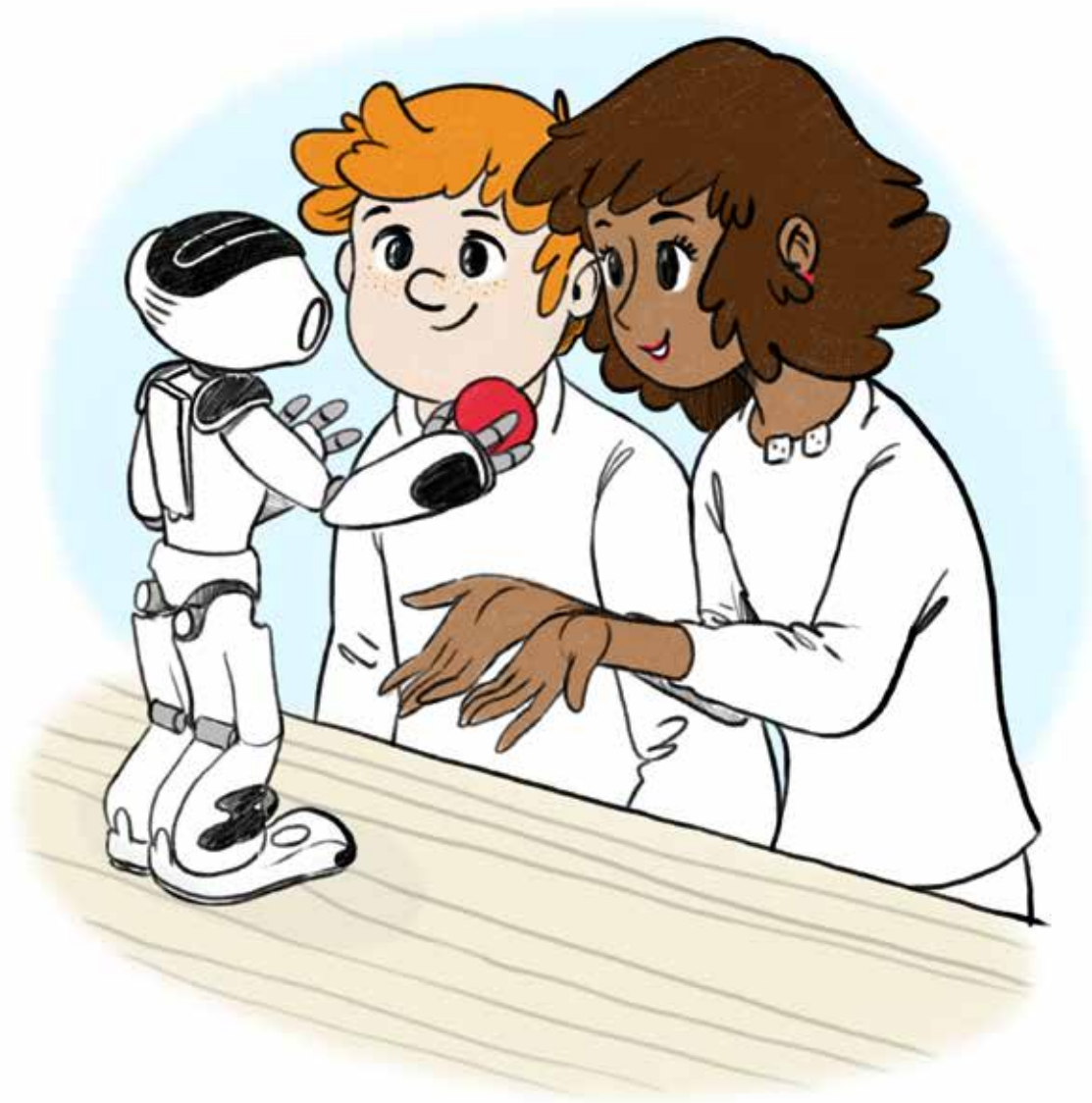


NAO, outil de médiation thérapeutique pour les enfants autistes



***NAO, outil de médiation thérapeutique
pour les enfants autistes***

Préface de
David Cohen MD, PhD

Contributeurs
***Giuseppe Palestra
Berardina De Carolis
Sophie Sakka
Thierry Le Buhé
Dr. Fady Al Najjar
Olivier Duris
Silviu Matu
Pierre Henri Bernex***

Illustrations
Maria Jesus Hernandez

Sommaire

PRÉFACE

de David Cohen MD, PhD

INTRODUCTION

- Autisme
- Mécanique et technologie
- Le robot humanoïde comme outil de médiation thérapeutique pour les jeunes autistes

HERO (IT)

- Les fondateurs de HERO et leur parcours scientifique
- Solution HERO pour la prise en charge de l'autisme : Robots Friends of Children
- Origines du projet hero
- Modèle Interventionnel Hero
- Aspects Opérationnels
- Protocole Méthodologique
- Résultats & Perspectives

ROB'AUTISME (FR)

- Utiliser le robot comme une prothèse en communication, le robot extension.
- Contexte
- Histoire
- Organisation du programme
- Résultats observés
- Le robot et l'accompagnement thérapeutique
- Perspectives

UN ROBOT POUR FAVORISER LES APPRENTISSAGES D'ENFANTS AUTISTES (FR)

- Un robot entre à l'hôpital...
- L'importance de l'intégration de NAO : un «nouveau collaborateur?»
- NAO et les enfants - Premiers contacts
- La lecture
- La prise de risque
- L'imitation
- Quelques recommandations pour accueillir NAO dans de bonnes conditions

Dr. FADY AL NAJJAR (UEA)

- Interventions personnalisées d'un robot avec des enfants autistes : une méthodologie automatisée pour l'évaluation de leur attention
- Auteurs.es
- Introduction
- Aspects comportementaux des enfants souffrant d'un TSA
- Stimuler les interactions avec les enfants souffrant d'un TSA grâce aux robots humanoïdes
- Méthodologie
- Participants
- Conception du système
- Installation expérimentale
- Discussions
- Conclusions & Perspectives

PROJET « NAOTismIA » (FR)

- Comment les robots humanoïdes encouragent l'émergence de comportements nécessaires à la communication et à l'interaction
- Contexte
- L'équipe
- Objectif
- Planning de l'expérimentation
- Méthodologie et expérimentation de NAO à l'école
- Exemple des couleurs
- Fiche séquence
- Analyse
- Grille de cotation
- Les activités de motricité avec l'application Yoga
- Conclusion

MOVIA (US) :

- Introduction
- Aspects comportementaux des enfants souffrant d'un TSA
- Défis pour le corps enseignant
- Bénéfices de la robotique éducative
- Une méthodologie adaptée au programme
- Observations relevées au cours du programme
- Analyse & évaluation
- Bonnes pratiques de déploiement de la robotique éducative

THÈSE DE DOCTORAT (FR)

- Le Robot NAO comme support relationnel et de dynamique groupale auprès de jeunes porteurs de Troubles du Spectre Autistique
- Contexte
- Objectif
- Méthodologie
- Participants
- Résultats observés
- Perspectives

PROJET DREAM (RO)

- Plan de recherche
- Résultats
- Étude d'efficacité
- Conclusion
- Nouvelles perspectives
- Références

CONCLUSION

de Pierre Henri Bernex - iUp sales

NAO, outil de médiation thérapeutique pour les enfants autistes

Préface

Au cours des dernières décennies, la robotique s'est imposée comme un champ de recherche spécifique dans le domaine des soins de santé et de l'éducation. C'est aussi le cas pour les enfants atteints de troubles du neuro-développement. L'expansion de la robotique sociale est motivée par le fait qu'elle a le potentiel de dépasser les limites des activités thérapeutiques classiques, en surmontant notamment leur manque d'intensité, qu'elle peut être proposée en contexte naturel malgré son caractère artificiel, ce qui pourrait aider à la généralisation des performances entraînées. De nombreuses recherches ont été menées autour de la robotique et des troubles du neuro-développement depuis près d'une décennie, créant un domaine d'étude émergent qui ne fait que prendre de l'ampleur.

Actuellement, il existe de nombreux robots sur le marché qui promettent d'aider les enfants atteints de troubles du spectre autistique et d'autres troubles du neuro-développement, à développer leur compétences sociales, leurs apprentissages et à les soutenir dans leur éducation; une perspective qui pourrait fondamentalement changer les prises en charge. En tant que professeur à Sorbonne Université, chef du service de psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent du groupe hospitalier Pitié-Salpêtrière de l'APHP, et membre de l'équipe Perception, Interactions et Robotique Sociale (PIRoS) de l'Institut des Systèmes Intelligents et Robotique (ISIR) du CNRS, j'ai moi-même contribué à ce champ émergent parmi les pionniers du domaine avec mes compères ingénieurs, Mohamed Chetouani (1), Sofiane Boucenna (2) et Salvatore Anzalone (3). Les progrès technologiques ont permis des innovations dans une multitude d'interventions pour les enfants atteints de troubles du spectre autistique et d'autres troubles du neuro-développement. Un domaine particulier est la robotique sociale qui s'articule autour de l'évaluation des relations entre les humains et les robots.

Dans le domaine des troubles du neuro-développement, les robots ont été utilisés à la fois dans des contextes cliniques et éducatifs. La robotique éducative désigne des robots spécialement conçus pour interagir avec les enfants dans leurs activités éducatives. Dans le domaine de l'éducation, les enfants avec troubles du neuro-développement sont considérés comme des enfants à besoins spécifiques. Traditionnellement, les approches de la robotique éducative sont divisées en apprentissages des robots d'une part et apprentissage avec les robots d'autre part. En d'autres termes, entre éducation robotique et robotique pour l'éducation. La première approche concerne l'enseignement technique axé sur la robotique tandis que la seconde consiste à enseigner différentes matières (techniques et autres) à travers la robotique. L'utilisation de la robotique éducative peut être inscrite dans le cursus scolaire ou en extrascolaire (4).

Malgré les nombreuses recherches conduites, il n'existe aucune preuve claire dans la littérature que les robots puissent être utilisés efficacement pour traiter les enfants atteints de troubles du spectre autistique, et soutenir leur processus d'apprentissage en tant qu'enfant à besoins spécifiques (5). A cette fin, il est d'une importance fondamentale de faire la distinction entre robots utilisés pour les enfants à besoins spécifiques et robots utilisés par les enfants à besoins spécifiques. Par exemple, par robot utilisé pour les enfants à besoins spécifiques, on entend des robots utilisés pour améliorer l'attention des enfants avec troubles du neuro-développement lors du diagnostic et/ou du traitement. Dans ce cas les robots ne sont que des outils auxiliaires pour intervenir lors de ces temps cliniques autant que tout autre dispositif technologique. A l'inverse, pour les robots utilisés par les enfants à besoins spécifiques, les robots sont considérés comme des outils utilisés pour enseigner des matières du cursus scolaire en s'appuyant sur des activités orientées à la pensée computationnelle pour promouvoir l'apprentissage actif.

Lorsqu'Alexandre Mazel de SoftBank Robotics Europe m'a proposé de préfacier le livre blanc sur NAO et les troubles du spectre autistique, j'ai un temps hésité. Primo, SoftBank Robotics est une entreprise commerciale avec laquelle je ne suis pas particulièrement lié. Secondo, le livre blanc sur l'utilisation de NAO avec les enfants autistes n'est pas une revue de la littérature à proprement parler ni même un panorama exhaustif de la question. Il s'agit plutôt d'un retour d'expérience d'utilisateurs qui ont utilisé NAO avec des patients présentant un trouble du spectre autistique. Les utilisateurs sont des enseignants, des psychologues ou des éducateurs (donc des soignants) ou des ingénieurs ou des chercheurs en sciences computationnelles. Certains utilisent NAO quasiment comme tel que livré par SoftBank Robotics, d'autres lui adjoignent des fonctionnalités nouvelles.

En même temps, je dois reconnaître que NAO demeure une des plateformes robotiques les plus utilisées. Lors d'une étude relativement récente de la littérature scientifique conduite par l'une de mes collaboratrices, Charline Grossard, nous avons colligé près de 14 études scientifiques utilisant NAO avec des objectifs thérapeutiques, 4 utilisant Kaspar, alors que toutes les autres plateformes robotiques décrites (Charlie, THEO4, QT robot, Ribit, Caro, ...) n'avaient été utilisées que dans des études ponctuellement (5). Au demeurant, j'ai moi-même utilisé NAO dans plusieurs projets, jusque tout récemment dans un travail sur la rééducation de l'écriture (6) (une vidéo est disponible sur le lien suivant*. D'autre part, en tant que psychiatre d'enfants et d'adolescents, je trouvais intéressant l'idée de donner la parole à des remontées de terrain d'usagers, qui pour certains se positionnaient hors du formatage d'équipes de recherche scientifique.

Du coup, cher lecteur, que trouverez-vous dans ce livre blanc ? Je propose de m'affranchir du plan pour introduire le livre en fonction du type d'utilisation réalisée avec NAO.

Je commencerai d'abord par l'utilisation proposée par des enseignants spécialisés. Le premier retour est celui de Thierry Le Buhé, un enseignant spécialisé travaillant en hôpital de jour, qui nous fait une description ethnographique de l'investissement de NAO par les enfants pris en charge. L'enseignant contrôle lui-même NAO et a proposé 4 types d'activités, de dictée, de lecture, de jeu d'imitation et de prise de risque en termes d'équilibre. Il constate dans l'ensemble un bon investissement des enfants, souvent une meilleure attention et trouve que NAO constitue un bon complément en termes d'outil d'enseignement.

La seconde expérience est d'une certaine manière plus riche car conduite à l'échelle d'une académie entière en l'occurrence l'académie de Dijon. Elle cible des enfants en école maternelle, sachant que les enseignants ont été formés à l'utilisation de NAO avec l'idée de l'utiliser pour des activités de groupe, comme dire bonjour, ou chanter des comptines, mais également des activités individuelles, à type de dénomination lexicale, d'activités motrices type yoga. De manière tout à fait intéressante, l'équipe avait intégré un certain nombre d'informations sur l'éducation des enfants à troubles du neuro-développement à destination des enseignants, qui du coup pouvaient aussi poser des questions à NAO qui avait la possibilité de leur répondre. Deux chercheurs de l'INSHEA ont assisté aux différentes expérimentations dans les classes et doivent faire une analyse qualitative et quantitative de toutes ces expériences. Néanmoins, la quantité des activités proposées et l'échelle de cette expérimentation, montrent déjà la facilité d'utilisation de NAO et son bon investissement par les enfants.

Le dernier projet en termes de robotique éducative, associe une équipe d'ingénieurs support (Movia) et l'association des écoles publiques de West Hartford, dans le Connecticut. NAO dans cette proposition est utilisé en forme Wizard of Oz, c'est-à-dire sous contrôle d'un opérateur. L'expérience inclut une douzaine d'enfants pendant 6 à 8 semaines à raison de 2 séances par semaine, le robot étant contrôlé par un ingénieur et l'enseignant spécialisé étant présent en séance. Le programme d'activités a été individualisé en fonction des aptitudes particulières des enfants mais on ne dispose pas du détail des activités réalisées, ni même des scores utilisés. Les auteurs décrivent néanmoins 4 individus montrant des améliorations quantifiables, mais également dans la description qualitative signale un élève qui a désinvesti le robot.

Le second usage qui est décrit dans ce livre blanc est un usage en contexte clinique. Nous en avons essentiellement deux, le premier est l'usage de NAO par un psychologue clinicien Olivier Duris, travaillant dans un hôpital de jour. Il a constitué deux groupes de 6 enfants, à qui il a proposé 50 séances en hôpital de jour de groupes contes avec ou sans NAO. Sur le plan qualitatif, il montre que la présence de NAO améliore la compréhension et la participation des enfants du groupe contes auquel NAO est intégré. Les aspects quantitatifs ne sont pas réellement décrits mais ont été mesurés et feront l'objet de probables publications futures. La seconde utilisation clinique décrite dans le livre blanc a associé le CHU de Nantes et une équipe support d'ingénierie dirigée par Sophie Sakka. Cette fois, l'utilisation de NAO est proposée en groupe, il s'agit de programmer un ou plusieurs robots, en vue d'une activité théâtre intégrant un robot. Là encore, l'équipe décrit des progrès qualitatifs individuels mais également dans la dynamique de groupe lorsque les enfants avec trouble du neuro-développement sont intégrés dans des groupes avec un ou plusieurs robots.

Les trois dernières contributions du livre blanc sont toutes des contributions issues d'équipes d'ingénieurs intégrant ou non des cliniciens et qui proposent un certain nombre de solutions adaptables permettant de travailler différentes activités. Pour l'équipe de HERO où je me réjouis de retrouver Guiseppa Palestra, un ancien de l'ISIR, il propose 18 exercices différents possibles grâce au développement d'une interface qui permet de lancer les différentes activités chez NAO. L'équipe du Dr Fady Al Najjar propose des dialogues, des activités motrices et des jeux de rôle grâce à une solution combinant NAO et un téléphone mobile avec pictogrammes émotionnels. Et enfin l'équipe du projet DREAM propose des activités d'imitation, d'attention conjointe et de tour de parole. Dans la plupart des cas ces équipes travaillent également sur la production de métriques à partir de capteurs issus de la bande audio, mais aussi des vidéo conduisant à disposer

de variables quantitatives concernant les contacts oculaires, l'attention conjointe, l'expression faciale, les tours de parole, etc. Toutes ces solutions doivent néanmoins être validées cliniquement pour montrer la précision des métriques mais également leur pertinence, ce qui n'est pas forcément disponible en l'état. Néanmoins le projet DREAM annonce une importante étude contrôlée randomisée avec l'inclusion de 69 enfants sur 8 sessions, dont les résultats pourraient faire date.

Au total, je crois que ce livre blanc montrera bien au lecteur la vitalité du domaine de la robotique sociale dans les troubles du spectre autistique, comment NAO depuis maintenant de nombreuses années a contribué à cette vitalité, par sa facilité d'utilisation par des cliniciens ou des enseignants pas forcément spécialistes de la robotique, mais aussi pour sa simplicité à accepter des algorithmes et solutions nouvelles créés par des ingénieurs qui souhaiteraient augmenter les capacités interactives de la plateforme robotique NAO. C'est probablement ce design et cette facilité d'utilisation qui en ont fait le succès dont témoignent ces nombreux retours de terrain.

David Cohen MD, PhD

Professeur, Sorbonne Université, Chef de Service, Département de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent, CNRS UMR 7222, Institut des Systèmes Intelligents et Robotiques, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, APHP, Paris, France

1. Boucenna S, Cohen D, Meltzoff A, Gaussier P, Chetouani M. Cognitive developmental robotics: How robots learn to recognize individuals from imitating children with autism and other agents. *Scientific Report* 2016; 6: e19908; doi: 10.1038/srep19908

2. Boucenna S, Anzalone S, Tilmont E, Cohen D, Chetouani M and the Michelangelo Study Group. Extraction of social signatures through imitation learning between a robot and a human partner. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development* 2014; 99: DOI: 10.1109/TAMD.2014.2319861

3. Anzalone SM, Tilmont E, Boucenna S, Xavier J, Maharatna K, Chetouani M, Cohen D, and the Michelangelo Study Group. How children with autism spectrum disorder explore the 4-dimension (spatial 3D+time) environment during a joint attention induction task. *Research in Autism Spectrum Disorders* 2014; 8: 814–826.

4. Pivetti M, Di Battista S, Agatolio F, et al. Educational robotics for children with neurodevelopmental disorders: a systematic review. *Heliyon* 6 2020; 10: e05160.

5. Grossard C, Palestra G, Xavier J, Chetouani M, Grynszpan O, Cohen D. ICT and autism care: state of the art. *Curr Opin Psychiatry*. 2018; 31: 474-483.

6. Gargot T, Asselborn T, Zammouri I, Brunelle J, Johal W, Dillenbourg P, Archambault D, Chetouani M, Cohen D, Anzalone SM. «It is not the robot who learns, it is me» Treating severe dysgraphia using Child-Robot Interaction. *Frontiers in Psychiatry* 2021; 12: e5. doi: 10.3389/fpsy.2021.596055

* <https://youtu.be/OiLScP0Pjz>

INTRODUCTION. AU- TI SME

Les Troubles du Spectre de l'Autisme désignent un groupe de troubles neuro développementaux caractérisés par des déficiences dans l'interaction sociale, des déficiences dans la communication et des comportements et/ou des intérêts restreints et répétitifs. Les déficiences les plus frappantes sont le déficit d'imitation des autres, l'incapacité de lire les expressions émotionnelles des autres, et la limitation de l'initiation et de la réponse aux comportements d'attention conjointe. L'intensité de ces symptômes peuvent varier dans leur intensité ayant pour conséquence un degré de handicap plus ou moins important. Pour le moment, il n'existe aucun traitement capable d'améliorer très significativement la qualité de vie des personnes avec autisme. La prise en charge est uniquement symptomatique et passe par des thérapies éducatives personnalisées. Ces dernières obtiennent un maximum d'efficacité lorsqu'elles sont appliquées à un stade précoce du développement de la personne. Chez l'enfant et l'adolescent, l'ensemble de ces traits autistiques auront un impact plus ou moins important en fonction de l'accompagnement, sur sa capacité d'apprentissage, sa socialisation et plus tard sur son autonomie dans sa vie d'adulte.

MECANIQUE ET TECHNOLOGIE

Nous assistons à une accélération de l'utilisation des usages des nouvelles technologies au quotidien, comme les objets connectés, les robots humanoïdes (jouets), les logiciels et l'Intelligence Artificielle, les Applications pour tablettes, la réalité augmentée, la réalité virtuelle ... Les solutions les plus accessibles sont encore de loin les applications (web ou tablettes). Les études existantes dans la littérature depuis les années 90 montrent que les enfants atteints de TSA ont une grande appétence avec les composants mécaniques, les ordinateurs et les robots. Aujourd'hui l'utilisation des NT dans la prise en charge de l'Autisme s'articule en quatre approches complémentaires afin de développer :

- Les compétences expressives et communicationnelles
- Les compétences cognitives et émotionnelles
- Les compétences sociales et interactionnelles
- L'acquisition des connaissances

Les accompagnements basés sur l'ordinateur, les tablettes et les robots incarnés sont donc de plus en plus proposés chez les enfants et adolescents autistes. Avec la sophistication croissante dans le domaine de la robotique humanoïde, les robots se sont avérés avoir un grand potentiel comme outil de médiation thérapeutique dans le champ des troubles cognitifs.

