive developmental disorders. *Autism Res Off J Int Soc Autism Res*. juin 2012;5(3):160-79.
9. Simpson RL. Evidence-Based Practices and Students With Autism Spectrum Disorders. *Focus Autism Dev Disabil*. août 2005;20(3):140-9.
10. *Pratiques psychoéducatives innovantes auprès des personnes ayant un trouble du spectre de l'autisme: de l'enfance à l'âge adulte*. Boucherville (Québec): Béliveau éditeur; 2017. (Collection Psychoéducation).
11. Rasouli S, Gupta G, Nilsen E, Dautenhahn K. Potential Applications of Social Robots in Robot-Assisted Interventions for Social Anxiety. *Int J Soc Robot*. 2022;14(5):1-32.
12. Srinivasan SM, Kaur M, Park IK, Gifford TD, Marsh KL, Bhat AN. The Effects of Rhythm and Robotic Interventions on the Imitation/Praxis, Interpersonal Synchrony, and Motor Performance of Children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A Pilot Randomized Controlled Trial. *Autism Res Treat*. 2015;2015:736516.
13. Kumazaki H, Yoshikawa Y, Yoshimura Y, Ikeda T, Hasegawa C, Saito DN, et al. The impact of robotic intervention on joint attention in children with autism spectrum disorders. *Mol Autism*. 2018;9:46.