LE ROBOT HUMANOÏDE COMME OUTIL DE MEDIATION THERAPEUTIQUE POUR LES JEUNES AUTISTE

De nombreux chercheurs ont montrés que les enfants autistes préféraient les robots interactifs aux jouets statiques, qu'une apparence de machine était moins angoissante pour eux que des traits humains, et qu'ils étaient plus réactifs aux instructions initiées par un mouvement robotique plutôt que par un mouvement humain. Plus spécifiquement, le Robot humanoïde qui est une machine anthropomorphe permet « d'épurer » le nombre d'informations que va recevoir le jeune autiste dans leurs interactions, grâce notamment à des mouvements prédictibles et identiques, une voix de synthèse sans personnalité marquée aux intonations limitées etc. De plus, le Robot est associé à une partie logicielle qui permet de simuler des capacités « sociales et affectives » basiques. L'ensemble de ces caractéristiques favorise généralement chez le jeune TSA une baisse de l'anxiété et une meilleure réceptivité sensorielle.

Aussi nous assistons dans plusieurs pays et depuis quelques années, sur la base de ce consensus de l'intérêt du robot humanoïde pour accompagner les jeunes autistes, à une floraison de recherches spécifiques, d'utilisations empiriques, de développements de logiciels avec ou sans IA, et à la création de contenus pédagogiques. Le Robot humanoïde prend progressivement sa place comme un véritable outil de médiation thérapeutique pour nos jeunes ayant des troubles du spectre de l'autisme.

UN PANORAMA CHOISI DE CAS D'USAGE

Face à cette accumulation des recherches et des usages, nous avons souhaité vous dresser un panorama qui n'a pas l'ambition d'être exhaustif car il est majoritairement tourné sur l'utilisation de NAO. Néanmoins les quelques exemples qui vont suivre vont vous permettre de découvrir des applications existantes, parfois surprenantes, avec des résultats éprouvés dont les initiateurs sont en France et à l'International. Ce Booklet est à destination du plus grand nombre, que vous soyez Chercheurs, Thérapeutes, Éducateurs spécialisés ou Enseignants. Il a pour vocation de permettre une meilleure appropriation de l'usage de NAO comme outil de médiation thérapeutique chez les jeunes TSA et peut-être déclencher un désir d'approfondissement ou d'application de certains usages au sein de leur propre organisation.

Nous vous souhaitons une bonne lecture, les contributeurs sont joignables via leurs coordonnées en début d'article et vous disposez d'une bibliographie ainsi que des liens hypertexte pour aller plus loin dans vos découvertes.

HERO

LES FONDATEURS DE HERO ET LEUR PARCOURS SCIENTIFIQUE



HERO est une **start-up tournée vers l'innovation** spécialisée dans le développement de solutions à forte valeur technologique et sociale reposant sur la robotique, l'intelligence artificielle (IA) et les interactions humain-machine, principalement à destination du secteur de la santé. L'équipe technique de HERO se compose d'experts du domaine de l'IA issus de la sphère universitaire et auteurs de nombreux articles scientifiques consacrés à l'utilisation des technologies dans le but d'améliorer et de faciliter le quotidien.

Giuseppe Palestra, cofondateur de HERO et chercheur, est docteur en Sciences de l'informatique, et ses recherches*¹ portent principalement sur l'IA, la reconnaissance de formes et la vision par ordinateur.

Berardina De Carolis, cofondatrice de HERO et Directrice du département R&D de l'entreprise, est elle aussi docteur en Sciences de l'informatique, mais également professeure assistante et chercheuse au sein du Département Informatique de l'Université de Bari. Ses recherches*² portent sur les interactions humain-machine, la génération automatique de textes, la modélisation utilisateur et les systèmes à base d'agents.

Créée en 2016, l'entreprise HERO a reçu de prestigieuses récompenses, à l'instar du Label d'excellence de la Commission européenne en 2017 et en 2019 pour sa solution robot-logiciel intégrée, baptisée Robots Friends of Children (<https://herorobot.it/>). **Reposant sur un protocole individualisé de thérapie comportementale destiné aux enfants autistes**, ce système permet de **recueillir de grandes quantités de données** afin de proposer une offre de soins personnalisée et de contribuer à la recherche dans ce domaine. Les solutions HERO ont été validées dans le cadre de collaborations et d'études.

SOLUTION HERO POUR LA PRISE EN CHARGE DE L'AUTISME : ROBOTS FRIENDS OF CHILDREN

La solution HERO a été développée dans le but d'aider les parents d'enfants autistes face aux difficultés qu'ils rencontrent. Grâce à son logiciel innovant reposant sur une IA développée en interne, le concept de vision par ordinateur et des algorithmes d'interactions humain-robot (IHR), HERO a mis au point un **protocole de thérapie comportementale associé à différents robots d'assistance sociale** dans le but de favoriser le développement progressif des enfants autistes, notamment en les aidant à améliorer leurs compétences verbales, sociales et d'adaptation.

Les robots permettent au patient de réaliser des exercices associés aux méthodes standards **ABA** et **ESDM** mis au point par l'équipe thérapeutique, et grâce aux algorithmes de vision par ordinateur, le logiciel enregistre des métriques et des indicateurs clés de performance (ICP) objectifs, créant ainsi un modèle d'interaction triangulaire thérapeute - robot - enfant continu. La solution HERO peut être déployée :

- dans les **établissements de santé** (ou d'autres établissements accueillant des enfants autistes, par exemple des écoles, des associations, des centres de formation professionnelle), dans lesquels les patients sont accompagnés par des cliniciens et des thérapeutes lors de leurs interactions avec les robots (tels que NAO) ;
- **à domicile** afin de pouvoir enregistrer les données issues de leurs interactions avec les robots dans un contexte qui leur est plus familier (dans la continuité des activités réalisées dans les établissements de santé), à l'aide d'un autre robot.

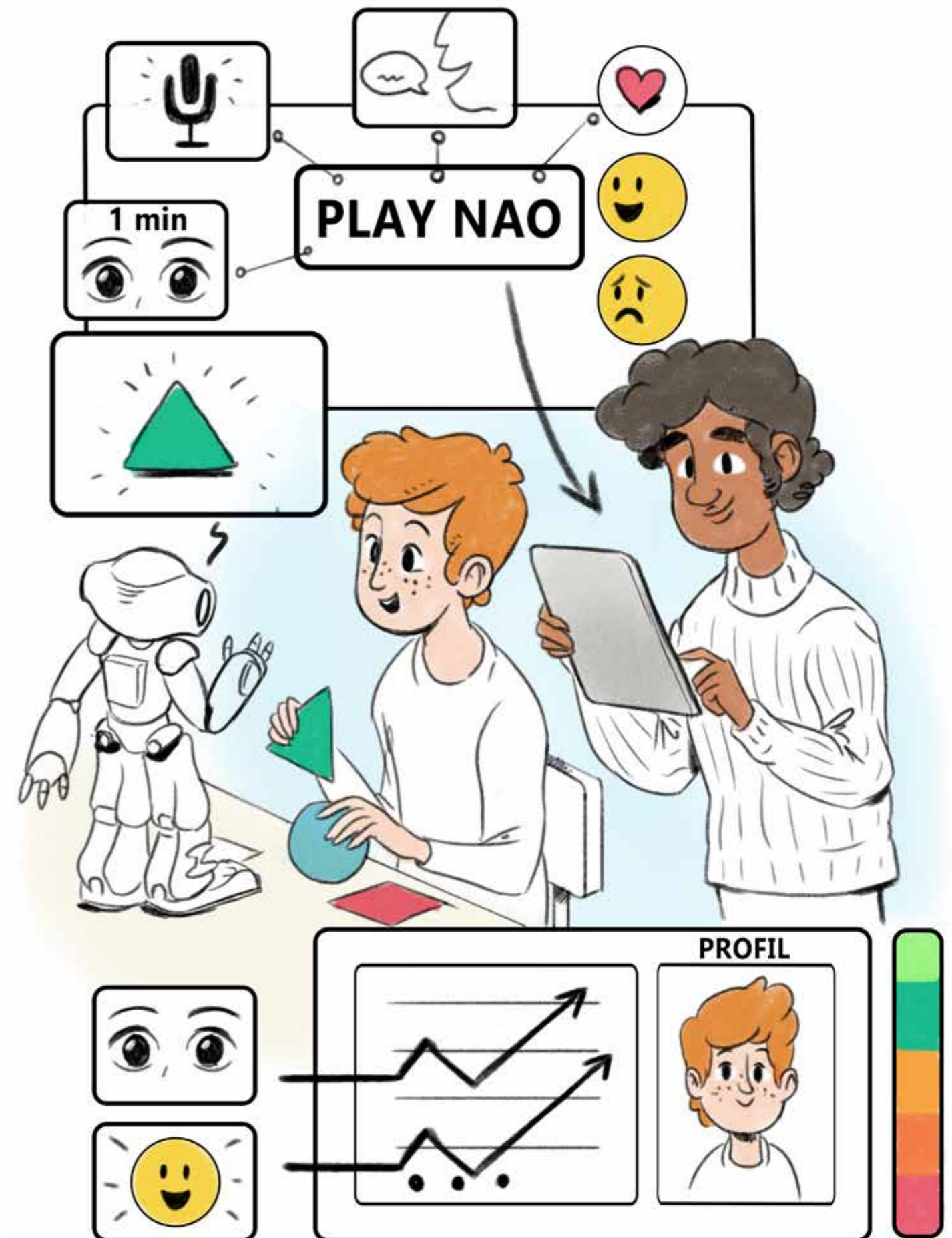
En s'appuyant sur diverses thérapies (au nombre de 18 pour NAO), la solution HERO permet aux thérapeutes de mettre au point une approche personnalisée en fonction de :

- l'**âge** des enfants (qui ont de préférence entre 4 et 13 ans) ;
- leur **niveau cognitif** (haut, moyen, bas) ;
- leurs **besoins** spécifiques en termes de comportement stéréotypé, de communication et d'interaction sociale ;
- leurs **lacunes** dans les **domaines d'apprentissage** suivants : imitation, communication, lien cause-effet et apprentissage social.

LES ORIGINES DU PROJET HERO

Depuis quinze ans, le recours aux TIC s'est intensifié dans le cadre de la prise en charge de l'autisme car ces technologies **s'avèrent particulièrement efficaces pour les personnes souffrant d'un trouble du spectre de l'autisme**, notamment les enfants. Grâce aux progrès de la robotique, on a pu analyser l'impact des robots d'assistance sociale dans ce domaine avec la conclusion que les jeux sérieux et la robotique d'accompagnement de patients autistes ont démontré des avancées et résultats réels. Plus de **750 études cliniques font état de progrès au niveau comportemental** :

- au contact des robots, les enfants autistes présentent moins de **comportements répétitifs** et **stéréotypés** ;
- lorsqu'ils interagissent avec les robots, ils développent en outre leur **communication** et leur **langage** ;
- **pour interagir avec les robots**, les enfants autistes adoptent de nombreux comportements sociaux semblables à ceux que développent généralement les enfants envers les humains.





Afin de contribuer à l'expérimentation de solutions destinées aux enfants autistes, les experts HERO ont lancé des études et initié des développements technologiques et, en **Novembre 2016**, ils ont fondé **HERO** dans le but de développer une **solution innovante intégrée (robot + logiciel)**. NAO fait partie des premiers robots utilisés (dès 2013, avant même la création de HERO) grâce à ses caractéristiques uniques :

- aspect et dimensions adaptés aux interactions avec les enfants ;
- haut niveau de mobilité grâce à sa structure ;
- grand nombre de capteurs visuels, sonores et tactiles ;
- puissance de son système d'information et de ses fonctions de base.

La première solution HERO a été déployée en 2017, après avoir été validée et testée dans le cadre d'études cliniques menées en Italie et en France, dont les résultats se sont avérés très prometteurs. En 2019, HERO lançait **PlayNAO**, un système regroupant le robot NAO et notre logiciel. Proposant **18 thérapies différentes et de nombreuses fonctionnalités avancées**, cette solution intégrée basée sur la vision par ordinateur permettait de recueillir des données importantes à la fois pour les thérapeutes et pour les parents d'enfants autistes.

MODÈLE INTERVENTIONNEL HERO UN DÉFI POUR LES ROBOTS : PROPOSER PLUSIEURS FONCTIONS AFIN DE RÉPONDRE AUX BESOINS THÉRAPEUTIQUES

L'objectif de la solution HERO est **d'optimiser l'ensemble du parcours thérapeutique** :

- susciter l'intérêt des enfants grâce aux robots, et favoriser une participation active aux thérapies (dans les établissements de santé comme à domicile) ;
- fournir **aux thérapeutes** un ensemble pertinent de données objectives et homogènes (et ce, de façon automatique, sachant qu'il leur incombe pour l'heure de transcrire ces données manuellement), afin de personnaliser les thérapies et de suivre au plus près les progrès de chaque patient ;
- permettre **aux établissements de santé** de mieux organiser leurs espaces et activités, en développant l'offre de services d'assistance ;
- tenir **les parents** informés des progrès de leurs enfants et de leur état émotionnel ;
- regrouper les informations recueillies au profit de la recherche dans le domaine de l'autisme.

Pour atteindre ces résultats, il est essentiel de tirer profit des informations émanant de chaque interaction grâce à des **mécanismes avancés de détection, de traitement et de reporting des données**, des fonctions rendues possibles grâce au tableau de bord mis au point par HERO. Dans notre modèle interventionnel, les robots (NAO et d'autres) assurent plusieurs fonctions :

- **stimulation** de l'intérêt de l'enfant, qui voit en eux un camarade de jeu avec lequel interagir (selon un schéma d'interaction plus prévisible que ceux auxquels l'on peut s'attendre avec les autres enfants)

- **médiation thérapeutique**, selon le modèle triangulaire thérapeute - robot - enfant ;
- soutien à l'apprentissage dans des domaines tels que l'imitation, le lien cause-effet, la communication et l'apprentissage social ;
- **recueil automatique et continu de données objectives**, même en dehors de séances de thérapie dans les établissements de santé.

ASPECTS OPÉRATIONNELS

Une interaction individuelle

Chaque robot est associé à des méthodes d'utilisation qui lui sont propres, et PlayNAO est particulièrement adapté **aux séances d'interactions individuelles** (un enfant - un robot) **au sein d'établissements de santé**, en présence de professionnels qualifiés et formés. Une fois les besoins de l'enfant analysés de près, un parcours thérapeutique est défini et les options thérapeutiques les plus adaptées au patient sont identifiées parmi les solutions disponibles (au nombre de 18 à l'heure actuelle).

Chaque **exercice** est **répété plusieurs fois** jusqu'à ce que l'enfant parvienne à le réaliser correctement à 5 reprises (une séance classique dure environ une heure) afin de lui permettre de mieux comprendre le fonctionnement de l'exercice et de développer les connaissances, les compétences et les capacités nécessaires pour le réaliser du mieux possible. Grâce à ses capteurs, **PlayNAO recueille toutes les données utiles afin d'évaluer le niveau d'interaction de l'enfant et son état émotionnel** (contact visuel, attention conjointe, imitation et reconnaissance des émotions de base) pendant la séance.

Un professionnel qualifié doit par conséquent être formé à l'utilisation du robot et d'un iPad, qui lui servira à donner au robot des indications liées à la thérapie à mettre en œuvre, mais aussi à visualiser les informations recueillies pendant l'interaction.



nEC: Number of Eye Contact
 nPE: Number of Positive Expressions
 nNE: Number of Negative Expressions
 nFE: Total number of Facial Expressions
 nREACT: Number of Reactions
 PASS: Achievements

PROTOCOLE MÉTHODOLOGIQUE

La solution HERO repose sur la méthode traditionnelle **ABA**, ainsi qu'un protocole en 3 grandes étapes : **présentation d'un stimulus, réponse comportementale** et renforcement. Elle propose des exercices à la difficulté croissante (selon une échelle de 3 niveaux de difficulté) dont le but est de développer :

- **le contact visuel** : il s'agit d'une capacité indispensable non seulement pour communiquer et obtenir l'attention d'un interlocuteur, mais aussi pour acquérir des compétences de communication complexes (verbale et gestuelle) ;
- **l'attention conjointe** : plusieurs études ont révélé que les enfants autistes font preuve d'une attention conjointe limitée par rapport aux enfants neurotypiques, ce phénomène étant associé à des lacunes au niveau des capacités de langage et d'imitation ;
- **l'imitation corporelle** : parmi les principales caractéristiques de l'autisme figure une capacité réduite à imiter les mouvements corporels, à l'origine d'un risque non négligeable de lacunes en matière de communication sociale ;
- **l'imitation des expressions faciales** : le développement des compétences sociales pendant l'enfance est étroitement lié aux compétences de reconnaissance des émotions. Les lacunes au niveau des capacités de reconnaissance des émotions sont un signe typique de l'autisme (les enfants autistes ont une activité faciale atypique en réponse à un stimulus censé déclencher une expression faciale), et les enfants autistes sont moins réactifs face aux expressions faciales de base (joie, dégoût, peur, tristesse) que les enfants neurotypiques.

Un **enfant aux compétences cognitives basses**, éprouvant des difficultés à établir un contact visuel, devra suivre un protocole débutant au niveau basique et, uniquement après avoir franchi ce niveau, pourra progressivement passer aux niveaux supérieurs.



Un **enfant aux compétences cognitives moyennes** pourrait déjà être en mesure de gérer le contact visuel, sans toutefois être capable de réaliser des tâches associées à l'attention conjointe. Ainsi, le thérapeute pourrait commencer avec l'un des niveaux consacrés aux exercices ciblant l'attention conjointe.

Un **enfant aux compétences cognitives hautes** n'ayant pas besoin de s'entraîner au contact visuel, à l'attention conjointe ou à l'imitation corporelle pourrait débiter directement par l'exercice d'imitation des expressions faciales afin d'apprendre à reconnaître et imiter les expressions du visage.

Résultats & Perspectives

Les études cliniques ont montré **des résultats très prometteurs** pour chaque besoin (contact visuel, attention conjointe, imitation corporelle et expressions faciales) et domaine d'apprentissage (imitation, lien cause-effet, communication et apprentissage social). Les professionnels qualifiés impliqués nous ont également fait part **de commentaires encourageants** concernant la facilité d'utilisation de la solution et la précision, l'utilité et la facilité d'utilisation des fonctions de collecte de données.

Nous envisageons de **forts potentiels de développement** dans les domaines suivants :

- mise au point de **nouvelles thérapies** grâce à des échanges plus poussés avec les professionnels qualifiés ouverts à l'innovation technologique afin de répondre aux besoins de la communauté ;
- **utilisation de nouvelles fonctionnalités de NAO** (et des autres robots que nous utilisons), déployées par l'équipe de développeurs de Softbank afin d'améliorer et d'étendre la panoplie de services mis à la disposition des thérapeutes et des enfants par le biais de notre solution ;

- **environnements intelligents** dans lesquels les robots peuvent interagir avec d'autres capteurs et recueillir davantage d'informations ;
- test de nos solutions en **milieu scolaire** afin de proposer de nouvelles opportunités d'apprentissage aux enfants autistes (créer des parcours d'apprentissage impliquant une intermédiation par les robots afin de venir en soutien des activités des enseignants et des auxiliaires) ;
- personnalisation et promotion de nos solutions intégrées (robot + logiciel) afin d'aider **les personnes souffrant d'autres pathologies mentales** (notamment les personnes âgées atteintes de maladies neurodégénératives) **ou présentant d'autres besoins en termes de soins de santé.**

*1 <https://scholar.google.com/citations?user=mYOH7BIAAAAJ&hl=fr>

*2 <https://scholar.google.com/citations?user=tzLPfD4AAAAAJ&hl=fr>

Rob'Autisme

—
ROB'AUTISME :
UTILISER LE ROBOT
COMME UNE PROTHÈSE
EN COMMUNICATION,
LE ROBOT EXTENSION.

En 2021, ce sont 42 adolescents entre 11 et 16 ans qui ont été accompagnés par le programme Rob'Autisme, au rythme de 6 nouveaux participants par an. Ils étaient de profils variés : différentes parties du spectre autistique ont été acceptées, la seule sélection était leur capacité à manier la lettre, c'est-à-dire être en mesure d'identifier les lettres de l'alphabet et les associer au son correspondant. Les inscriptions étaient sur la base du volontariat, et différents profils se sont manifestés : certains étaient scolarisés, certains n'étaient pas socialisés, les symptômes étaient différents d'un cas à l'autre (mutisme, écholalie, automutilation, etc.), tous bénéficiaient d'un accompagnement médical mais l'intensité différait, certains étaient autonomes (trajets, etc.), tous demeuraient dans leur foyer familial.

SOPHIE SAKKA

Maître de Conférences

Sophie Sakka est enseignante-chercheuse à Centrale Nantes, sa recherche porte sur la robotique humanoïde et le mouvement humain, particulièrement la modélisation de l'équilibre dynamique de systèmes bipèdes dans l'objectif de réaliser des prothèses et exosquelettes autonomes (handicap).

Parallèlement, elle est présidente-fondatrice de l'association Robots ! dont l'objectif est la diffusion auprès du grand public de connaissances et compétences sur les robots et leur utilisation. Sophie Sakka est aussi conférencière sur des sujets connexes à la robotique.



HISTOIRE

L'expérience Rob'Autisme a été initiée en septembre 2014, avec un groupe de six adolescents, qui ont suivi deux années de programme. En 2015, un nouveau groupe commençait en parallèle avec le premier. Depuis 2014, L'association Robots ! accueille chaque année 6 nouveaux participants, qui sont accompagnés pendant deux années.

Cette aventure a commencé par **la rencontre de quatre institutions : l'association Robots !, l'École Centrale de Nantes (Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes), le centre culturel Stereolux et le centre pour grands enfants et adolescents du CHU de Nantes. Des ateliers ont été mis en place en partant d'un pari : que les participants, malgré leur situation de handicap cognitif, parviendraient à s'approprier une technologie et programmer un robot.** L'objectif des ateliers était la constitution d'une piécette de théâtre, dont les acteurs sont des robots : un seul acteur pour la première année, plusieurs acteurs pour la seconde année.

Le côté spectaculaire des résultats a surpris l'ensemble des partenaires. Aussi, après deux années d'ateliers, l'école Centrale de Nantes et l'association Robots ! ont décidé de continuer la collaboration et de réaliser une recherche sur les mécanismes mis en œuvre dans cet accompagnement spécifique. Une thèse a été menée entre 2017 et 2020 dans ce but, et la recherche continue aujourd'hui, portée par le Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes et soutenue par de nombreux partenaires institutionnels et privés.

ORGANISATION DU PROGRAMME

L'accompagnement proposé se déroulait en 20 séances hebdomadaires de 1 heure, alternant 10 séances de programmation robotique (les acteurs) et 10 séances de préparation du spectacle (voix, musiques, décors, etc.). Le contenu se concentrait sur l'amélioration des habiletés sociales : comportement, communication, interaction. Dans chaque séance, des exercices étaient organisés en fonction des caractéristiques et des progrès des participants, ainsi que la réalisation de jalons vers la préparation du spectacle.

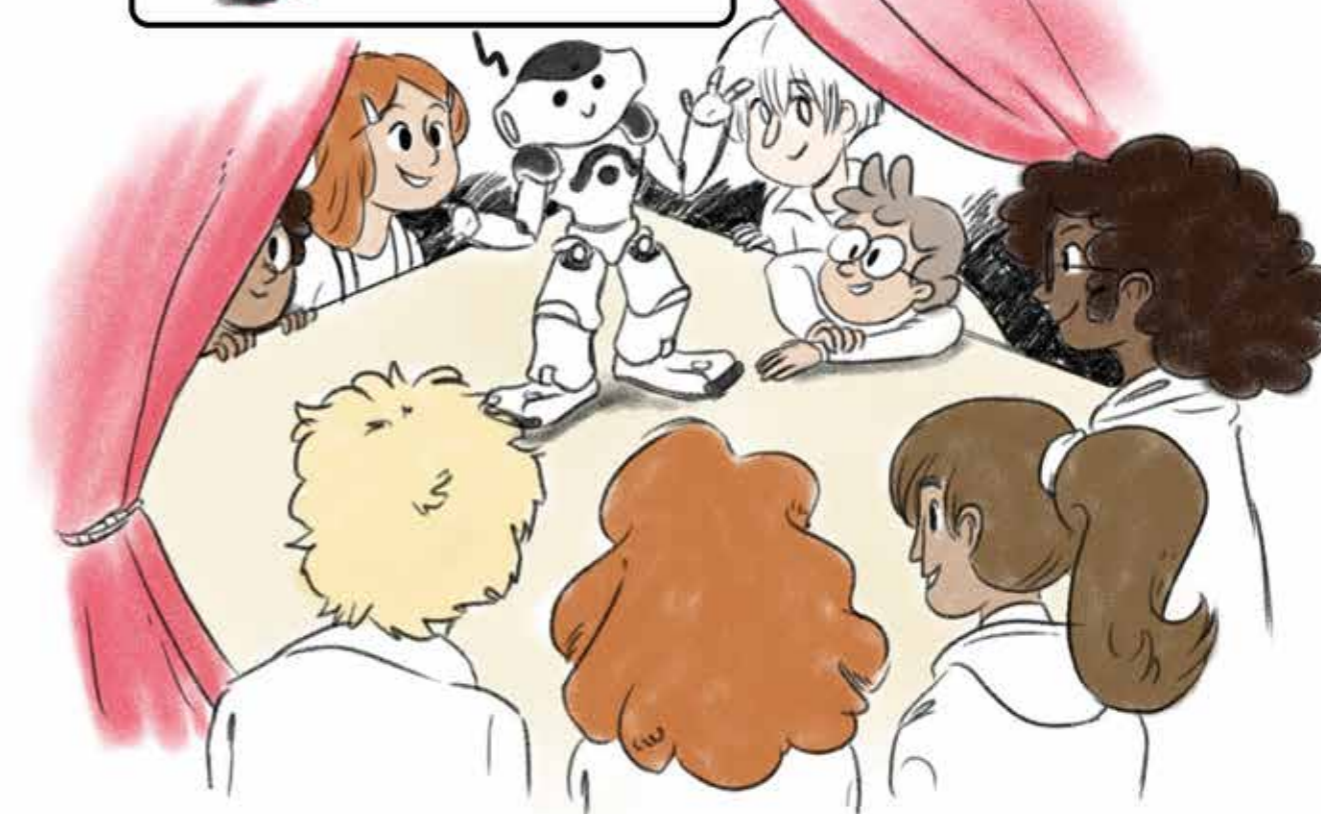
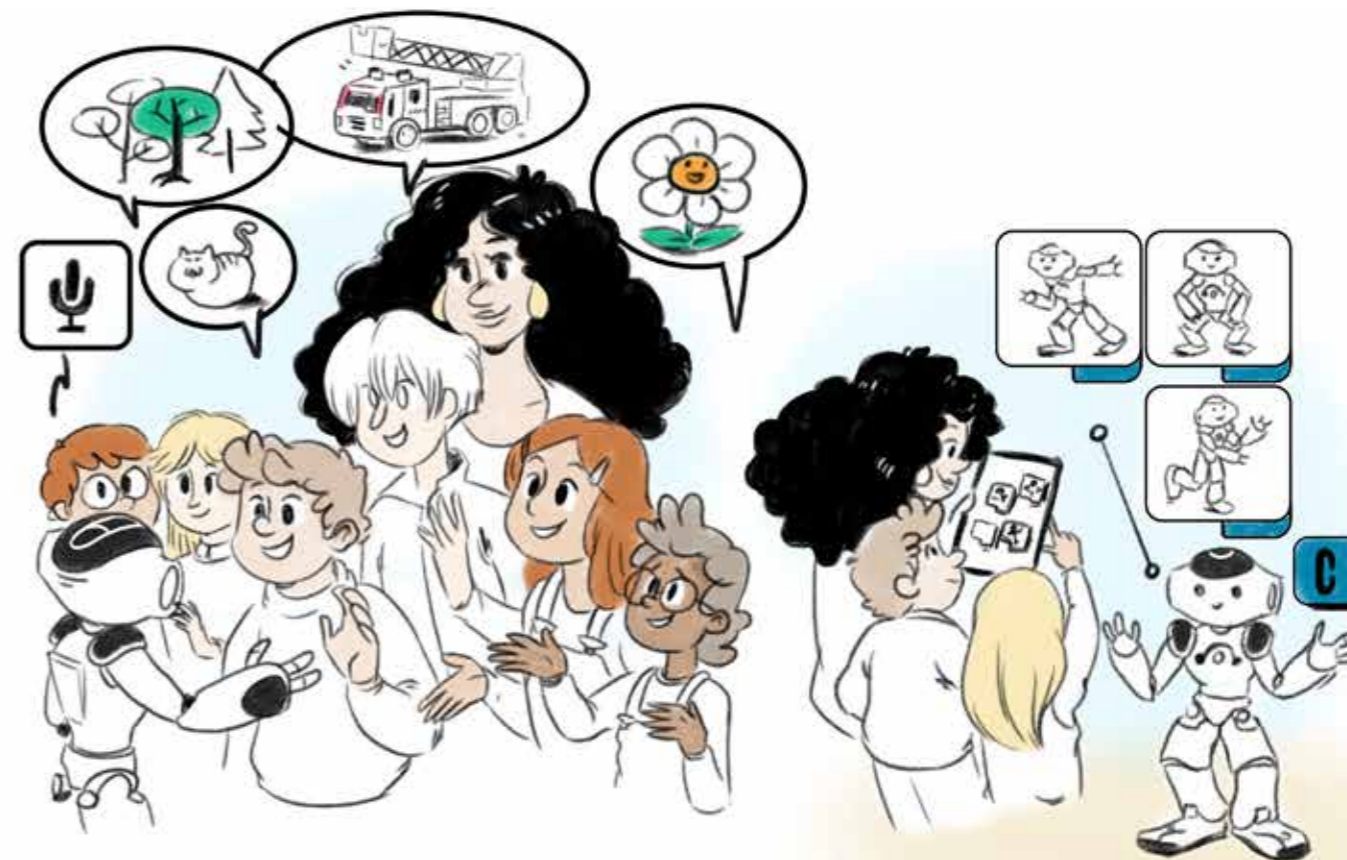
Au cours de la première année, l'histoire impliquait un seul acteur, elle était fournie aux 6 participants. Il s'agissait de faire jouer au robot un rôle de conteur d'histoire avec la voix des participants : ceux-ci étaient enregistrés racontant l'histoire pendant les séances non robotiques, les fichiers enregistrés étaient segmentés en phrases, et rejoués sur les robots pendant les séances robotiques, où les participants devaient programmer par l'interface Chorégraphe fournie par Softbank Robotics les mouvements appropriés.

Au cours de la seconde année, les participants étaient accompagnés pour écrire leur propre histoire, impliquant plusieurs personnages. La notion de compromis était à définir et appliquer au sein du groupe, afin que l'ensemble des participants converge vers une histoire les satisfaisant tous. Cette fois-ci, les robots utilisaient la synthèse vocale pour les dialogues, mais la voix des participants était utilisée en voix off, par exemple pour situer le contexte. Musiques, sons et décors faisaient partie de la mise en scène.

La restitution de la piécette de théâtre était faite en fin de programme, pour chaque année. Une salle de spectacle était organisée, et les robots pouvaient dérouler leurs programmations sur scène devant un public inconnu restreint, composé d'une quarantaine de personnes au maximum : les familles des participants, les partenaires, les journalistes, l'équipe d'encadrement et les participants.

RÉSULTATS OBSERVÉS

Sur l'ensemble des 42 participants au programme Rob'Autisme depuis 2014, un progrès spectaculaire a été observé, pour une année confirmé quantitativement par un test ADI-R (Autism Diagnostic Interview Revised) sur 9 participants (première et seconde année de programme). Il a été observé que ces progrès en termes d'habiletés sociales, sur les trois critères ADI-R, étaient stables dans le temps. Les retours d'évaluation étaient réalisés en collaboration avec les parents, qui regroupaient leurs impressions (comportement au sein du foyer) et celles de l'environnement du participant (en fonction des cas : école, médical, tuteurs ou autres environnements fréquentés par le participant). Des témoignages de changements



radicaux de vie ont été recueillis, concernant le participant (aptitude à nouer des relations amicales, à s'insérer dans un groupe, à évoluer en autonomie, à réaliser une communication volontaire et cohérente, soin aux personnes et aux objets, apaisement, concentration, attention) et son environnement (moindre nécessité d'accompagnement quotidien ou d'attention spécifique, apaisement, allègement de l'organisation). Au niveau des ateliers, **il était observé une cohésion entre les participants, les menant d'un comportement individuel initial vers une recherche de contribution au groupe et de cooptation des décisions prises.**

Les capacités de concentration ont été radicalement augmentées, autorisant la communication volontaire, la recherche de compromis et l'apprentissage.

LE ROBOT ET L'ACCOMPAGNEMENT THÉRAPEUTIQUE

La recherche a consisté à définir **le rôle exact du robot dans les progrès observés chez les participants**. Plusieurs expériences ont été réalisées pour mieux comprendre : les participants de Rob'Autisme sont tous des adolescents présentant des troubles du spectre autistique, mais la méthode a été appliquée pour les 20 séances + restitution sur des résidents EHPAD souffrant de la maladie d'Alzheimer, et pour des séances uniques sur d'autres populations et pathologies (adultes TSA, enfants et adolescents à pathologies cognitives variées tels syndrome de Rett ou polyhandicap).

La première observation est que **le robot ne constitue en rien un remplacement du thérapeute**. Par lui-même, il ne permettra aucune amélioration cognitive, même programmé. Cependant, par sa nature organisée et simplifiée, **il attire et séduit, et permet d'établir une connexion cognitive avec les participants à un programme thérapeutique**. Le robot agit comme un catalyseur, une sorte d'accélérateur thérapeutique, et n'a plus de sens dès lors que la thérapie est absente.

Quelle thérapie a donc été appliquée au programme Rob'Autisme ? Une micro-société a été construite, simplifiée, impliquant toujours les mêmes lieux (une salle pour les ateliers robotiques, une salle

pour les ateliers non robotiques, une salle pour la restitution), toujours les mêmes personnes (organisateur, accompagnants, référents techniques et participants), toujours les mêmes protocoles d'arrivée, d'entrée dans les séances, de déroulé des séances et de sortie. Les rôles de chacun étaient définis et fixés pour la durée d'un programme. Dans ce contexte, les participants disposaient d'un espace social dans lequel ils pouvaient se (re)définir.

Le travail au sein des ateliers se plaçait sur **trois niveaux de communication** :

- **la communication duale**, c'est-à-dire le face-à-face, nécessitant une concentration continue, était obtenue par un travail en binôme nécessitant par exemple le partage du temps d'utilisation des robots, ou des accompagnants ;
- **La communication de groupe** consistait à montrer au groupe sa réalisation, et observer les réalisations des autres. L'attention était conservée par la mise en place d'applaudissements en fin de démonstration, qui amplifiaient le ressenti d'existence par la contribution au groupe, et la fierté du partage.
- Le troisième niveau de communication était **la communication sociale**, obtenu lors de la restitution publique. En fin de spectacle, le public applaudit, traduisant la reconnaissance des participants par le biais de leur contribution.

L'apprentissage de la gestion du paradoxe dans cet environnement cadré était aussi mis en place. Le robot est pour ce faire un outil de médiation optimisé : en même temps inerte et animé, il permet d'évoluer dans un semi-lieu où l'opérateur peut être acteur et spectateur d'une scène. Les éléments sont connus (le cadre) et inconnus (le déploiement dans le cadre). Par exemple, les participants savaient qu'ils allaient travailler en binôme (le cadre), mais ne savaient pas avec qui (les éléments du cadre). Identiquement, le spectacle restitué était connu car ils en avaient réalisé chaque brique, et inconnu car ils ne l'avaient jamais vu assemblé.

Perspectives

L'utilisation d'un robot comme un compagnon ou une extension est un choix thérapeutique : le robot compagnon sollicite un participant et l'empêche de s'enfermer, alors que le robot extension nécessite l'intervention du participant pour agir et le pousse à s'ouvrir, le définissant comme un acteur social.

Le robot compagnon présente l'avantage de ne nécessiter aucune compétence, alors que le robot extension nécessite l'intervention du participant, donc une capacité à monter en compétence. Le projet Rob'Autisme sélectionnait ses participants par leur connaissance a minima de quelques lettres de l'alphabet (formes et sons associés), montrant leur capacité à apprendre donc à monter en compétence.

Le projet, dans son état actuel, est en mesure d'être reproduit par des équipes extérieures à l'association Robots!. Il va donc être divulgué pour un public d'adolescents présentant des troubles du spectre autistique.

Par ailleurs, les caractéristiques du robot médiateur utilisé comme extension et son effet sur le système cognitif humain vont permettre d'appliquer cette approche thérapeutique sur d'autres pathologies générant des situations de handicap cognitif.

Thierry

Le Buhé

Hôpital
F. Truffaut



Photo 5 : la prise de risque

UN ROBOT ENTRE À L'HÔPITAL

Je suis enseignant spécialisé dans les troubles importants des fonctions cognitives et travaille dans un hôpital de jour accueillant des enfants de quatre à douze ans, avec Trouble du Spectre Autistique (TSA).

Grâce au mécénat d'un groupe de protection sociale, l'hôpital de jour a acquis un robot NAO. Dans un premier temps l'usage de NAO a été envisagé uniquement dans ma classe, dans un but pédagogique.

Cette exigence du chef de pôle traduisait la volonté de permettre une utilisation plus sereine de NAO, dans un lieu défini précisément, tout en laissant la possibilité à l'équipe de soignants de s'accoutumer à sa présence, voire plus si affinités...

NAO n'est pas un objet technologique similaire aux tablettes ou aux smartphones. Il se démarque de toute référence et référentiel. C'est en quelque sorte un ovni ! Son aspect androïde, ses possibilités très élaborées de gestuelles - notamment lorsqu'il suit par la rotation et l'inclinaison de sa tête un locuteur - peuvent troubler nombre d'adultes et créer un sentiment de malaise. Il y a vraisemblablement un conflit entre ce que perçoit le cerveau, une apparence « humaine » et le manque de naturel des mouvements et de la voix. Mais quel est cet étranger arrivé tout droit du futur pour envahir notre sereine et paisible vie à l'hôpital de jour ?

L'IMPORTANCE DE L'INTÉGRATION DE NAO : UN «NOUVEAU COLLABORATEUR?»

Les débuts de NAO n'ont pas été faciles. NAO divise l'équipe, ne fait pas l'unanimité. Une soignante me dit : « La nouveauté fait toujours un peu peur. » NAO, cette inquiétante étrangeté, pour reprendre les termes de Freud, devient l'objet projectif de fantasmes.

Pour certains soignants, NAO met à mal une pratique rodée, bien établie et alors s'exprime, au-delà des mots, le sentiment d'une perte de contrôle, de maîtrise. Cela est insupportable pour certains professionnels. Encore une fois, le robot déroute profondément par son côté innovant, jamais vu. Les utilisateurs de NAO sont, encore aujourd'hui, des pionniers.

Les arguments, parfois dits avec virulence, s'apparentent à des réactions épidermiques. Mais cette étape est essentielle. Il faut laisser du temps au temps, permettre à l'équipe de mettre des mots sur l'inconnu. Peu à peu, NAO va trouver sa place. Mais il faut que plusieurs phases soient franchies : la perception de NAO comme un danger ; l'observation à distance du robot ; le constat qu'il n'y a pas de danger ; les premiers contacts avec cet objet animé ; la participation à des activités ; l'acceptation ; l'intégration...

NAO est-il un robot émotionnel?

Lorsque je présentais NAO pour la première fois à toute l'équipe, j'employais maladroitement les termes « robot émotionnel » ; la réaction de certains soignants fut très vive. Ils soulignent d'emblée la contradiction entre ce qu'ils percevaient du robot et les troubles longuement étudiés chez les enfants. Pour eux, cette contradiction était insupportable, car la conciliation d'éléments si contradictoires paraissait inconcevable.

Le terme « robot » renvoie à la notion de machine, d'objet inanimé ou non vivant, et en même temps, qui a ici la particularité d'avoir une apparence d'enfant.

D'autre part, le terme « Émotionnel » renvoie à l'humain ou vivant, qui ressent des émotions. Au regard de ces deux vocables, il est légitime de se

demander comment les enfants vont pouvoir appréhender cet objet ? Ce robot humanoïde ne va-t-il pas créer une confusion entre le non-vivant et le vivant ? Par ailleurs, nombre d'enfants autistes éprouvent des difficultés à décoder les émotions simples. De ce fait, NAO ne va-t-il pas susciter davantage d'angoisses chez ces enfants et donc entraver le travail thérapeutique ? Et qu'en aurait-il été si NAO avait eu des expressions faciales ? Heureusement qu'il n'a pas de muscles faciaux car la confusion aurait été encore plus grande. Tant d'interrogations, et particulièrement lorsque l'on traite d'une population vulnérable, auxquelles il aurait fallu savoir répondre.

Aujourd'hui, avec une pratique intense et de solides formations, j'aurais pu répondre que les robots n'éprouvent rien par eux-mêmes, mais qu'ils peuvent simuler des « postures émotionnelles ». Le robot n'est pas vivant, mais il simule, grâce à des programmations informatiques.

Au cours de cette présentation, je fis tomber en avant NAO sur la table. Un « Oh ! » parcourut l'équipe. Déjà des adultes projettent sur ce robot des attributs propres aux humains. Le but de cette chute était de montrer que NAO pouvait se relever seul (particularité assez spectaculaire). Mais à travers la réaction des soignants, je pressentais qu'autre chose se jouait. Car enfin, si la chute d'un objet entraîne la casse d'une pièce mécanique... on la répare. Ce n'est qu'un objet ! Mais certains ont vu NAO tomber et peut-être se blesser...

On voit là que cet objet suscite de l'empathie, ce qui est en contradiction avec les réactions de rejet. C'est là toute l'ambivalence des soignants face à NAO.

Au désarroi premier des adultes, et si j'ose un jeu de maux ; au trouble des adultes répond la spontanéité des enfants avec troubles (du spectre autistique).

NAO ET LES ENFANTS

Premiers contacts

Les premières prises de contacts avec NAO se firent naturellement. Leurs réactions sont d'une immense richesse d'enseignement.

Voici quelques exemples d'interactions.



Photo 1: le robot compagnon

EXEMPLE 1 : LE ROBOT COMPAGNON

Lorsque ce garçon voit NAO pour la première fois, il s'allonge à terre, et regarde longuement l'arrière du robot (photo 1). Ce qui l'intrigue est l'absence de câble le reliant à une prise de courant, un ordinateur, ou autre. Pour cet enfant non verbal, NAO pose question. Il est tellement différent de ses jouets. L'enfant comprend que NAO n'est pas un être vivant, a priori. Pourtant il lui faut plusieurs séances pour vérifier qu'il n'y a pas de câble. La présence de câble aurait été une preuve pour l'enfant que NAO est bien un objet. Alors s'élabore dans la pensée de l'enfant un compromis : NAO n'est pas un objet comme les autres, c'est un robot. Au cours d'autres séances, NAO devient compagnon. Sur cette photo, on voit l'enfant aligner des figurines, comme le font beaucoup d'enfants autistes. En s'allongeant au sol, l'enfant se met au niveau du robot, ce qui appuie aussi l'idée que l'enfant est dans un jeu partagé. C'est le début d'une interaction. NAO bouge et oriente sa tête vers les figurines, captant le mouvement et le bruit.

Plus tard, cet enfant dessinera NAO (photo 2). NAO devient source d'inspiration, par exemple dans les activités de graphisme. Les plus grands peuvent dessiner NAO dans diverses postures, un peu comme les dessinateurs utilisent le mannequin en bois articulé.