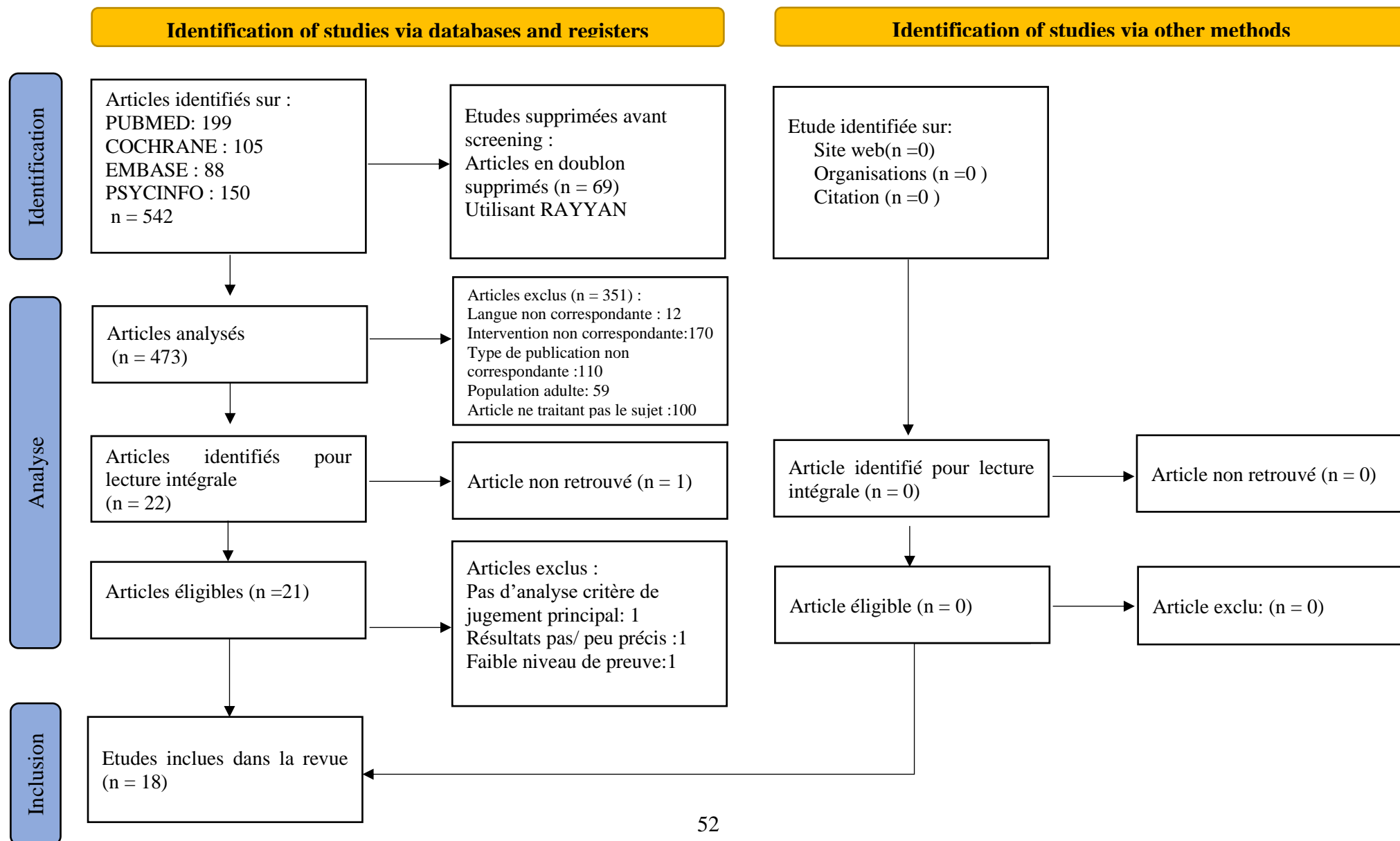
14. Zheng Z, Nie G, Swanson A, Weitlauf A, Warren Z, Sarkar N. A Randomized Controlled Trial of an Intelligent Robotic Response to Joint Attention Intervention System. *J Autism Dev Disord.* août 2020;50(8):2819-31.
15. Marino F, Chilà P, Sfrassetto ST, Carrozza C, Crimi I, Failla C, et al. Outcomes of a Robot-Assisted Social-Emotional Understanding Intervention for Young Children with Autism Spectrum Disorders. *J Autism Dev Disord.* juin 2020;50(6):1973-87.
16. Voss C, Schwartz J, Daniels J, Kline A, Haber N, Washington P, et al. Effect of Wearable Digital Intervention for Improving Socialization in Children With Autism Spectrum Disorder: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Pediatr.* 1 mai 2019;173(5):446-54.
17. Medina R, Bouhaben J, de Ramón I, Cuesta P, Antón-Toro L, Pacios J, et al. Electrophysiological Brain Changes Associated With Cognitive Improvement in a Pediatric Attention Deficit Hyperactivity Disorder Digital Artificial Intelligence-Driven Intervention: Randomized Controlled Trial. *J Med Internet Res.* 26 nov 2021;23(11):e25466.
18. Van den Berk-Smeekens I, de Korte MWP, van Dongen-Boomsma M, Oosterling IJ, den Boer JC, Barakova EI, et al. Pivotal Response Treatment with and without robot-assistance for children with autism: a randomized controlled trial. *Eur Child Adolesc Psychiatry.* 3 juin 2021;
19. Kim ES, Berkovits LD, Bernier EP, Leyzberg D, Shic F, Paul R, et al. Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism. *J Autism Dev Disord.* mai 2013;43(5):1038-49.
20. Cristina A. pop. Social Robots vs. Computer Display: Does the Way Social Stories are Delivered Make a Difference for Their Effectiveness on ASD Children?
21. Srinivasan SM, Eigsti IM, Gifford T, Bhat AN. The effects of embodied rhythm and robotic interventions on the spontaneous and responsive verbal communication skills of children with Autism Spectrum Disorder (ASD): A further outcome of a pilot randomized controlled trial. *Res Autism Spectr Disord.* juill 2016;27:73-87.
22. So WC, Cheng CH, Law WW, Wong T, Lee C, Kwok FY, et al. Robot dramas may improve joint attention of Chinese-speaking low-functioning children with autism: stepped wedge trials. *Disabil Rehabil Assist Technol.* 13 nov 2020;1-10.
23. Huskens B, Verschuur R, Gillesen J, Didden R, Barakova E. Promoting question-asking in school-aged children with autism spectrum disorders: effectiveness of a robot intervention compared to a human-trainer intervention. *Dev Neurorehabilitation.* oct 2013;16(5):345-56.
24. So WC, Wong MKY, Lam WY, Cheng CH, Yang JH, Huang Y, et al. Robot-based intervention may reduce delay in the production of intransitive gestures in Chinese-speaking preschoolers with autism spectrum disorder. *Mol Autism.* 2018;9:34.
25. Wing-CheeSo. Who is a better teacher for children with autism? Comparison of learning outcomes between robot-based and human-based interventions in

gestural production and recognition. *Res Dev Disabil* Vol 86 March 2019 Pages 62-75.