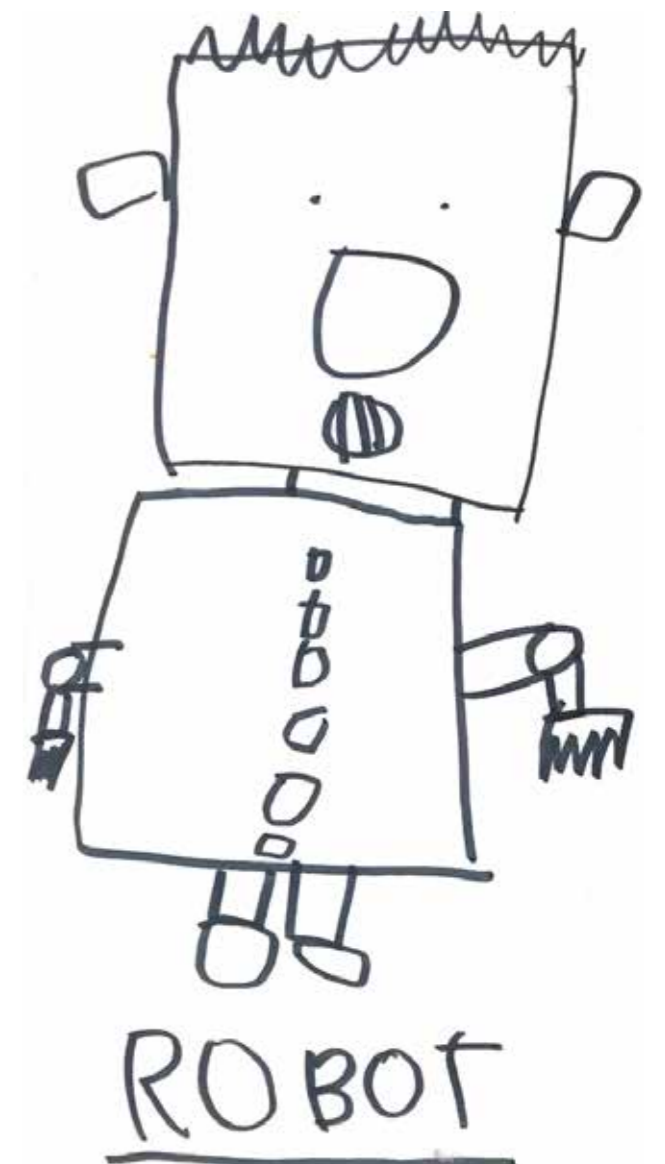


Photo 2: dessin du robot

EXEMPLE 2 : LE ROBOT APAISANT

Chez les enfants autistes, **l'angoisse** est un symptôme majeur. Celle-ci peut passer d'une légère anxiété à une très forte angoisse envahissant l'enfant, et l'empêchant de réaliser une tâche. J'avais remarqué la tension croissante d'une petite fille le jeudi. Elle se crispait, devenait irritable jusqu'à faire des crises d'agitation (cris, coups, pleurs), qui nécessitent l'intervention de trois adultes pour éviter qu'elle ne se fasse mal par ses gestes incontrôlés. Cette enfant était scolarisée à mi-temps dans une école élémentaire, et chaque vendredi matin, l'enseignant lui proposait une dictée (de cinq ou six mots). Cette dictée inquiétait beaucoup l'élève et expliquait sa réaction la veille.

Le robot devient l'avatar de l'adulte. L'adulte est une figure d'autorité, et malgré sa bienveillance, il évalue la qualité du travail de l'enfant. Souvent les enfants réalisent une tâche, non pour eux-mêmes, pour la satisfaction d'apprendre, mais pour faire plaisir à l'adulte, que ce soit l'enseignant, l'éducateur, le soignant, ou ses parents. Les enfants sont sensibles aux compliments. Ils les recherchent. C'est pourquoi ils redoutent de commettre des erreurs, et de s'exposer au jugement de l'adulte. Cela est particulièrement aigu chez les enfants autistes.

LA DICTÉE

Face à cette situation j'ai mis œuvre un dispositif dans lequel NAO a servi de tiers. Il « assiste » l'enseignant, ce qui permet de trianguler la relation avec l'enfant, et ainsi d'accéder à de nouvelles formes d'interactions. Chaque jeudi, nous préparions la dictée. La petite fille était assise, avec son album et son cahier, face à NAO. Je pilotais NAO avec mon ordinateur, de mon bureau, à distance. Le fait que l'adulte ne soit plus en relation duelle avec l'enfant induit une réduction significative des manifestations anxieuses.

NAO saluait l'enfant et lui proposait de faire la dictée. L'élève acquiesçait toujours. Ainsi j'installais un rituel, rassurant l'enfant. Chaque séance de dictée se déroulait ainsi, immuablement, sans surprise. Puis, NAO énonçait le premier mot. L'élève l'écrivait

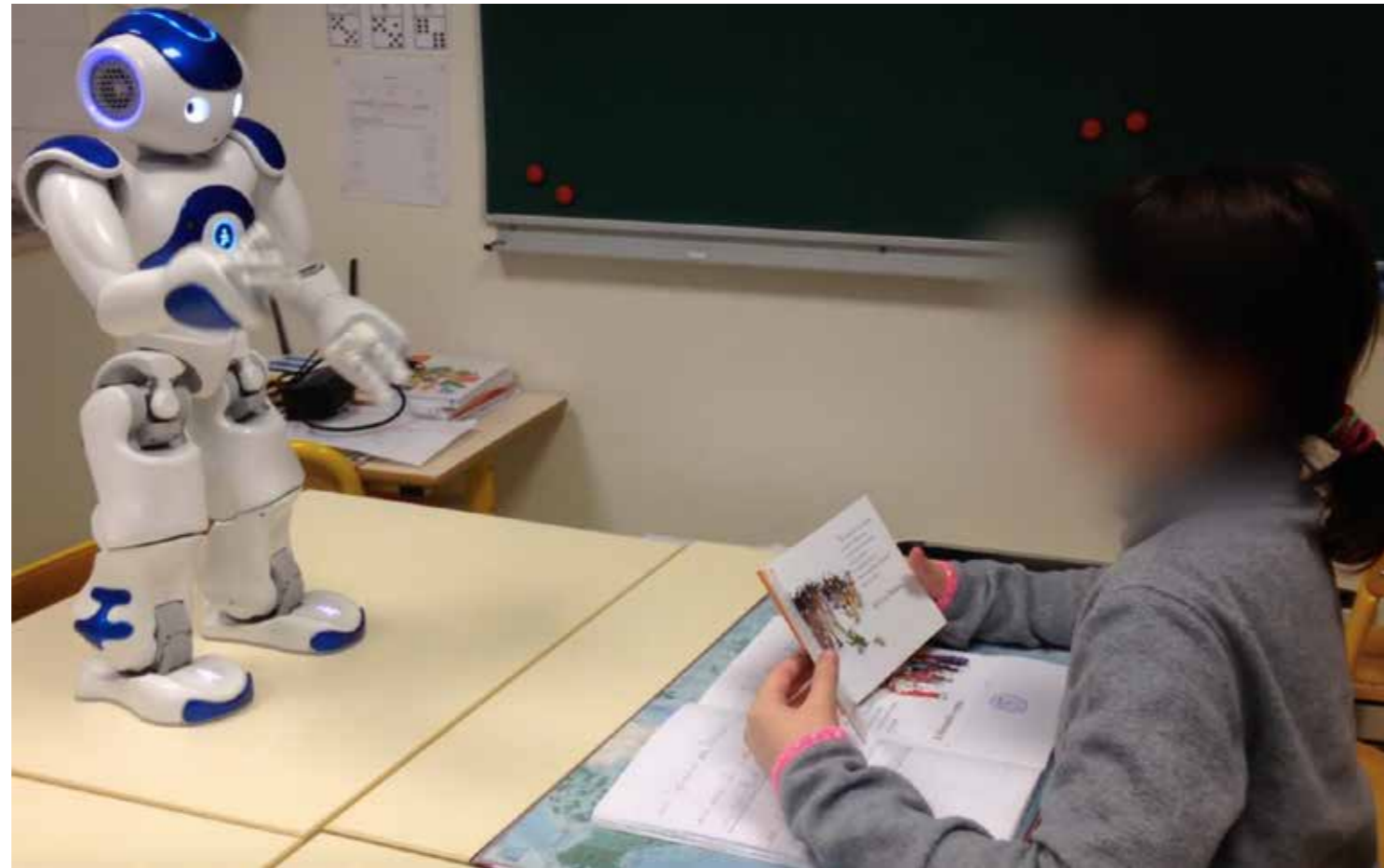


Photo 3: au dessus
Photo 4: à gauche

dans son cahier. Etc. A chaque mot écrit, NAO félicite l'enfant. A la fin de la séance, NAO remerciait l'enfant pour son courage, et lui proposait une petite comptine en anglais. Rapidement, les crises du jeudi ont cessé.

LA LECTURE

Un des autres champs d'applications possibles avec NAO est le travail de l'apprentissage de la lecture. On voit sur les photos 3 et 4 NAO lisant un texte à

l'enfant. Cette dernière, très attentive, écoute NAO, et suit le texte sur son album, parfois en s'aidant du doigt. Souvent elle répète les mots prononcés par NAO. NAO enrichit les outils et matériaux pédagogiques classiques utilisés en classe (tableau, ardoise, cahier, manuel, livre, album...). Il ajoute des possibilités supplémentaires dans un jeu d'aller-retour. L'enfant écrit dans son cahier ce que dicte NAO ; il lit silencieusement sur son album l'histoire oralisée par NAO, etc. NAO renforce même les applications des tablettes numériques, ajoutant la dimension spatiale et le mouvement.

EXEMPLE 3 : LA PRISE DE RISQUE

Apprendre, c'est prendre un risque. Le risque de commettre une erreur, mais au-delà, l'appréhension de ne pouvoir surmonter, dépasser, cette erreur. Pour nombre d'enfants autistes, la conséquence d'une erreur est la très forte perte d'estime de soi. L'enfant pense qu'il est nul, qu'il ne vaut rien, qu'il n'y arrivera jamais, que ce n'est pas la peine d'essayer à nouveau. Ce sentiment authentique et profond, exacerbé par une anxiété croissante, est majoré par la présence de l'adulte-juge.

Sur la photo 5 (en couverture d'article), on voit un garçon imiter NAO dans une posture de déséquilibre. Jusqu'à présent cet enfant n'osait pas décoller le pied du sol, par peur de chuter, et inconsciemment de rejouer cette chute indéfiniment. Pour la première fois, en prenant exemple sur NAO, il a osé se mettre en déséquilibre, risquer la chute, et au final, a réussi une posture d'équilibre. NAO a permis une renarcissisation, une réassurance de ce garçon. Cet enfant a gagné en confiance.

Le voilà prêt à tenter d'autres postures, de plus grande amplitude, progressivement.

Quelques mois plus tard, prenant des postures de danse, il me dit :

Regarde, je suis devenu plus souple !

Tu te rappelles, quand tu as pris des positions d'équilibre avec NAO ?

Oui, d'ailleurs il faudra que je me réentraîne avec NAO...

L'IMITATION

On apprend tous par imitation. NAO est un support d'imitation. Ici, des enfants reproduisent les mouvements de NAO au cours d'une séance de yoga : en l'occurrence (photo 6), la posture de la montagne. L'aspect ludique de cette séance de psychomotricité apporte à ces enfants détente, motivation et joie.

A travers ces quelques exemples, les observations rassurantes tirées des interactions des enfants avec NAO, ont pu répondre aux différentes inquiétudes des soignants en démontrant que :

- Les enfants différencient NAO le robot d'un humain.
- **NAO permet de réduire l'angoisse et donc donne la possibilité à l'enfant de prendre des risques, et d'être en de meilleures dispositions pour l'apprentissage.**
- Sa forme humanoïde mais simplifiée amorce une première forme d'interaction.

NAO a donc toute sa place dans l'hôpital en tant que médiation thérapeutique. Je souhaite que, dans un avenir proche, les soignants s'approprient cet outil et développent eux-mêmes des ateliers intégrant NAO, ou qu'il suscite un élan de créativité, un nouveau souffle...

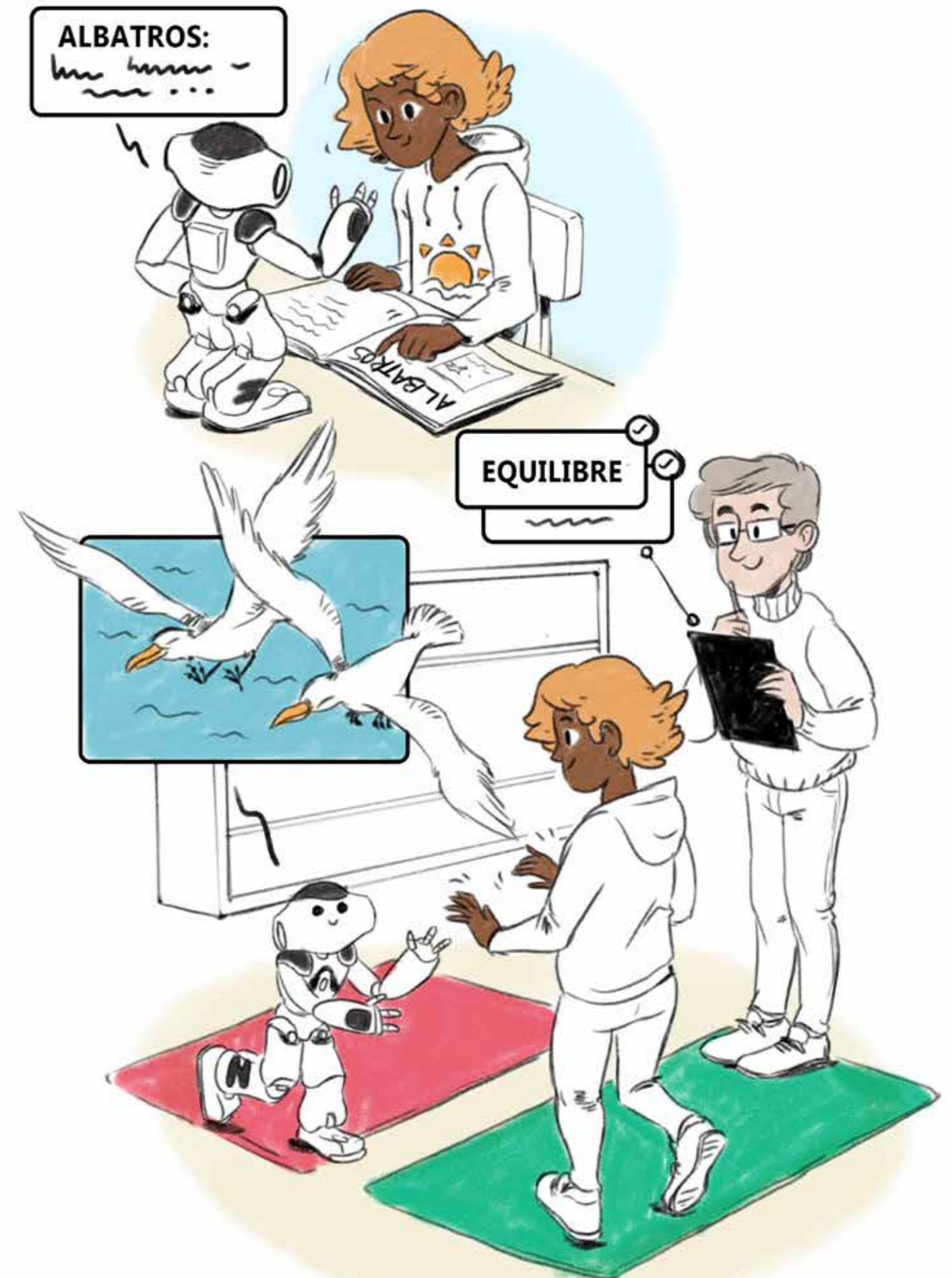


Photo 6

QUELQUES RECOMMANDATIONS POUR ACCUEILLIR NAO DANS DE BONNES CONDITIONS :

En résumé, voici des conseils destinés aux futurs utilisateurs pour une meilleure intégration d'un NAO au sein d'une équipe :

- laisser du temps au temps
- accueillir interrogations et inquiétudes autour du robot
- informer sur les réelles capacités du robot, mais aussi ses limites (les bugs répétés par exemples), en s'appuyant sur des données scientifiques, pour déconstruire les fantasmes.
- faire manipuler le robot pour une meilleure représentation



Dr. Fady Al Najjar

Interventions personnalisées
d'un robot avec des enfants autistes :
une méthodologie automatisée
pour l'évaluation de leur attention.

INTRODUCTION

Les robots pourraient-ils nous aider à améliorer les aptitudes sociales des humains et développer leurs capacités d'attention et d'interaction ? Seraient-ils capables d'apprendre à un individu comment nouer des relations plus profondes avec d'autres humains et développer tout son potentiel d'empathie ? Ces questions revêtent une importance toute particulière pour les personnes qui, pour des raisons médicales, ne parviennent pas à tisser des liens sociaux typiques avec les autres, à l'instar des personnes autistes pour lesquelles l'attention sociale requiert des efforts et peut être source d'irritation.

Dans le cadre de cette étude, un système simple d'évaluation autonome reposant sur des signaux liés à l'attention a été élaboré et mis en œuvre, en association avec un système d'interaction semi-autonome adapté amélioré basé sur les centres d'intérêts des patients. Ces deux systèmes ont été déployés dans un robot humanoïde autonome interactif. Le robot avait pour fonction d'accroître le niveau d'attention et d'engagement des sujets au cours de séances d'interaction. Améliorer les capacités d'attention et d'interaction des patients atteints d'un trouble du spectre de l'autisme peut améliorer leur évolution en milieu scolaire en les habituant progressivement à participer à des séances d'interactions sociales de plus en plus longues. L'approche proposée repose sur un équipement simplifié associé à des améliorations apportées au système interne du robot dans le but de cibler simultanément plusieurs signaux d'interaction et d'attention. Cette technique peut servir d'intervention efficace sur les troubles du spectre de l'autisme afin de faciliter les interactions adaptatives avec les patients en fonction de leur statut tout en impliquant le moins de biais subjectifs possible. Dans le cadre de cette étude observationnelle, le système proposé a été testé auprès d'un groupe d'enfants atteints de troubles du spectre de l'autisme. L'étude observationnelle a permis de démontrer que le système d'évaluation proposé traduit le niveau d'attention du patient avec une précision de 82,4 %.



L'article présente un système de thérapie et d'évaluation assisté par un robot destiné aux enfants souffrant d'un trouble du spectre de l'autisme (TSA) léger à modéré et présentant des capacités verbales minimales. Les séances d'interaction avec le robot ont pour objectif d'améliorer les capacités scolaires des patients atteints d'un TSA en augmentant la durée et la qualité de leur attention. Le système repose sur un robot NAO équipé d'un écran mobile destiné à afficher des signaux émotionnels et à déclencher des réponses émotionnelles adaptées. L'interaction est semi-autonome et implique une intervention humaine minimale. Elle se produit dans le cadre d'un scénario dynamique adaptatif composé de 13 sections. Le scénario permet de procéder à une personnalisation adaptative en fonction des précédents scores d'attention de chaque patient. Le score d'attention est calculé de façon autonome par le système à partir des réponses sonores, des signaux d'attention visuelle portée au visage et des signaux d'attention conjointe des patients. Le système de notation permet de démontrer que le système d'interaction personnalisé améliore les capacités d'engagement et d'attention des patients souffrant d'un TSA. Une étude à long terme a été menée à l'issue d'une étude pilote impliquant 6 enfants souffrant d'un TSA sur un total de 11 inclus.

ASPECTS COMPORTEMENTAUX DES ENFANTS SOUFFRANT D'UN TSA

- Les enfants souffrant d'un TSA ne parviennent pas à développer de compétences de communication et d'interactions sociales. Outre le fait que cela a un impact considérable sur leur développement humain, leur apprentissage et leur bien-être, cela a aussi des conséquences sur nos possibilités de leur répondre.
- Les neurologues soulignent souvent que des parties des systèmes cérébraux sociaux des enfants souffrant d'un TSA sont hyporéactifs aux stimuli sociaux et aux signaux liés au regard. Cette hyposensibilité est à l'origine de leur absence de réaction aux signaux sociaux émis par d'autres individus ainsi qu'aux difficultés associées à percevoir le regard d'autres individus comme important sur le plan social, raison pour laquelle ces enfants établissent rarement un contact visuel. Éviter le contact visuel constitue un

obstacle à l'attention sociale et, par conséquent, engendre des difficultés à communiquer et interagir avec les autres, ce qui peut être à l'origine de problèmes sociaux et scolaires conséquents.

- Compte tenu du nombre croissant d'enfants auxquels est diagnostiqué un TSA à l'échelle mondiale, de la hausse des coûts associés pour la société et de l'absence de consensus au niveau des protocoles diagnostiques et thérapeutiques, une prise en charge efficace des TSA est considérée comme une urgence de santé publique et fait l'objet de recherches ouvertes.

STIMULER LES INTERACTIONS AVEC LES ENFANTS SOUFFRANT D'UN TSA GRÂCE AUX ROBOTS HUMANOÏDES

Les avancées réalisées en matière d'intelligence artificielle et de technologies robotiques se sont avérées prometteuses pour stimuler les interactions avec les enfants souffrant d'un TSA et procéder à des évaluations plus régulières.

- Les robots viennent combler le vide entre thérapies humaines conventionnelles et jouets pour enfants, et peuvent se **répéter indéfiniment sans se lasser**, ce qui élimine les éventuelles problématiques liées à l'intensification de la formation.
- Les robots anthropomorphiques sont conçus pour imiter des caractéristiques, émotions et comportements humains tout en simplifiant leur complexité informationnelle, réduisant ainsi la charge cognitive et émotionnelle et limitant le stress potentiel pour le patient.
- Par conséquent, on estime que les robots peuvent améliorer la qualité et augmenter la durée de l'engagement des patients pendant les interactions sociales, et stimuler davantage leurs capacités sociales et cognitives.



- Mais surtout, les robots peuvent réaliser automatiquement des évaluations permettant de déduire des scores.
- Les robots recueillent en permanence des informations utiles au diagnostic, ce qui permet de constituer des bases de données exploitables contenant des données liées aux évaluations des patients et à leurs interactions passées. Ces bases de données peuvent ainsi aider les thérapeutes à personnaliser leurs interactions et leurs évaluations.
- Par rapport aux évaluations traditionnelles, les méthodes assistées par la robotique permettent un suivi plus complet et précis d'un plus grand nombre de patients représentant une plus large palette de besoins et de situations spécifiques hétérogènes.
- Une telle personnalisation peut être appliquée à l'échelle locale, au sein de la même équipe ou clinique ou encore à l'échelle mondiale, ces ensembles de données cliniques étant accessibles pour les professionnels quelle que soit leur localisation au moyen de systèmes interopérables.

Les techniques robotiques actuelles restent toutefois limitées à plusieurs égards. La plupart des systèmes préprogrammés ont un comportement fixe (c'est-à-dire qu'ils sont incapables de procéder de façon autonome à des interactions adaptables en boucle fermée), ne sont pas adaptés aux besoins individuels des patients, et ne permettent pas de suivre l'évolution de leurs progrès.

- Pour ces raisons, les robots semi-autonomes et adaptatifs sont particulièrement utiles pour reconnaître les signaux comportementaux des enfants et y répondre de manière adaptée.
- D'autre part, les systèmes adaptatifs semi-autonomes, particulièrement les systèmes complexes, nécessitent des équipements très performants, notamment les processeurs graphiques, pour traiter les données en temps réel et adapter les interactions.
- Sans compter que les robots et systèmes d'un tel niveau d'autonomie et de complexité ne sont pas encore fiables en dehors de cadres de recherche contrôlés.

L'article est organisé de la manière suivante : les sections 2 et 3 décrivent en détail le système d'évaluation et de thérapie proposé, y compris l'installation et les procédures expérimentales. Les sections 4 et 5 présentent une analyse des résultats de l'étude et abordent leurs conséquences dans le contexte des objectifs de recherche. La section 6 résume brièvement les méthodes de l'étude et ses principales conclusions, et aborde le champ d'application de futures recherches.

MÉTHODOLOGIE

Participants

11 patients de sexe masculin diagnostiqués comme souffrant d'un TSA léger à modéré (selon l'Échelle d'évaluation de l'autisme chez l'enfant [24], constituant globalement une échelle diagnostique ; CARS2 de 30 – 36,5) âgés de moins de 16 ans, dont l'âge moyen était de 9,03 ($\pm 2,56$) ans, constituaient les participants à l'étude. Seuls les patients ayant des capacités de réponse verbale ont été pris en compte, les participants ayant été initialement invités à comprendre une communication verbale et à y répondre à minima par « oui » ou « non ».

Conception du système

1. un Robot NAO équipé d'un téléphone mobile au niveau de la zone thoracique – L'approche d'intervention robotique dans le diagnostic et la prise en charge de l'autisme telle que nous la proposons repose sur un robot humanoïde NAO (Aldebaran/Softbank) spécialement conçu à cet effet, équipé d'un écran additionnel au niveau de sa zone thoracique permettant d'afficher des caractéristiques faciales.

Fig. 1. Robot NAO équipé d'un téléphone portable fixé à un support au niveau de la zone thoracique et destiné à afficher des caractéristiques faciales via l'application Emotions Selector.

Fig. 2. (a) Vue latérale du support conçu sur mesure pour NAO, et support pour téléphone mobile fixé. (b) Vue arrière du support conçu pour NAO, et bande velcro destinée à la fixation du système.

2. Système d'évaluation de l'attention – Cet article présente une méthode simple et innovante d'évaluation diagnostique numérique ne nécessitant aucune caméra externe ni matériel de surveillance. Cette méthode exploite les capacités de traitement de l'image.



Figure 1.

Naoqi du robot NAO ainsi que les capacités du téléphone mobile pour détecter les signaux d'attention émis par le patient et procéder à des mesures numériques. Tous les signaux d'attention sont détectés et actualisés à chaque itération de l'algorithme du système, fonctionnant à une vitesse moyenne de 1 Hz, et chaque score est mis à jour en fonction de certains paramètres tel que détaillé ci-dessous.

- **Score d'attention** – La caméra du téléphone mobile a été configurée en tant que caméra IP, l'application de caméra IP étant utilisée pour la reconnaissance faciale afin de calculer et d'agrèger un score d'attention.



Figure 2.

- **Score d'attention conjointe** – Le score d'attention conjointe évalue dans quelle mesure les réponses du patient sont synchronisées avec les actions motorisées et les demandes du robot.
- **Réponse sonore** – Une application mobile baptisée WO Mic active le micro du téléphone mobile en tant que micro IP, tandis que WO Mic est configurée comme entrée audio d'un algorithme de module de réponse sonore dans le logiciel client sur l'ordinateur.
- **Détection des émotions** – Le système d'évaluation analyse l'état émotionnel du patient sur la base de ses expressions faciales.

3. Scénario dynamique adaptatif et système de notation – Un scénario d'interaction dynamique est exploité, utilisant les scores donnés en temps réel par le système d'évaluation pour adapter les interactions en fonction des résultats de l'interaction précédente. Cette méthode permet de poursuivre les sessions d'interaction et d'évaluation en limitant les interventions humaines dans le déroulé du scénario. Elle donne, en outre, au technicien un certain contrôle en lui permettant d'agir sur les réponses du robot en plus de l'interaction en temps réel afin de garantir l'interactivité et la pertinence du scénario. Celui-ci est divisé en différentes sections contenant chacune des dialogues d'interaction, mouvements et jeux de rôle autour d'un sujet donné tel que se dire bonjour et faire connaissance, des activités ludiques et des chansons, ou encore des questions et demandes suscitant la conversation.

4. Interface de commande – Nous avons réduit les besoins d'intervention humaine afin que les séances assistées par un robot soient plus faciles à reproduire dans les environnements cliniques et à domicile, la reproductibilité étant essentielle pour que le système puisse être utilisé par les thérapeutes et les parents sans l'intervention d'un technicien.



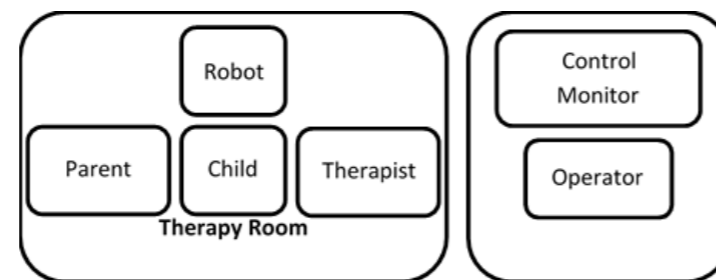
Figure 6.(a).

Fig. 6. (a) Aménagement de la salle de thérapie et d'interaction. (b) Représentation schématique de l'installation expérimentale.

INSTALLATION EXPÉRIMENTALE

Les expériences ont été menées au centre de réadaptation de l'hôpital Al Ain, en collaboration avec des thérapeutes spécialistes de l'autisme. Le technicien, qui n'est pas thérapeute, était assis dans une salle de commande séparée et surveillait les interactions entre le robot et l'enfant à distance tout en commandant le système d'évaluation. Le robot était placé debout sur une table dans la salle de thérapie et d'interaction afin qu'il soit au même niveau que le patient assis sur une chaise, comme illustré sur la Fig. 6(a). Les intervenants étaient le robot, le patient, le thérapeute (amené à intervenir en cas de situation dangereuse) et les parents (s'ils pouvaient être présents), tel qu'illustré sur la Fig. 6(b). Une caméra filmait et enregistrait les sessions d'interaction afin que les parents puissent les visionner ultérieurement s'ils ne pouvaient être présents.

Figure 6.(b).



1. Protocoles expérimentaux – Le robot était présenté à l'enfant comme s'il s'agissait d'un nouvel ami. L'expérience débutait en demandant à l'enfant de s'asseoir sur une chaise face au robot NAO et de parler avec lui. Le thérapeute devait remplir le formulaire d'évaluation thérapeutique pendant l'expérience s'il en avait la possibilité, ou plus tard en visionnant la vidéo. À l'issue de la séance, le parent était invité à remplir le formulaire de commentaires des parents.

2. Visualisation du score en temps réel – Les scores cumulés d'attention, d'attention conjointe et de réponse sonore étaient présentés en temps réel sur un graphique unique distinct afin de permettre au technicien de visualiser le niveau d'interaction entre le patient et le robot.

DISCUSSIONS

- Les résultats relatifs aux progrès à long terme en matière d'interactions montrent que l'intervention robotique dans la prise en charge de l'autisme est très bénéfique pour les patients. **Ceux-ci apprécient les séances de thérapie et accordent un niveau d'attention suffisant pour apprendre ou développer une compétence à chaque séance.** Des changements notables au niveau de leur comportement et de leurs compétences étaient visibles au bout de quelques semaines, le temps qu'ils se soient habitués à la voix et aux mouvements du robot. Une à deux sessions en moyenne étaient nécessaires pour briser la glace, avant que les patients interagissent librement avec le robot et que leur niveau d'intérêt reste stable.
- Les patients autistes ont tissé des liens solides avec le robot, qu'ils considéraient comme un ami les encourageant à supporter les séances de thérapie.** Lors d'une séance, l'un des patients a amené avec lui quelques amis afin qu'ils rencontrent le robot, qu'il leur a présenté comme un nouveau camarade. Nous avons noté que les thérapeutes hospitaliers sont allés plus loin en incitant leurs patients à effectuer des exercices de physiothérapie fatigants en leur promettant une séance d'interaction avec le robot en récompense. Les thérapeutes ont souligné que les patients parlaient chaque jour du robot et attendaient avec impatience leur prochaine séance avec NAO.
- Par ailleurs, la plupart des parents ont indiqué que leur enfant imitait et répétait bon nombre des réponses du robot à domicile, et que certains enfants posaient à leurs parents chez eux les questions que le robot leur avait posées pendant la séance. Cinq parents sur six ont affirmé estimer que leur enfant obtenait d'aussi bons résultats à la maison.
- L'évaluation du thérapeute montre une tendance croissante, le niveau d'attention de tous les patients s'améliorant au fil du temps.

- La prédiction émotionnelle s'avère particulièrement utile pour comprendre l'état émotionnel des enfants dans différentes sections de scénario. Cartographier les émotions prédites à l'aide du score d'attention et des sections de scénario associées permet de comprendre les réponses faciales du patient à certains sujets précis, et pourrait faciliter l'identification de difficultés liées à la capacité de réponse émotionnelle et à d'autres caractéristiques similaires de l'autisme.

Cette étude avait pour objectif de développer une technique simple d'évaluation et d'interaction assistée par un robot dans le but de préparer ces systèmes à une présence durable dans les centres de réadaptation pour personnes autistes. Ce système peut être utilisé par les thérapeutes et les parents à l'issue d'une brève formation. Le système proposé est facilement reproductible grâce à sa simplicité et sa facilité d'utilisation. Il est en outre capable d'être utilisé simultanément avec un grand nombre de patients. Par ailleurs, il peut être un complément dans la prise en charge des patients qui ne peuvent poursuivre les séances de thérapie traditionnelles ou qui ont besoin de séances plus fréquentes que ce que sont en mesure de proposer les centres de réadaptation en raison du manque de thérapeutes disponibles.

En raison de l'hétérogénéité des troubles du spectre de l'autisme, un même scénario d'intervention prédéfini ne peut répondre aux besoins de tous les patients. Le scénario dynamique adaptatif et la technique de notation proposés permettent d'instaurer des interactions personnalisées pour chaque enfant. De telles techniques adaptatives se sont avérées efficaces dans le maintien de l'engagement social lors d'interactions enfant-robot durables [28]. Les techniques utilisées optimisent l'engagement, qui constitue l'un des plus importants facteurs prédictifs de la réussite de l'apprentissage [29], en s'appuyant sur un robot mobile ludique pour stimuler les compétences sociales des enfants souffrant d'un TSA. Par ailleurs, le système proposé réduit la subjectivité du thérapeute dans l'évaluation et permet une intervention précoce.

L'étude actuelle présente plusieurs limites qui doivent être soulignées pour justement les résoudre lors de futurs développements et intégrations à venir. Tout d'abord, seules les interactions individuelles sont possibles, pour permettre à l'enfant de se focaliser exclusivement sur le robot et de permettre au système d'enregistrer ses signaux d'attention. Ensuite, l'étude a inclus un nombre relativement restreint de patients, et davantage de résultats pourraient être obtenus si plus de patients étaient inclus. Par ailleurs, le système d'interaction proposé ne s'applique qu'aux patients souffrant d'un TSA léger à modéré, et possédant a minima des capacités de réponse verbale minimales. Certains enfants pourraient se laisser distraire par l'écran du téléphone mobile fixé sur le robot car ils ont l'habitude de jouer sur ce type de dispositifs, et cela pourrait faire baisser leur score d'attention. Cette problématique ne s'est présentée qu'au début des premières séances, lorsque les enfants examinaient les caractéristiques du robot, et a été partiellement résolue en fixant l'écran de sorte que l'enfant ne puisse pas le manipuler.

CONCLUSIONS

Un système adaptatif d'intervention robotique pour l'évaluation et la prise en charge des TSA a été conçu pour une utilisation clinique et testé dans le cadre d'une étude observationnelle auprès de six patients souffrant d'un TSA dans un centre de réadaptation pour personnes autistes. Les résultats montrent que le système d'évaluation proposé est capable de représenter de façon précise – résultats concordants à plus de 80 % avec les évaluations des thérapeutes – les niveaux d'attention des patients souffrant d'un TSA léger à modéré et disposant de capacités de communication verbale simples. Le système adaptatif dynamique d'interaction proposé a permis d'améliorer considérablement les niveaux d'attention de la plupart des patients dans le cadre de thérapies à long terme.

Sur la base de ces résultats, nous estimons qu'un système d'intervention robotique correctement conçu pourrait améliorer les niveaux d'attention d'enfants souffrant d'un TSA dans la mesure où il accroît leur engagement et, par là même, les aide à développer leurs compétences sociales et en communication. En outre, un tel système peut faciliter l'évaluation des symptômes de l'autisme en mettant à la disposition des thérapeutes un ensemble efficace de méthodes quantitatives objectives et fiables. De par sa nature flexible, solide, convivial et facilement personnalisable, nous estimons que ce système pourrait être utilisé en toute simplicité par les parents à domicile. Non seulement le système ne nécessite aucune expérience technique préalable, mais grâce au caractère évolutif de l'intervention robotique, il permet de traiter efficacement un grand nombre de patients en augmentant la fréquence des séances pouvant être proposées aux enfants tout en mettant en œuvre des protocoles parfaitement reproductibles.

Certains auteurs avancent que l'exposition à la technologie numérique peut aggraver les symptômes sociaux de l'autisme chez les enfants et creuser leurs lacunes tout en augmentant potentiellement le risque qu'ils développent des troubles obsessionnels compulsifs. Les résultats de notre étude viennent nuancer ces inquiétudes. Notre recherche apporte des preuves observationnelles solides selon lesquelles une conception adaptée et l'utilisation encadrée de robots dans la prise en charge de l'autisme peuvent permettre aux patients souffrant d'un TSA de se sentir spontanément impliqués dans des formes basiques d'interaction sociale et, au moins en apparence, d'être considérablement moins angoissés que lors d'interactions typiques avec des humains. Nous estimons que l'un des facteurs ayant contribué à ce résultat positif est le fait que les robots permettent des formes efficaces d'engagement interactif pseudo-social tout en limitant la complexité du contexte social, allégeant ainsi la charge émotionnelle et cognitive excessive pesant généralement sur les enfants autistes. Selon notre hypothèse, cette technologie offre aux enfants souffrant d'un TSA l'opportunité de se familiariser avec les interactions sociales dans un contexte qu'ils trouvent agréable et rassurant, à un rythme qu'ils peuvent contrôler à leur aise au moyen de tâches qu'ils ont la possibilité de répéter sans hâte. C'est la raison pour laquelle nous pensons que nos interventions assistées par robots peuvent contribuer au développement des compétences sociales de sujets souffrant d'autisme et leur en apprendre de nouvelles, favorisant ainsi leur capacité à interagir avec d'autres humains.

Perspectives

Les développements futurs du système proposé devront avoir pour objectif d'améliorer la précision de l'évaluation ainsi que l'engagement des patients avec les robots, élargissant ainsi l'éventail de types d'interactions disponibles et augmentant le degré de liberté propre à ce type d'interactions. Plusieurs caméras pourraient être utilisées lorsqu'une installation fixe d'observation est possible (en tenant compte des spécificités de l'environnement clinique) afin de préserver la mobilité du robot tout en augmentant ses capacités d'interaction. En outre, il serait judicieux d'inclure un grand nombre de patients pour tester plus en détail toutes les fonctionnalités du système et les adapter pour en améliorer les performances. Enfin, il serait utile de voir si un avatar virtuel affiché sur une tablette pourrait réduire les coûts engendrés par l'utilisation de robots mobiles physiques, ce qui simplifierait l'utilisation du système interactif à domicile. Toutefois, nous estimons que l'interaction avec un avatar virtuel serait moins efficace, tant en termes de qualité qu'en termes de durée, par rapport à l'interaction entre l'enfant et un robot physique.

NAOtismIA

PARMI LES PARTENAIRES DE CETTE EXPÉRIMENTATION FIGURENT :

Des partenaires institutionnels :

ARS de Bourgogne-Franche-Comté
INSHEA (institut national supérieur de formation et de recherche pour l'éducation des jeunes handicapés et les enseignements adaptés) de Suresnes

Des partenaire du secteur médico-social :

ACODEGE (association gestionnaire de l'unité d'enseignement maternelle autisme implantée à l'école maternelle Fontaine aux Jardins de Quétigny, Côte d'or)

Des partenaires entreprises :

ERM Robotique : développement des applications
SoftBank Robotics : développement hardware de NAO
Microsoft : mise à disposition d'un espace collaboratif et de stockage

L'équipe :

Pierre-Jean FAVE
Inspecteur de l'Education Nationale ASH, conseiller technique de la Rectrice
pierre-jean.fave@ac-dijon.fr

Pascal BOURGOIN
Responsable opérationnel délégation académique au numérique éducatif
pascal.bourgoin@ac-dijon.fr

Fleur STAWINSKI
Educatrice spécialisée Unité d'enseignement maternelle autisme
fleur.stawinski@acodege.fr

Pauline AUDRY
Enseignante spécialisée Unité d'enseignement maternelle autisme
pauline.audry@ac-dijon.fr

COMMENT LES ROBOTS HUMANOÏDES ENCOURAGENT L'ÉMERGENCE DE COMPORTEMENTS NÉCESSAIRES À LA COMMUNICATION ET À L'INTERACTION

Le projet NAOtismIA s'inscrit dans le cadre de la stratégie nationale française sur l'autisme dont l'engagement n° 2 est d'intervenir précocement auprès des enfants de moins de 7 ans.

L'objectif de ce projet est d'aider les enfants âgés de 3 à 5 ans qui présentent des troubles du spectre autistique à mieux communiquer lors de leurs interactions avec des enfants du même âge et les adultes. L'idée est de travailler dès le plus jeune âge, profitant de la plasticité cérébrale pour inscrire durablement des progrès dans les échanges et la communication avec autrui.

Ce projet est mené par le rectorat de l'académie de Dijon et la DRNE de la région académique de Bourgogne-Franche-Comté.



OBJECTIF :

L'objectif est double et consiste à utiliser NAO comme une aide aux apprentissages et aux interactions sociales afin de faire un possible transfert entre les enfants TSA et les autres enfants d'école maternelle, entre les enfants avec autisme et les adultes (exerçant au sein de l'unité d'enseignement maternelle autisme et de l'école). L'équipe en charge de l'application du projet vérifie les résultats selon des observables tels que :

- **L'imitation motrice et verbale :** les enfants reproduisent des gestes simples sur les sollicitations de NAO ainsi que des phrases à but communicationnel
- **Le regard :** l'orientation du regard des enfants en direction des yeux de NAO suite aux consignes verbales du robot
- **La compréhension :** réponse et coopération de l'enfant suite aux sollicitations et/ou consignes de NAO.

PLANNING DE L'EXPÉRIMENTATION :

L'expérimentation se déroule sur 3 années de 2017 à 2020 et débute à l'UEMA (Unité d'Enseignement en Maternelle Autisme) de Quétigny (21). Pendant un an, l'équipe se forme et se familiarise avec NAO. Les échanges avec les différents partenaires préparent chacun à prendre conscience des enjeux et tous contribuent au développement et à l'adaptation des applications sur les formes, les couleurs, le yoga. Ensuite, au cours de la 2ème année, NAO est intégré à l'UEMA (Unité d'Enseignement en Maternelle Autisme) avec les élèves. Débute alors la phase de test des applications avec des enfants bêta testeurs. Ces derniers passent leur dernière année dans le dispositif UEMA et n'engagent les résultats de l'expérimentation. Enfin, la 3ème année, l'expérimentation est consolidée dans la première unité tandis qu'un travail de sensibilisation commence dans une deuxième UEMA de l'académie ainsi que dans une classe maternelle ordinaire. Deux chercheurs de l'INSHEA contribuent à l'évaluation de l'expérimentation en sécurisant le protocole et en notant la plus-value de l'usage du robot par le biais d'analyse de courtes vidéos envoyés régulièrement via un process sécurisé. Une réflexion

est en cours d'élaboration au regard des éléments factuels remontés aux chercheurs.

MÉTHODOLOGIE ET EXPÉRIMENTATION DE NAO À L'ÉCOLE

Trois applications ont été spécifiquement développées pour cette expérimentation permettant de guider la journée des enfants avec NAO. Le matin, une activité rituelle rassemble la classe avec le « **Dire bonjour** » : NAO est alors assistant de l'enseignant qui l'interroge sur la date, la présence des enfants et des adultes.
- **Dire Bonjour**
Une comptine termine cette séance. Elle est très appréciée des élèves qui imitent davantage la gestuelle en regardant NAO.
- **Comptine.**

Ensuite, sont organisées des séances individuelles d'apprentissage du vocabulaire des objets avec l'application dédiée à la reconnaissance des couleurs et/ou des objets. Ces séances durent 5 minutes et se déroulent dans un espace organisé en box de travail pour rassurer l'élève. L'enfant est assis à une table où sont posés des objets de couleur et l'éducateur est assis derrière lui. NAO est installé debout sur une table en face de l'élève. NAO est instructeur et donne la consigne à l'élève ainsi que des retours en réaction à ses réponses. L'éducateur pilote NAO via la tablette qui a également le rôle d'instructeur physique pour impulser ou guider l'élève car il s'agit d'un apprentissage sans erreur. NAO intervient sur une phase d'apprentissage mais également en phase d'entraînement ou d'évaluation en fonction de la consigne.

Exemple des couleurs :

Chaque séquence est distincte : le travail se fait par l'association de la couleur à un objet, une carte, ou au mot couleur oralisé. L'apprentissage débute avec deux couleurs (jaune/rouge). Neuf étapes d'apprentissage se distinguent car une seule variable est modifiée à chaque fois. Chaque étape est travaillée plusieurs fois. Pour passer à l'étape suivante, l'élève doit avoir réussi seul, l'activité, lors de la première présentation et cela pendant trois séances successives, à des jours différents. Ces différentes étapes d'apprentissage peuvent être modifiées en fonction des besoins. L'enseignant et/ou les éducateurs s'adaptent en recommençant ou en avançant dans la progression des apprentissages, selon les retours de l'enfant.