26. Yun SS, Choi J, Park SK, Bong GY, Yoo H. Social skills training for children with autism spectrum disorder using a robotic behavioral intervention system. *Autism Res Off J Int Soc Autism Res.* juill 2017;10(7):1306-23.
27. Vahabzadeh A, Keshav NU, Abdus-Sabur R, Huey K, Liu R, Sahin NT. Improved Socio-Emotional and Behavioral Functioning in Students with Autism Following School-Based Smartglasses Intervention: Multi-Stage Feasibility and Controlled Efficacy Study. *Behav Sci Basel Switz.* 20 sept 2018;8(10):E85.
28. Sudha M.Srinivasan. A comparison of the effects of rhythm and robotic interventions on repetitive behaviors and affective states of children with Autism Spectrum Disorder (ASD).
29. Wing-CheeSo. Robot-based play-drama intervention may improve the narrative abilities of Chinese-speaking preschoolers with autism spectrum disorder.
30. Susan E. Palsbo, Pamela Hood-Szivek. Effect of Robotic-Assisted Three-Dimensional Repetitive Motion to Improve Hand Motor Function and Control in Children With Handwriting Deficits: A Nonrandomized Phase 2 Device Trial. In.
31. Bartl-Pokorny KD, Pykala M, Uluer P, Barkana DE, Baird A, Kose H, et al. Robot-Based Intervention for Children With Autism Spectrum Disorder: A Systematic Literature Review. *IEEE Access.* 2021;9:165433-50.

7. ANNEXE :GRILLE PRISMA 2020

Annexe 1 : Grille Prisma 2020



TITRE DE LA THESE : Application de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les troubles neurodéveloppementaux : une revue systématique de la littérature

The application of robotic and artificial intelligence in neurodevelopmental disorders: a systematic review

AUTEUR : Monsieur ABECASSIS Ariel

RESUME :

INTRODUCTION : Les enfants atteints de troubles neurodéveloppementaux présentent souvent plusieurs symptômes associés, rendant les prises en soins particulièrement difficiles. Ceux ayant un trouble du spectre autistique présentent des difficultés majeures à interagir avec leur entourage, à reconnaître les émotions et des troubles du comportement sont souvent associés. En 2022, nous sommes régulièrement confrontés à des développements technologiques, à l'initiation de la robotique et de l'intelligence artificielle dans notre quotidien. Nous nous sommes donc intéressés à son efficacité dans les thérapies des troubles neurodéveloppementaux.

OBJECTIF : Cette revue systématique évalue l'efficacité de la robotique et de l'intelligence artificielle dans les prises en soins des troubles neurodéveloppementaux.

METHODE : Suivant les recommandations de la Cochrane Association et PRISMA 2020, nous avons effectué une revue systématique de la littérature incluant 18 essais cliniques randomisés avec un total de 526 patients, traitant la question de l'efficacité de la robotique dans les thérapies des troubles neurodéveloppementaux.

RESULTATS : La robotique et l'intelligence artificielle ont une efficacité dans la prise en soins des troubles neurodéveloppementaux. Des améliorations significatives ont été trouvées dans des domaines tels que : la reconnaissance des émotions, les troubles moteurs et les interactions sociales. Les risques de biais sont élevés du fait de protocoles utilisant des échelles d'évaluation différentes et plusieurs thérapeutes.

DISCUSSION ET CONCLUSION : Il serait intéressant de continuer à étudier l'efficacité de la robotique dans les troubles neurodéveloppementaux afin de pouvoir adapter les thérapies traditionnelles. Selon nos résultats, la robotique est efficace et aurait sa place dans le monde de la pédopsychiatrie, ce domaine devrait être exploré davantage.

MOTS-CLES : Trouble neurodéveloppementaux, Autisme, Trouble du déficit de l'attention et hyperactivité, Robotique, Intelligence artificielle.