FICHE SÉQUENCE

UEMA Fontaine aux jardins

Année scolaire 2018 / 2019

Étapes de mise en place de l'activité

| Étapes | Déroulement | Avec l'adulte | Avec NAO |
|---|---|--|--|
| Couleurs travaillées : jaune / rouge | | | |
| 1 | L'élève dispose de 2 objets identiques devant lui (1 jaune, 1 rouge). | L'adulte nomme la couleur demandée et montre une carte de la même couleur. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux indiquent la couleur. |
| 2 | L'élève dispose de 2 objets différents devant lui (1 jaune, 1 rouge). | L'adulte nomme la couleur demandée et montre une carte de la même couleur. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux indiquent la couleur. |
| 3 | L'élève dispose de 2 objets différents devant lui (1 jaune, 1 rouge). | L'adulte nomme la couleur demandée. La carte sera utilisée en deuxième intention si l'élève se trompe. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. Les yeux de NAO pourront être une aide si l'élève se trompe la première fois. |
| 4 | L'élève dispose de 3 objets différents devant lui : 1 jaune, 1 rouge + 1 d'une autre couleur (objet distracteur). | L'adulte nomme la couleur demandée. La carte sera utilisée en deuxième intention si l'élève se trompe. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. Les yeux de NAO pourront être une aide si l'élève se trompe la première fois. |
| 5 | L'élève dispose de 2 cartes (1 jaune, 1 rouge) devant lui. (début de la phase de généralisation). | L'adulte nomme la couleur demandée. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. |
| 6 | L'élève dispose de 3 cartes devant lui : 1 jaune, 1 rouge + 1 d'une autre couleur (distracteur). | L'adulte nomme la couleur demandée. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. |
| 7 | L'élève dispose de 4 objets devant lui (2 jaunes, 2 rouges). | L'adulte nomme la couleur demandée. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. |
| 8 | L'élève dispose de 5 objets devant lui : 2 jaunes, 2 rouges, 1 d'une autre couleur (distracteur). | L'adulte nomme la couleur demandée. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. |
| 9 | L'élève dispose de 10 objets devant lui : 4 jaunes, 4 rouges, 2 distracteurs. | L'adulte nomme la couleur demandée. | Nao nomme la couleur demandée et ses yeux restent neutres. |

ANALYSE :

Pour chaque séquence individuelle, 2 caméras filment. Chaque semaine, ce sont 28 vidéos (7 enfants, 2 fois par semaine) qui permettent d'évaluer les progrès des élèves.

Il y a 3 niveaux de compréhension du langage verbal :

- Niveau 1 : Consigne du mot : « rouge », « jaune »
- Niveau 2 : Consigne du verbe : « prends », « montre », « donne » + couleur demandée
- Niveau 3 : Consignes phrase : « prends l'objet jaune », « montre-moi la carte jaune ».

L'évaluation en séance se fait à l'aide d'une grille de cotation des acquis (grille construite en étroite collaboration avec Karine MARTEL et Philippe GARNIER, enseignants chercheurs de l'INSHEA) afin de valider les étapes d'apprentissage.

OBSERVATIONS Séquence : les couleurs

| | | | |
|-------------------|--|-----------|--|
| Prénom de l'élève | | Séance n° | |
|-------------------|--|-----------|--|

| Situation de travail | Date | Heure | Présence NAO | |
|----------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|
| | Contrat de travail | Renforteur utilisé | | Durée de la séance |
| Mode de jeu | Verbal + visuel | Verbal + visuel si erreur | Verbal | |
| Mode de difficulté | Niveau 1 (Mots) | Niveau 2 (Verbes) | Niveau 3 (Phrases) | |

| Observations |
|--------------|
| |



Fig.1 Montrer la couleur
Fig.2 Montrer la forme

L'observation montre que l'enfant apprécie NAO comme partenaire de communication pendant ces séances de travail. NAO est un outil de travail complémentaire qui donne de bons résultats, l'enfant montrant en effet davantage d'intérêt au regard des activités proposées.

Les enfants sont affectés dans le dispositif d'unité d'enseignement maternelle autisme pour une durée de 3ans à l'issue de laquelle il n'y aura pas forcément de poursuite de l'accompagnement de NAO dans leur cursus. Il est donc important de travailler à la généralisation des acquis et pour cela, le travail avec un éducateur sans NAO se fait selon le même protocole avec un effet miroir. L'enseignant ou l'éducateur emploie les mêmes mots, les mêmes gestes que ceux demandés par le robot. Etant donné que de grandes différences sont observées à la faveur de NAO, les enseignants et/ou éducateurs font en sorte d'être les plus « neutres » possible et font très attention à leurs expressions du visage ou à leur tenue vestimentaire afin d'aider les élèves dans leurs efforts de concentration. C'est à force de

répétition et de travail d'habitude des enfants que les enseignants et éducateurs parviennent à obtenir les mêmes compétences qu'ils ont montré spontanément avec NAO. Ces répétitions leur permettent de reproduire ces apprentissages à l'extérieur du cadre spécifique.

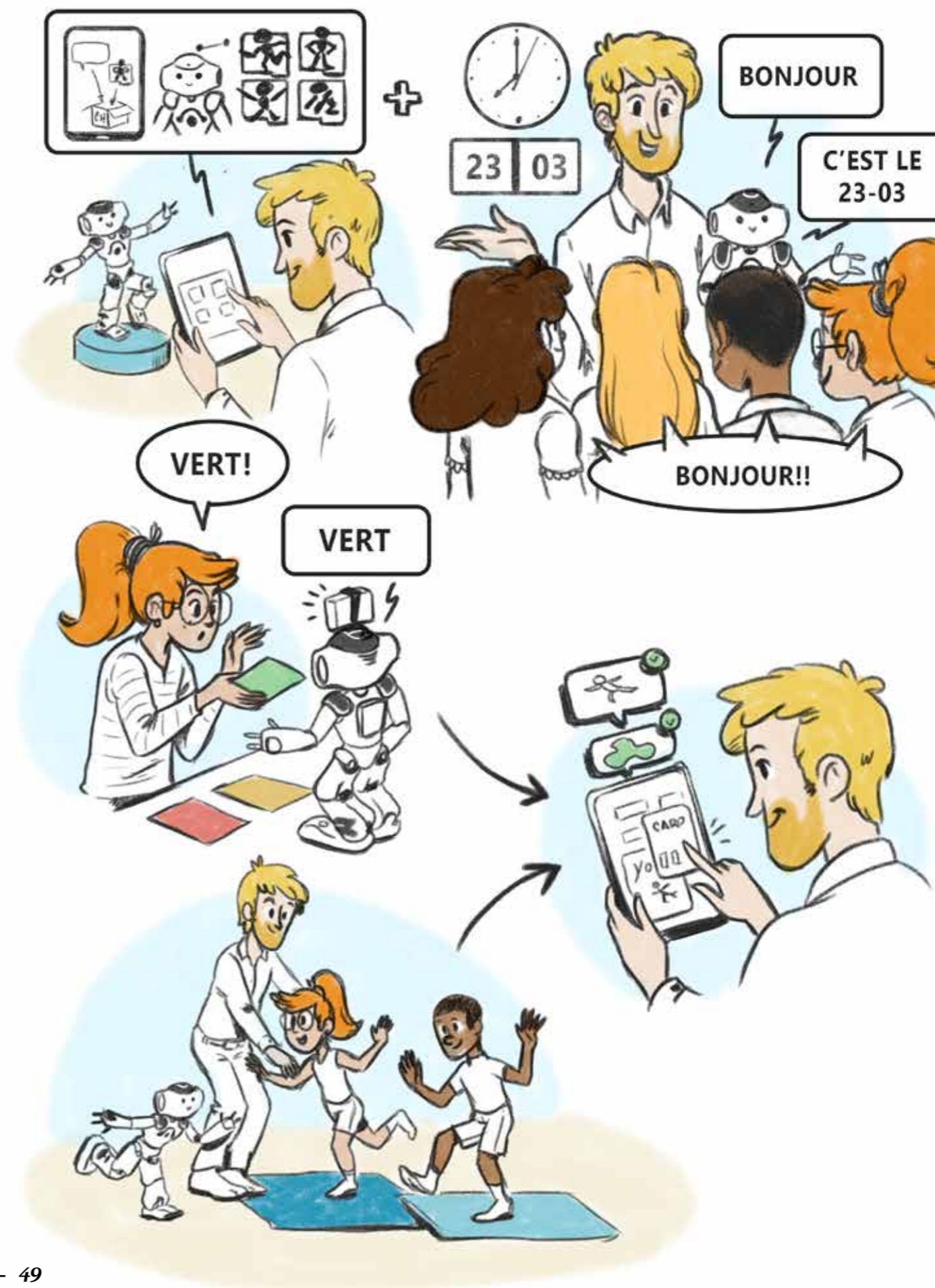
LES ACTIVITÉS DE MOTRICITÉ AVEC L'APPLICATION YOGA

L'objectif est d'entraîner les enfants à imiter les gestes et à développer leur répertoire moteur. L'application a été revue spécialement pour adapter des gestes à des enfants de 3 à 5 ans qui, de par leurs troubles, rencontrent des difficultés de motricité. Pour exemple, ce sont des gestes comme lever le bras ou faire un pas de côté que NAO demande aux enfants. Cette séance se déroule en individuel ou en binôme pendant 10 minutes. Là encore NAO est instructeur et donne la consigne de travail aux élèves ainsi que les feedbacks. Un adulte est incitateur physique pour un apprentissage sans erreur, il est en veille pour guider l'élève et pilote le robot via la tablette. NAO est le seul motivateur et renforçateur et intervient sur une phase d'apprentissage mais également en phase d'entraînement ou d'évaluation.

Il y a trois niveaux de compréhension :

- **Niveau 1 :** Consigne de départ « Fais pareil » puis action non verbale
- **Niveau 2 :** Consigne de départ « Fais pareil » puis consigne verbale (action + partie du corps).
- **Niveau 3 :** Consigne de départ « Fais pareil » puis consigne avec utilisation de phrases.

L'observation montre que le regard des enfants est vraiment dirigé sur le robot et sa gestuelle. (ajouter video)



Les enfants sont très sollicités par le bruit à l'école, la présence des autres, les parfums et sont perdus à leur arrivée. Ce que l'on constate, c'est que l'aide de NAO semble non négligeable sur la capacité de concentration de l'élève ainsi que sur la notion d'enrôlement à la tâche.

AskNAO Tablet pour l'autisme est une solution complète visant à accompagner les enseignants et éducateurs dans le soutien aux enfants présentant des troubles autistiques. Il s'agit d'une solution incluant le robot NAO accompagné d'un ensemble d'applications éducatives et ludiques écrites spécialement pour les besoins des enfants avec autisme.

L'INSHEA s'est joint à ce travail afin de mener une analyse poussée de ce qu'il se passe pendant les séances afin de valider (ou d'invalider) la plus-value apportée par le robot NAO en matière de progrès au regard des interactions et de la communication de l'enfant. Il s'agit d'analyser si l'apport de NAO est significatif auprès de l'enfant et de noter en quoi toutes les qualités que l'on peut attribuer au robot servent aux enfants. Il s'agit également d'envisager des solutions de transfert des acquis, s'il y a une amélioration dans le potentiel de communication, des comportements sociaux.

CONCLUSION

L'expérimentation menée en UEMA et classe de grande section de maternelle est encore en cours, la pandémie sanitaire ayant freiné les efforts de déploiement. Il est clair qu'il existe une volonté de pérenniser ce type de dispositif permettant de mesurer l'impact de cette technologie auprès d'enfants en difficulté de communication et d'interactions et d'intégrer l'expérimentation dans les apprentissages avec toutes les améliorations et constatations possibles.

Les résultats sont encore à l'étude et mériteront d'être observés à la lumière des données colligées sur l'ensemble des sites. Toutefois, les premiers résultats semblent montrer un vif intérêt tant de la part des enseignants et éducateurs associés à l'expérimentation, que de la part des élèves semblant modifier leur comportement lors de temps de contact avec le robot NAO. Le statut même du robot n'est pas à proprement parlé défini pour ces mêmes élèves, le considérant par moments comme étant un pair, par d'autres moments, comme étant un assistant de l'adulte lançant l'activité. Cette remarque devra être approfondie afin de déterminer en quelles circonstances, le robot se positionne sur tel ou tel statut.

Au-delà de ces premiers constats, l'expérimentation devra poursuivre l'analyse des éventuels progrès en terme d'interactions et de communication, fondement de l'étude.

Perspectives

MOVIA



INTRODUCTION

Les robots humanoïdes offrent une nouvelle lueur d'espoir aux élèves souffrant d'un trouble du spectre de l'autisme (TSA), une affection caractérisée par des difficultés liées aux interactions sociales et à la communication, ainsi que par des comportements répétitifs et restreints. Pour étudier ce sujet, un programme pilote a été lancé à l'initiative du réseau d'écoles publiques de la ville de West Hartford (West Hartford Public Schools, WHPS), dans le Connecticut, États-Unis, en collaboration avec Movia Robotics. Ce projet, qui s'est étalé sur une période de 3 ans, s'inscrivait dans le cadre du programme PreK-5 pour les enfants souffrant d'un TSA et avait pour but d'évaluer l'efficacité du robot NAO, produit par Softbank Robotics, en tant qu'outil éducatif et thérapeutique favorisant l'apprentissage scolaire et le développement social des élèves dans le cadre de leur plan d'enseignement individualisé (PEI).

L'étude pilote a conclu à l'existence d'une interaction positive entre les enfants et le robot, ainsi qu'à une amélioration de leur motivation, de leur engagement et du niveau d'acquisition des compétences ciblées. La robotique éducative a offert au corps enseignant un outil technologique éducatif efficace adapté aux capacités et besoins spécifiques des élèves souffrant d'un TSA.

Elle s'est avérée bénéfique sur le plan éducatif et thérapeutique pour les enfants concernés, notamment au regard de la motivation ainsi que de l'acquisition des compétences ciblées en matière d'engagement. Les élèves ont généralisé les compétences dans des environnements différents. Le réseau s'est appuyé sur ces conclusions pour intégrer la robotique éducative à son programme d'enseignement destiné aux enfants présentant des besoins spécifiques.

LES ASPECTS COMPORTEMENTAUX DES ENFANTS SOUFFRANT D'UN TSA

Selon plusieurs études menées dans ce domaine, les enfants souffrant d'un TSA présentent divers aspects comportementaux.

- Les enfants qui sont confrontés dès leur jeune âge à des troubles de l'imitation accusent également un certain retard dans le développement du langage avant leur entrée à l'école.
- Il existe une corrélation entre les déficits de l'imitation chez les enfants de tous âges souffrant d'un TSA et leurs autres compétences sociales telles que l'attention conjointe (c'est-à-dire la capacité à coordonner l'attention entre les individus et les objets) ou encore la compréhension des intentions des autres.
- Des études suggèrent que l'entraînement à l'imitation, par exemple l'imitation réciproque et par guidance visuelle, permet d'améliorer les compétences de communication sociale de ces enfants.
- Une autre étude tend à montrer que les enfants autistes à haut niveau de fonctionnement obtiennent moins de réponses correctes dans le cadre de l'imitation gestuelle, des gestes de commande et des gestes associés à l'utilisation d'un outil.
- Les conclusions indiquent qu'améliorer la performance motrice des enfants souffrant d'un TSA pourrait les aider à développer leurs compétences de communication sociale.
- Les enfants autistes à haut et bas niveau de fonctionnement, quel que soit leur âge, souffrent de troubles de la coordination motrice fine et globale, y compris au niveau des compétences motrices essentielles telles que la locomotion, l'usage des membres supérieurs ou encore l'équilibre statique et dynamique.
- Les enfants souffrant d'un TSA présentent des difficultés en matière d'attention conjointe, c'est-à-dire la capacité à focaliser son attention

sur celle d'un partenaire social. Des études laissent à penser que l'initiation spontanée de l'attention conjointe est considérablement altérée chez ces enfants. Des enfants âgés de 4 ans et souffrant d'un TSA ont vu une amélioration de leur réponse et de leur initiation de l'attention conjointe après avoir suivi un entraînement spécifiquement axé sur ce domaine.

- Une autre étude a montré que de jeunes enfants souffrant d'un TSA avaient davantage progressé au niveau du développement du langage suite à une intervention axée sur l'attention conjointe que des enfants d'un groupe témoin n'ayant suivi aucun entraînement.

LES DÉFIS POUR LE CORPS ENSEIGNANT

Un enseignant peut être confronté à de grandes difficultés en matière d'engagement dans un environnement de classe typique. Ces difficultés peuvent être à la fois de nature éducative et comportementale, et sont exacerbées par l'anxiété que peut éprouver en classe un enfant souffrant d'un TSA en raison de son incapacité à gérer différentes situations. Afin que ces enfants puissent bénéficier d'un enseignement adapté, les enseignants doivent trouver des manières très spécifiques et individualisées d'interagir avec eux. Pour qu'il reste assidu, un enfant souffrant d'un TSA a typiquement besoin d'un emploi du temps très structuré et prévisible, auquel peu de modifications sont apportées. En outre, d'autres aménagements au niveau de l'école sont généralement nécessaires pour adapter l'environnement scolaire à ses besoins. Alors que la salle de classe peut, par nature, parfois être un lieu quelque peu déstructuré, les enseignants ont remarqué que les enfants souffrant d'un TSA accusent un certain retard de développement par rapport aux élèves neurotypiques, notamment concernant les capacités de préparation à l'apprentissage nécessaires pour participer aux cours.

LES BÉNÉFICES DE LA ROBOTIQUE ÉDUCATIVE

Des études ont montré que les enfants souffrant d'un TSA développent un lien particulier avec les robots. Cela se traduit par leur volonté de s'engager avec les robots et d'interagir socialement avec eux. Plusieurs chercheurs ont prouvé que les enfants souffrant d'un TSA peuvent s'engager davantage avec les robots qu'avec les humains. La robotique éducative offre au corps enseignant un outil technologique éducatif efficace adapté aux capacités et besoins spécifiques des

élèves souffrant d'un TSA. Au-delà de l'engagement, l'interaction entre l'enfant et le robot est bénéfique à de nombreux égards:

- Plusieurs études ont prouvé montré que les participants se montraient plus obéissants après avoir interagi avec les robots.
- Elles ont également souligné une amélioration de l'apprentissage cognitif.
- Lorsqu'ils interagissent avec les robots, les enfants souffrant d'un TSA montrent un niveau d'attention conjointe plus élevé, comparable à celui des enfants neurotypiques.
- En présence de robots, les enfants se sont mis à généraliser leurs compétences sociales avec les individus, notamment au niveau du contact visuel.
- Des études ont montré que les enfants souffrant d'un TSA vocalisaient davantage lorsqu'ils interagissaient avec les robots qu'avec d'autres humains ou un écran d'ordinateur. C'est notamment le cas d'une étude dans laquelle les élèves affichaient des niveaux accrus de verbalisation et de socialisation face à un robot physique que face à une application sur écran, et se montraient socialement plus à l'aise que face à d'autres individus.
- Il a également été observé que l'intervention assistée par robots peut cibler les comportements liés à l'attention conjointe lors d'interactions triangulaires entre l'enfant, le chercheur – ou l'enseignant – et le robot, ce dernier étant l'objet de l'attention conjointe.
- Plusieurs études montrent que grâce à l'imitation, les interventions assistées par robots peuvent également faciliter la coordination motrice complexe et le contrôle postural des enfants.
- Les robots peuvent faciliter l'imitation des actions et la coordination interpersonnelle. Des recherches consacrées au concept d'embodiment ont montré que les activités de coordination conjointe améliorent la coordination interpersonnelle.
- Des études lors desquelles des enfants ont effectué des activités de mouvement conjoint

avec des robots ont montré une amélioration de la coordination interpersonnelle ainsi que l'existence de verbalisations spontanées appropriées.

- Les systèmes de robotique éducative (RE) constituent les fondements d'une technologie d'assistance déployable permettant de travailler avec les enfants souffrant d'un TSA en milieu scolaire.
- La capacité du robot à diriger l'enfant dans le cadre des entraînements, laissant au professionnel la liberté de contrôler et observer les interactions, est bénéfique tant pour ce dernier que pour l'enfant.
- L'enfant trouve les interactions plus agréables et accessibles, ce qui peut l'inciter à passer davantage de temps sur la tâche.
- Le fait que le robot dirige les activités donne au thérapeute plus de possibilités pour recueillir les données et évaluer de façon dynamique la progression de l'enfant.
- Le caractère objectif de l'interaction avec le robot élimine par ailleurs le risque de variabilité de l'exécution en raison de paramètres extérieurs.

UNE MÉTHODOLOGIE ADAPTÉE AU PROGRAMME

Équipe – Une équipe pluridisciplinaire a été créée pour superviser la planification et l'intégration de la robotique éducative et fournir une tribune ainsi qu'un processus favorisant la pratique collaborative et collective entre le personnel de Whiting Lane et les consultants de MOVIA.

Participants – Douze enfants en âge d'aller à l'école élémentaire du réseau WHPS ont participé à l'étude pilote d'une durée de 6 à 8 semaines. Parmi les élèves sélectionnés pour participer à l'étude figuraient des enfants auxquels un TSA avait été diagnostiqué selon des critères définis, ainsi que des élèves ayant affiché une préférence claire pour le robot.

Équipement – Le système physique incluait un robot NAO de la société Aldebaran Robotics (désormais Softbank). Le robot était semi-autonome, et comman-

dé par un spécialiste en robotique éducative depuis un ordinateur portable connecté en Wi-Fi.

Déroulement de l'intervention de robotique éducative - Des sessions dirigées par un robot ont été mises au point, articulées autour de multiples activités conçues pour inclure un travail sur différents aspects du comportement de l'enfant de sorte que les buts et objectifs soient Spécifiques, Mesurables, Atteignables, Réalistes et définis dans le Temps (« SMART »). Le contenu et l'organisation de chaque séance de robotique éducative reposaient sur les besoins individuels spécifiques des élèves et le nombre de participants.

Procédures - Les séances étaient au nombre de deux fois par semaine. Les élèves étaient invités à sortir de la classe, puis faisaient l'objet d'une observation pendant 20 minutes. Ce rituel faisait partie de leur emploi du temps afin d'organiser des séances avec un psychologue, un physiothérapeute/ergothérapeute ou un orthophoniste. La spécialiste du réseau WHPS dirigeait la séance, tandis que le spécialiste en Robotique éducative (RE) de MOVIA pilotait le robot. Les données étaient recueillies par la spécialiste comme à son habitude ainsi que par le spécialiste RE de MOVIA.

Évaluation - Les participants à l'étude pilote étaient évalués après chaque séance par le spécialiste RE. Ce dernier établissait un rapport destiné à l'école, indiquant les performances de l'élève pendant la séance. Ces données étaient de nature observationnelle. L'élève était par ailleurs évalué par l'équipe enseignante selon les mêmes critères que tous les autres élèves présentant des besoins spécifiques. Les résultats suivants ont été rapportés par le personnel enseignant, qui a utilisé les outils habituels pour chaque élève. L'évaluation et l'analyse des performances et progrès de chaque élève par le réseau reposaient sur les buts/objectifs de leur PEI.

OBSERVATIONS RELEVÉES AU COURS DU PROGRAMME

Tant le personnel de Whiting Lane que le spécialiste en robotique éducative ont souligné un haut niveau d'engagement tout au long de l'étude pilote. Les données relatives aux performances des élèves ont permis au personnel d'adapter le niveau de

difficulté des leçons/activités ainsi que des séances et d'en modifier le contenu. Les résultats analytiques tirés des données recueillies sont présentés ci-contre (fig.1) pour quatre participants :

- Le niveau d'engagement de l'un des élèves a chuté au bout de trois mois. Cette baisse

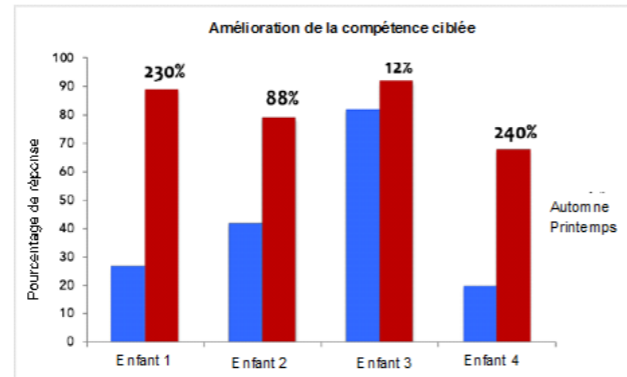
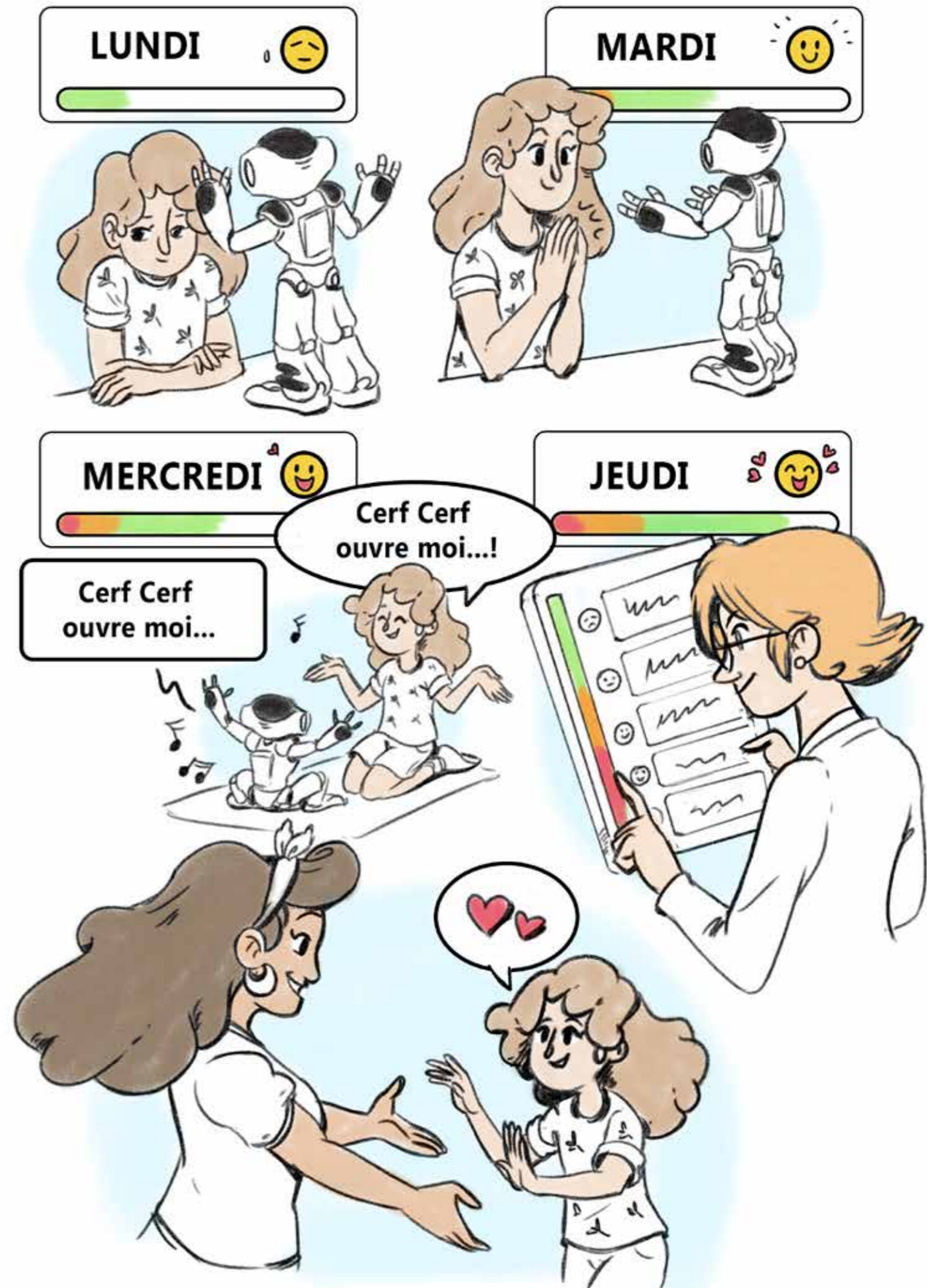


Fig.1

a été imputée au fait que l'élève était parvenu à maîtriser l'équipement. Aucun nouvel équipement adapté à ses besoins spécifiques n'étant disponible à ce moment-là, les interactions ont commencé à l'ennuyer.

- Les élèves ont acquis les compétences ciblées (attention, compétences littéraires, compréhension à la lecture, compétences sociales, adaptation, articulation, communication réciproque).
- L'équipe du réseau WHPS a signalé que les élèves avaient généralisé et reproduit les compétences acquises lors des séances de robotique éducative dans d'autres contextes (par exemple en classe, à la maison ou encore dans les aires de jeu).
- Les élèves ont montré une réponse positive au renforcement positif et aux commentaires du robot. Ils ont personnalisé le robot et noué une relation sociale positive avec lui. Par exemple, un élève a écrit une carte au robot à l'issue de la dernière séance dans laquelle il lui disait qu'il ne l'oublierait pas et qu'il espérait que le robot se souviendrait aussi de lui.
- La réponse positive et la relation nouée avec lui se reflétaient par ailleurs dans les commentaires des parents concernant les progrès de leurs enfants en matière d'interactions sociales. L'un des parents a demandé à ce qu'une date soit fixée pour que l'enfant puisse jouer à nouveau avec le robot.



ANALYSE ET ÉVALUATION

L'analyse et l'évaluation de ces mesures et des données ont montré que la robotique éducative offrait des bénéfices éducatifs et thérapeutiques aux élèves souffrant d'un TSA. L'utilisation par le réseau WHPS de la robotique éducative a offert au corps enseignant un outil technologique éducatif efficace adapté aux capacités et besoins spécifiques des élèves souffrant d'un TSA. La relation entre l'élève, le robot et l'enseignant traduisait un degré élevé de motivation et d'engagement lors des leçons.

1. Création d'une équipe pluridisciplinaire supervisant et favorisant la pratique collaborative du spécialiste en robotique éducative
2. Mise en place d'une formation fonctionnelle et une assistance technique avant la mise en œuvre du système.
3. Identification et sélection des élèves pouvant participer aux séances de robotique éducative selon leurs capacités, caractéristiques et besoins propres.
4. Détermination des objectifs du programme principal et des compétences ciblées par l'enseignement et l'intervention.
5. Définition des buts et objectifs de PEI « SMART » et les aligner/faire correspondre aux activités de robotique éducative.
6. Élaboration d'un planning des séances de robotique éducative et de préparation des leçons, identification des freins potentiels aux activités d'enseignement et les communiquer de façon précise.
7. Détermination des processus et des mesures d'évaluation formative et de suivi des progrès ainsi que de collecte/analyse des données afin d'évaluer la progression des élèves et de définir les modifications appropriées à apporter aux leçons/séances de robotique éducative.
8. Pleine intégration de la robotique éducative à la pratique et au cadre d'enseignement ainsi qu'à la technologie d'assistance de l'école.
9. Communication avec les parents et la communauté de l'école et information les informer concernant la robotique éducative afin de soutenir le travail et les efforts constants visant à améliorer la technologie d'assistance et l'enseignement adapté.

BONNES PRATIQUES DE DÉPLOIEMENT DE LA ROBOTIQUE ÉDUCATIVE

Le recours au système a permis de définir un ensemble de bonnes pratiques de déploiement de la robotique éducative à l'école élémentaire :

- Perspectives

Il a été prouvé que la robotique éducative est un outil viable et efficace d'intervention auprès des élèves souffrant d'un TSA. Le système commandé par le spécialiste en robotique éducative a permis d'obtenir d'excellents résultats. Grâce aux enseignements tirés de cette étude pilote, il a été possible de mettre au point un système plus simple à utiliser et pouvant être mis en œuvre par l'enseignant ou le thérapeute sans que l'intervention d'une tierce personne.

Le Robot NAO comme support relationnel et de dynamique groupale auprès de jeunes porteurs de Troubles du Spectre Autistique

CONTEXTE

Olivier DURIS - Un usage groupal de la médiation robotique permettra-t-il d'améliorer les compétences narratives des sujets TSA et d'impacter, de ce fait, les compétences relationnelles (socialisation) des enfants ?

Ou comment l'introduction d'un robot dans une relation enfant-robot-thérapeute, ainsi que dans un groupe d'enfants porteurs de TSA, pourrait modifier les relations des enfants entre eux, et avec le thérapeute.

Une Recherche qui a été menée sur l'impact du robot NAO sur les capacités narratives des enfants autistes, mais également sur la narrativité du thérapeute inclus dans la triangulation enfant-robot-thérapeute. Les enfants TSA montrent d'importantes difficultés à ordonner une histoire ou à raconter des souvenirs autrement que sous forme de flashes et de conglomerats confus d'affects et de représentations. Aider l'enfant à s'identifier au plaisir de raconter ce que partagera le thérapeute pour lui permettre de se l'approprier et de trouver à son tour un plaisir à raconter une histoire, puis son histoire, dans laquelle des événements pourront s'articuler entre eux dans un récit avec un début, un milieu et une fin.

*Soutenue publiquement
le 03 mars 2021
par **Olivier Duris**
pour l'obtention du grade
de **Docteur en Psychopathologie
et Psychanalyse**
Sous la direction de **Serge Tisseron***

OBJECTIF

Le robot tendrait à favoriser l'augmentation des capacités d'intégration des enfants TSA face aux situations de socialisation, qu'il aurait également un impact bénéfique sur les capacités empathiques des enfants, et plus précisément sur la prise en compte des affects, émotions ou sentiments.

Ici, le but de l'expérimentation est de voir si une histoire racontée par un robot humanoïde comme NAO, dans un dispositif d'atelier « conte », pouvait être plus facilement compréhensible pour des enfants TSA, appuyant par conséquent les fonctions thérapeutiques de la médiation conte, et permettant aux enfants de mieux reconnaître les émotions des personnages des histoires, ainsi que les leurs, améliorant ainsi leurs capacités empathiques et leur rapport à l'autre. Pour vérifier cela, Olivier Duris et l'équipe de l'Hôpital de Jour André Bouilloche (Association CEREP-Phymentin) se sont appuyés sur le protocole imaginé par Pierre LAFFORGUE pour un atelier conte, en introduisant une variation par l'utilisation d'un robot NAO programmé afin que les différentes histoires puissent être contées par celui-ci.

La mise en place « d'ateliers à médiation conte » avec un robot NAO conteur. NAO est en effet caractérisé d'une part par la fixité relative du « visage », et d'autre part par une voix synthétique. Les enfants autistes sont moins en difficulté pour interagir avec un robot, dont les mouvements sont prévisibles et répétitifs, contrairement à l'être humain. De même, la voix du robot est traitée comme un son différent de la voix humaine car elle ne véhicule aucune émotion sociale et qu'elle ne peut être perçue comme marqueur d'identité.

MÉTHODOLOGIE

Une expérience a été réalisée en hôpital de jour avec des enfants de 4 à 14 ans. Chaque groupe débutait par une phrase rituelle d'introduction prononcée par la psychologue (« Cric-Crac, c'est l'heure du conte. Cric-Crac, alors raconte »). Ensuite, le conte était raconté aux enfants, puis la psychologue clôturait l'histoire par une autre phrase rituelle (« Cric-crac, le conte est dans le sac »).

Venait ensuite un temps de jeu théâtral, dans lequel les enfants jouaient le conte qui leur avait été raconté, et enfin un temps de dessin. Ces deux derniers temps favorisent les associations groupales à partir de l'histoire contée. Il est important de noter que le temps de jeu théâtral ne pouvait avoir lieu qu'à partir du moment où les enfants du groupe avaient suffisamment intégré l'histoire, afin d'être capables de la rejouer tous ensemble.

Chaque conte était ainsi raconté de la même manière pendant plusieurs semaines, le changement d'histoire ne s'effectuant qu'au moment où chaque enfant avait pu jouer plusieurs fois la partie théâtrale. En deux ans, quatre contes ont été explorés, dans l'ordre suivant : « Les Trois petits cochons », « Le Loup, la chèvre et les chèvres », « Le Petit chaperon rouge », « Jeannot et Margot ».

PARTICIPANTS

Pendant 2 ans (2015 / 2018) l'expérimentation a été menée auprès de deux groupes de 6 enfants, entre 4 et 14 ans, qui étaient pris en charge dans l'institution depuis au moins 6 mois. Le protocole était de 50 séances menées en Hôpital de jour, de manière hebdomadaire, à raison de 45 minutes par séance. Une observation non-participative directe a été mise en place dans le groupe, et différents tests ont été passés par chaque enfant, à t=0 et à t+2ans (Test de Sociabilisation de l'Enfant et de l'Adolescent (TSEA / WISC-IV et WISC-V446 / Figure de Rey / CARS / Échelle de Vineland), afin de mesurer plus précisément l'impact du robot sur l'évolution des patients. Afin d'effectuer une véritable expérimentation comparative, le second groupe est un groupe « témoin » dans lequel les histoires étaient contées par une psychologue, selon le protocole de LAFFORGUE. Le reste du dispositif était exactement le même dans les deux groupes, seul le « conteur » différait.

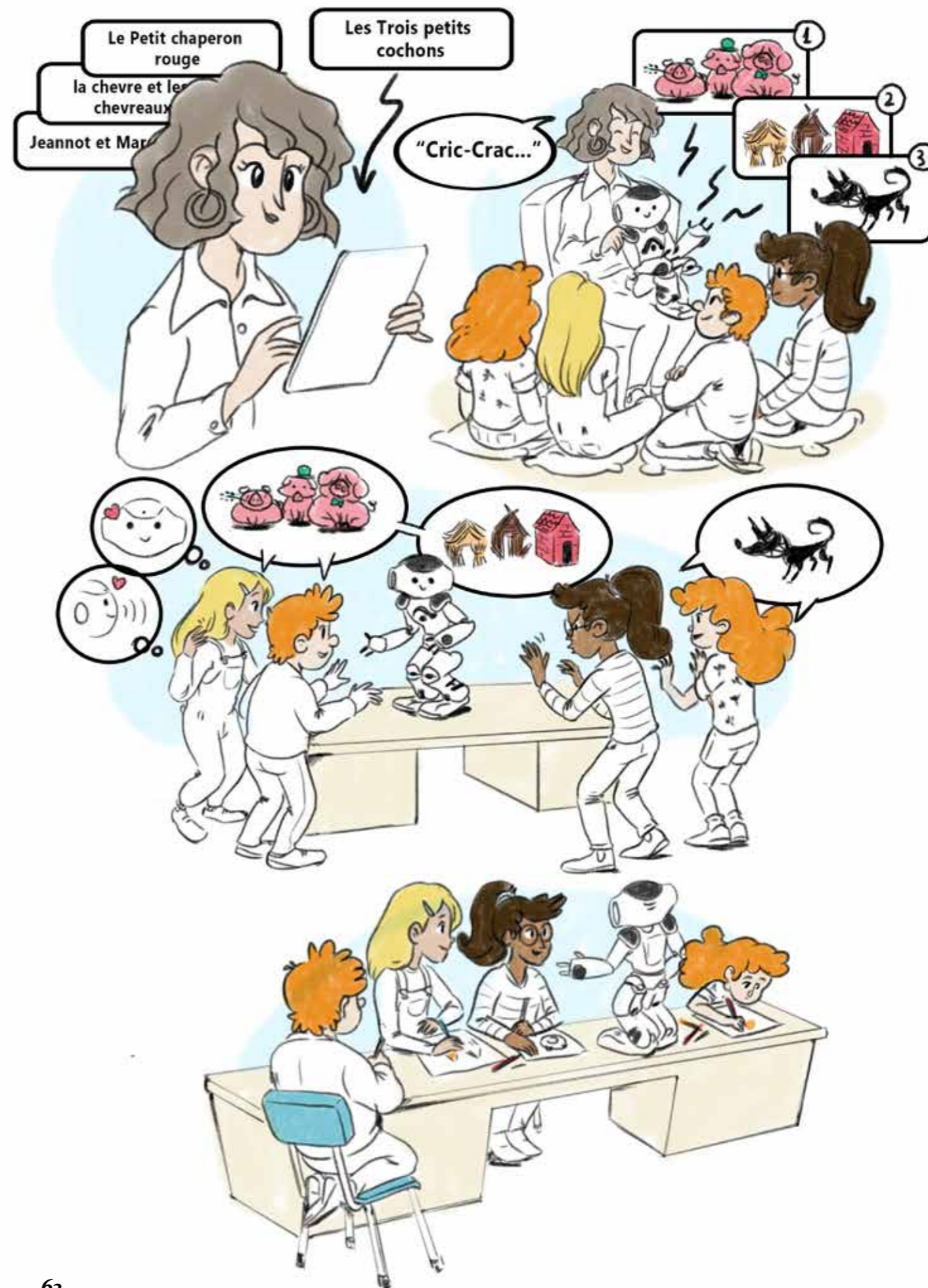
Perspectives

RÉSULTATS OBSERVÉS

L'observation qualitative effectuée sur les deux groupes pendant toute la durée de l'expérimentation a montré une plus grande contenance dans le groupe avec le robot, ainsi qu'une meilleure compréhension de l'histoire et une participation simplifiée et plus active dans le temps de prise en charge thérapeutique. La dynamique groupale et les capacités narratives et empathiques des enfants du groupe expérimental ont ainsi été impactées plus positivement que pour le groupe n'utilisant pas de robot pour raconter les histoires aux enfants.

En résumé, Olivier Duris a pu constater, à travers sa recherche, que **l'utilisation de robots humanoïdes et non-humoïdes dans des ateliers thérapeutiques auprès de jeunes porteurs de TSA permettait une plus grande contenance du cadre, une amélioration des compétences narratives et émotionnelles** (compréhension d'une histoire, reconnaissance des émotions, expression émotionnelle), **mais également des capacités relationnelles et sociales** (communication, interactions, imitation, attention conjointe). Cette recherche a également montré à quel point l'usage d'un tel outil permettait **une diminution des défenses autistiques** (écholalie, enveloppe sonore, stéréotypie, agitation, retrait).

Enfin, tout au long de son travail, l'idée s'est imposée que le robot n'est qu'un outil et qu'il ne remplace en aucun cas l'humain. Il représente un outil de médiation nécessitant la présence d'un professionnel de santé lorsqu'il est utilisé dans le champ de la thérapie. L'objectif d'Olivier Duris n'est donc pas de faire en sorte que la machine remplace un jour l'humain dans la prise en charge des patients, mais bien de montrer l'intérêt de cet outil en tant que médium. Son travail de recherche a permis de mettre en avant les bénéfices de l'utilisation des robots pour initier des comportements sociaux et améliorer les compétences émotionnelles de jeunes patients TSA, mais une grande variété de méthodes utilisant un robot en tant qu'outil thérapeutique peuvent être envisagées, et un grand nombre de bénéfices thérapeutiques supplémentaires sont encore à découvrir. Il paraît essentiel d'interroger et d'anticiper l'usage de ces outils robotiques dans la pratique du psychologue, et particulièrement auprès de la clinique des enfants TSA, afin de travailler au mieux avec les patients tout en inscrivant la pratique dans un questionnement constant sur les technologies émergentes.



// FRANCE

projet

DREAM

Approche fondée sur les preuves concernant la thérapie assistée par robot pour les enfants atteints d'un trouble du spectre de l'autisme :

enseignements tirés du projet DREAM

Silviu-Andrei Matu

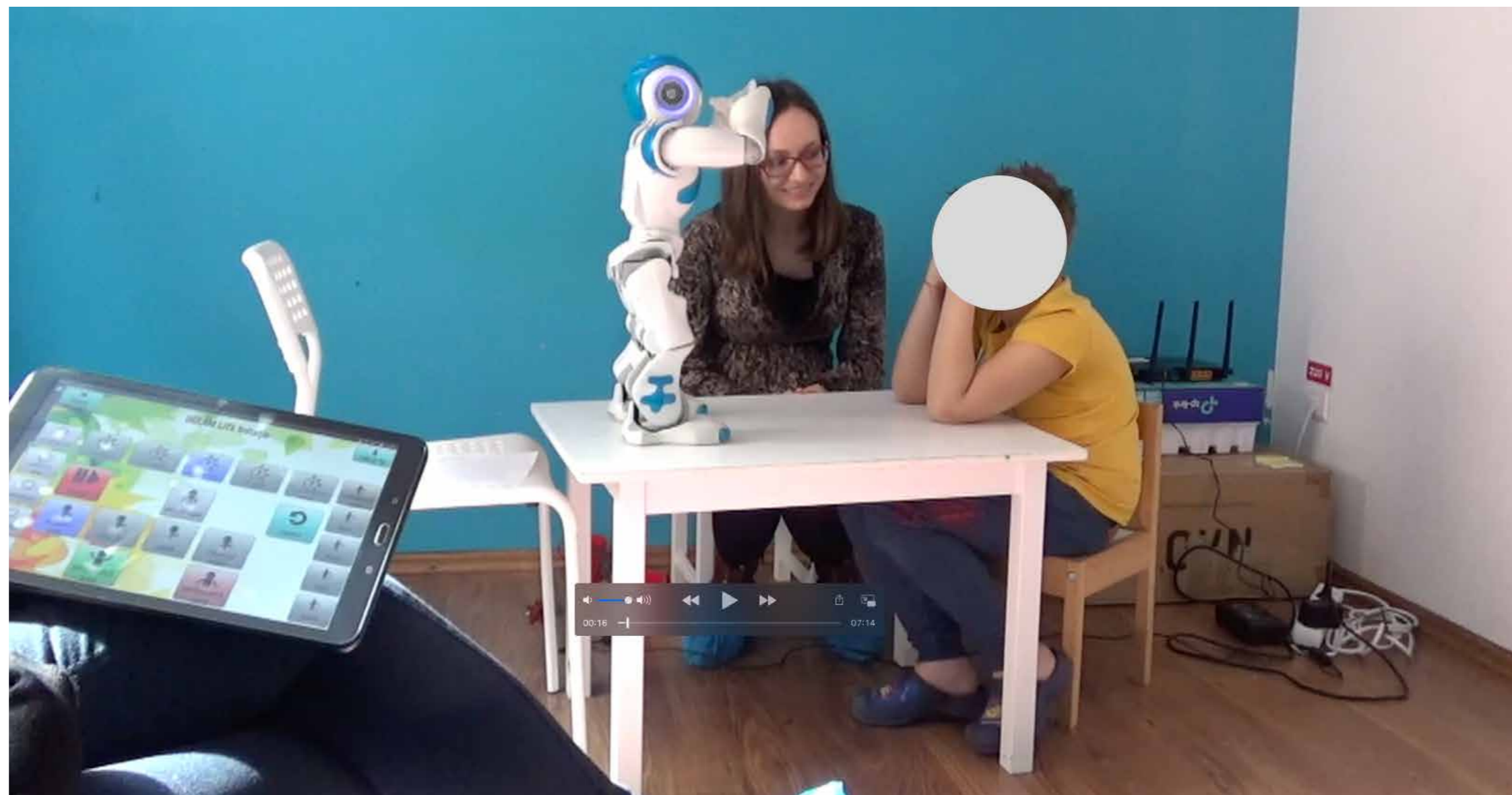
Département de Psychologie clinique et de Psychothérapie, université Babeş-Bolyai

No. 37. Republicii Str., Cluj-Napoca, Roumanie

E-mail : silviu.matu@ubbcluj.ro

BIOGRAPHIE DE L'AUTEUR :

Silviu Matu est un jeune chercheur occupant le poste de maître de conférences au sein du département de Psychologie clinique et de Psychothérapie de l'université Babeş-Bolyai de Cluj-Napoca, en Roumanie. Il travaille sur la PSYTECH-MATRIX Platform for Robotics/Robototherapy and Virtual Reality Therapy (plateforme PSYTECH-MATRIX pour la robotique/robot-thérapie et la thérapie par réalité virtuelle) de l'International Institute for the Advanced Studies of Psychotherapy and Applied Mental Health (Institut international d'études avancées en psychothérapie et santé mentale appliquée), l'une des plateformes de recherche les plus avancées en matière de réalité virtuelle et de robot-thérapie (<http://psychotherapy.psiedu.ubbcluj.ro>). Il mène actuellement des recherches portant sur l'association de la technologie et de la psychothérapie dans le but d'améliorer et de faciliter l'accès aux services de santé mentale.



PRATIQUE FONDÉE SUR LES PREUVES ET THÉRAPIE ASSISTÉE PAR ROBOT

La pratique fondée sur les preuves constitue un cadre largement accepté pour la prise de décisions dans diverses disciplines, qui établit que les cliniciens doivent mettre en pratique les interventions et les procédures étayées par les meilleures preuves disponibles. Les décisions prises doivent également tenir compte des caractéristiques propres aux clients, des préférences de ces derniers ainsi que de l'expérience clinique du praticien [5]. Nous avons déjà établi que les enfants montrent un intérêt pour les interventions impliquant un interlocuteur robotique, mais qu'en est-il des preuves relatives aux interventions assistées par robot ? Les résultats sont-ils assez satisfaisants pour commencer à intégrer ces interventions dans la pratique courante ?

Au fil des années, des avancées considérables ont permis de prouver que les interventions assistées par robot pouvaient jouer un rôle important dans le cadre du traitement des enfants atteints de troubles du spectre de l'autisme. Les recherches qui visaient initialement à démontrer comment les enfants réagissent à la présence du robot, et le fait qu'il capte leur attention, se sont progressivement muées en études plus thérapeutiques cherchant à déterminer si les enfants acquéraient des compétences utiles grâce à ces interactions et faisaient appel à celles-ci dans d'autres situations de la vie courante (par exemple les interactions avec les frères et sœurs ou les parents). Certaines études ont mis en place une évaluation rigoureuse des comportements et compétences pertinents et ont comparé les interventions assistées par robot à d'autres formes d'interactions (par exemple avec un jouet ou un ordinateur), voire même à une thérapie comportementale classique. Pour autant, les recherches menées dans le passé comportaient plusieurs écueils qui ne permettaient pas d'établir que la thérapie assistée par robot représente une intervention fondée sur les preuves qui pourrait apporter une réponse aux défis réels auxquels les familles de ces enfants et les institutions qui les épaulent sont confrontées : (1) les études étaient généralement de faible ampleur (quelques enfants seulement y participaient) et un grand nombre d'entre elles ne proposaient pas d'interventions sur le long terme ; (2) les études n'évaluaient pas

l'amélioration clinique globale, mais se concentraient plutôt sur les évolutions intervenant au niveau de compétences très spécifiques ; (3) la plupart des études n'ont pu prouver que les robots pouvaient répondre aux attentes et devenir au moins en partie autonomes, ce qui pourrait changer la manière dont le traitement est prodigué. C'est sur ces plans que le projet DREAM présenté ci-dessous a su se démarquer.

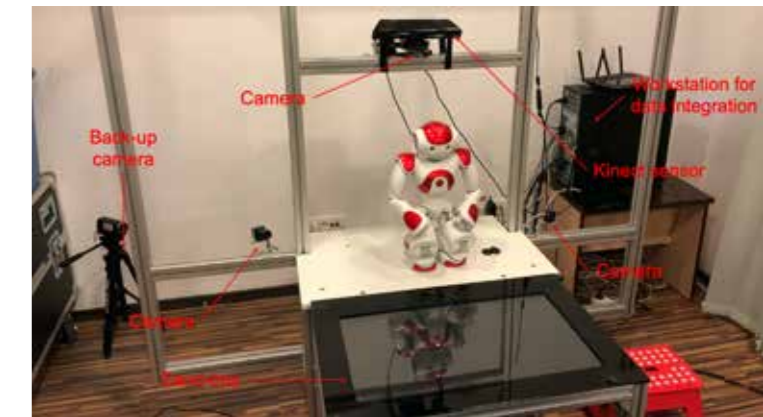
Mené entre 2014 et 2019 sur la base de financements européens, le projet de recherche « Development of Robot-Enhanced therapy for children with Autism spectrum disorders » (DREAM, Développement de la thérapie assistée par robot pour les enfants atteints d'un trouble du spectre de l'autisme ; <https://dream2020.github.io/DREAM/>) promouvait plusieurs objectifs majeurs pour la robot-thérapie à destination des enfants autistes [6 ; 7] :

1. Développer un système sensoriel capable d'enregistrer et d'interpréter le comportement pertinent de l'enfant ;
2. Développer un système décisionnel semi-autonome sur la base duquel le robot pourrait répondre aux comportements de l'enfant et avoir une réaction contingente ;
3. Éprouver l'efficacité de la thérapie assistée par robot dans le cadre d'une étude rigoureuse et de grande ampleur (essai clinique randomisé) la comparant à une thérapie standard ;
4. Évaluer l'efficacité au niveau de compétences spécifiques ainsi qu'au niveau des évolutions des symptômes sur le plan global ;
5. Évaluer l'efficacité de l'intervention en contexte réel (écoles ou établissements spécialisés, par exemple) au moyen d'une version simplifiée et économique du système.

Ces objectifs couvrent certains des points principaux nécessaires pour placer les interventions assistées par robot au cœur de l'approche fondée sur les preuves. Les études menées dans le cadre du projet portaient tout particulièrement sur le développement de certaines compétences sociales clés problématiques pour de nombreux enfants souffrant de troubles du spectre de l'autisme, telles que l'imitation, l'attention conjointe et le tour de rôle (en tant que compétence clé pour les

jeux collaboratifs et les interactions). À chaque fois, le robot guidait l'interaction avec l'enfant en indiquant les tâches à réaliser, en donnant des instructions et en faisant des retours. Le thérapeute supervisait la séance et intervenait pour s'assurer que l'enfant avait bien compris les consignes, donnait des indications si besoin et corrigeait les comportements disruptifs (comme par exemple, si l'enfant quittait la table où se déroulaient les activités), le cas échéant. Toutes les séances d'intervention prenaient la forme d'activités ludiques et suivaient la structure d'apprentissage discrète de l'étude, au cours de laquelle le robot émettait un stimulus discriminatif (une instruction claire et concise), attendait la réponse de l'enfant puis donnait un retour contingent sur le comportement de celui-ci, qui pouvait prendre la forme d'un retour social positif ou d'une correction suivie d'un encouragement à faire un nouvel essai. L'enfant avait trois occasions d'exprimer chacun des comportements attendus. Si ces essais se soldaient par un échec, le thérapeute donnait alors une indication. Plusieurs tâches avaient été mises au point pour développer chaque type de compétence. Les exercices pour la compétence d'imitation consistaient par exemple à utiliser des objets (imiter un avion, etc.), à faire des mouvements explicites (agiter la main et dire au revoir, etc.) ou encore des mouvements n'ayant aucun sens commun. Pour les exercices d'attention conjointe, nous avons fait varier le nombre de signaux produits par l'interlocuteur (pointer et regarder un objet tout en accompagnant ces gestes d'une indication à voix haute, jusqu'à des tâches où seul le regard était utilisé en guise de signal). Enfin, pour les exercices de tour de rôle, l'enfant et son interlocuteur ont joué à plusieurs jeux présentant différents niveaux de difficulté, qui consistaient notamment à échanger des informations concernant leurs activités ou leurs aliments favoris, à catégoriser des objets ou à continuer une série d'images sur la base de caractéristiques visuelles. Pour les exercices d'attention conjointe et de tour de rôle, nous avons utilisé le « jeu de sable », à savoir un ordinateur prenant la forme d'un large écran tactile. Placé en face de l'enfant et de son interlocuteur, cet écran leur permettait de jouer de manière interactive en désignant et en déplaçant des images représentant différents objets. L'installation expérimentale développée dans le cadre du projet DREAM est présentée à la Figure 1. L'interaction entre l'enfant et le robot lors d'une séance d'intervention est représentée à la Figure 2.

Figure 1. Installation expérimentale pour un système semi-autonome.



PLAN DE RECHERCHE

L'étude principale du projet consistait en un essai clinique randomisé incluant des enfants de 3 à 6 ans ayant reçu un diagnostic de trouble du spectre de l'autisme. Le diagnostic était établi sur le dossier du patient et était confirmé par une évaluation à l'aide de l'échelle d'observation pour le diagnostic de l'autisme (Autism Diagnostic Observation Schedule, ADOS). Les enfants étaient exclus de l'étude s'ils présentaient un autre trouble du neurodéveloppement. L'échantillon final incluait 69 enfants recrutés dans différents centres roumains dédiés au traitement des enfants atteints d'un trouble du spectre de l'autisme.

Tous les enfants recevaient également une forme de traitement dans le centre où ils avaient été recrutés. Les participants ont pris part à douze séances : deux séances pour l'évaluation à l'aide de l'échelle ADOS et l'évaluation des compétences sociales au début de l'étude, deux séances pour la réalisation d'évaluations similaires au terme de l'étude et huit séances d'intervention au cours desquelles les trois compétences ciblées ont été travaillées lors d'une interaction avec un interlocuteur humain (groupe témoin) ou un robot NAO (groupe de la thérapie assistée par robot), sur la base de protocoles identiques. L'intervention a été personnalisée pour chacun des enfants selon le niveau de compétences démontré lors de l'évaluation initiale : les enfants possédant de meilleures compétences ont ainsi été confrontés à des tâches plus complexes, tandis que les enfants présentant des compétences moins développées ont débuté par des activités plus simples, dont le niveau de difficulté a par la suite été adapté en fonction de leur progression.



Figure 2. Interaction entre l'enfant et le robot sous la supervision de la thérapeute.

Le robot NAO était piloté directement via un système logiciel conçu dans le cadre du projet qui lui permettait d'évoluer entre les différentes phases des séances d'intervention selon un scénario spécifique, mais aussi d'évaluer le comportement de l'enfant et de fournir un retour d'informations selon qu'il correspondait au comportement attendu. Les jugements automatiques du robot étaient contrôlés par un autre psychologue présent dans la pièce et installé devant un ordinateur lui permettant de prendre la main sur la décision du robot avant que celle-ci ne soit implémentée dans le cadre de l'intervention (autonomie sous supervision).

L'élément sensoriel du système extrayait en temps réel des informations concernant le contact visuel entre l'enfant et l'interlocuteur, le niveau d'émotions positives exprimées par l'enfant ainsi que d'autres données relatives à sa position par rapport à son interlocuteur (par exemple position assise à table ou éloignement et abandon de la tâche). Le système nous permettait en outre d'enregistrer l'intégralité de l'interaction, avec différents points de vue synchronisés sur l'ensemble des caméras, et de recueillir dans le même temps des informations sur les performances et le niveau d'engagement exprimé par l'enfant. Cette méthode nous a pratiquement permis

d'étudier les données sans avoir à analyser chacune des vidéos pour coder et extraire les informations liées aux performances et aux réactions des enfants inclus dans l'étude.

RÉSULTATS

Nous sommes désormais dans les dernières phases d'analyse des données et les résultats montrent déjà que les interventions animées par le robot NAO présentent une efficacité comparable à celle des interventions standard lorsqu'il s'agit d'améliorer les compétences d'imitation et de tour de rôle. En ce qui concerne l'attention conjointe, les deux types d'intervention ont eu des effets similaires, bien qu'aucune amélioration claire n'ait pu être observée sur la durée. Dans les deux groupes, il a été constaté des effets significatifs au niveau des symptômes généraux des troubles du spectre de l'autisme, tel que cela a été démontré à l'aide d'instruments standardisés. Notons également que les enfants ayant participé à une intervention animée par NAO ont exprimé davantage d'émotions positives et ont eu un nombre plus élevé de contacts visuels avec leur interlocuteur que les enfants du groupe témoin. Il s'agit là d'un résultat important, étant donné que les interventions comportementales auprès d'enfants atteints d'un trouble du spectre de l'autisme doivent se faire sur de longues périodes. Ces enfants pourraient ainsi faire preuve d'un meilleur engagement sur le long terme si le robot

est utilisé en tant que médiateur. Dans l'ensemble, ces résultats montrent que, lorsqu'elle fait l'objet d'une étude comparative rigoureuse comparable aux études sur les traitements médicaux, l'intervention assistée par robot est aussi efficace qu'une intervention standard.

ÉTUDE D'EFFICACITÉ

Parallèlement à cette étude bien contrôlée, dans laquelle les enfants avaient été soigneusement sélectionnés et dont l'installation nous permettait de disposer d'un jeu de données exhaustives et codées automatiquement et d'un robot semi-autonome, nous souhaitions également tester une version plus écologique du protocole d'intervention. Nous avons réfléchi à une solution qui nous permettrait de réaliser une intervention similaire sans toute l'installation complexe requise par l'étude précédente et d'observer s'il était possible d'obtenir des résultats positifs au sein d'établissements spécialisés accueillant des enfants présentant des symptômes d'autisme ainsi que d'autres problèmes psychologiques ou de développement – une situation probable dans la plupart des scénarios réels. Baptisé « NAO DREAM Lite », le système proposé associait le robot NAO à AskNAO Tablet et à une interface repensée dans le but de mener à bien l'intervention développée dans le cadre du projet DREAM. Nous avons comparé un groupe d'enfants soumis à une intervention animée par NAO à un groupe constitué d'enfants inscrits sur une liste d'attente dans le cadre d'une brève intervention consistant en une évaluation initiale, une évaluation finale et trois séances d'intervention. Les enfants étaient inclus dans l'étude si leur dossier faisait état d'un diagnostic formel de trouble du spectre de l'autisme ou comportait une indication clinique sur la présence de tels symptômes. Tous les enfants répondant au critère exposé plus haut et capables de suivre les instructions étaient considérés comme éligibles. L'échantillon final comprenait 79 enfants âgés de 3 à 10 ans.

Au cours de cette étude, un thérapeute supervisait l'intervention en présentant le robot, en corrigeant les comportements disruptifs et en donnant des indications, tandis qu'un autre psychologue commandait le robot via l'interface disponible sur la tablette, tel qu'illustré à la Figure 3.



Figure 3. Installation expérimentale pour DREAM Lite utilisée dans le cadre de l'étude écologique.

Les résultats ont mis en évidence des améliorations significatives chez les enfants soumis à une intervention animée par le robot par rapport au groupe témoin en ce qui concerne les compétences d'imitation, mais pas pour les compétences d'attention conjointe ou de tour de rôle. Par ailleurs, les parents des enfants du groupe soumis à une intervention animée par le robot ont fait état d'une nette amélioration des compétences sociales globales de leur enfant par rapport aux parents des enfants du groupe témoin. Ces résultats sont très encourageants étant donné la courte durée de l'intervention et la réalisation relativement aisée de celle-ci.

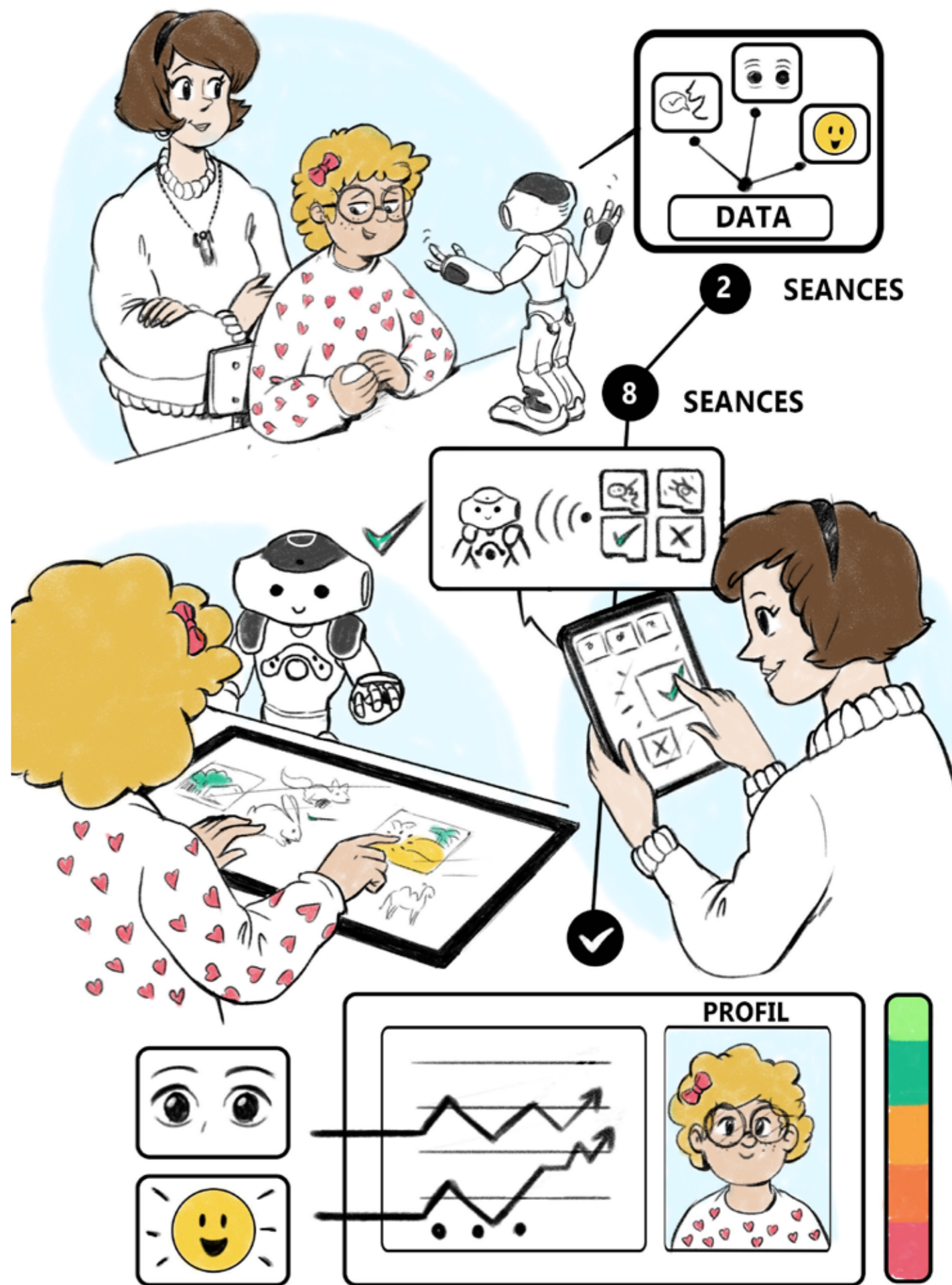
Résultats & Perspectives

CONCLUSION

Les interventions assistées par robot auprès des enfants atteints d'un trouble du spectre de l'autisme ont beaucoup évolué depuis les premières évocations de ce concept novateur dans des études de cas et des expériences à petite échelle présentées dans la littérature. Le projet DREAM a permis de réduire la distance entre utilisation des robots et approche fondée sur les preuves en démontrant que les effets obtenus sont cohérents et visibles au niveau de certains symptômes généraux et compétences spécifiques, et ce même dans le cadre d'une comparaison avec une intervention standard. De plus, le projet a montré que l'interaction avec le robot a des effets durables sur l'engagement des enfants pendant l'intervention, ce qui pourrait maintenir leur implication vis-à-vis de la tâche sur des durées plus longues. Enfin, le projet a également démontré que l'intervention pouvait facilement être implémentée dans un contexte réel, où elle pourrait être proposée en tant que prolongement des interventions classiques afin de développer les compétences sociales des enfants présentant des symptômes d'autisme.

NOUVELLES PERSPECTIVES

Les résultats positifs obtenus dans le cadre du projet DREAM sont susceptibles d'encourager d'autres chercheurs à mettre au point et tester des robots intelligents et autonomes. La prochaine génération de robots sociaux œuvrant auprès d'enfants souffrant d'un trouble du spectre de l'autisme sera davantage capable d'interpréter les comportements des enfants et d'y répondre d'une manière cohérente sur le plan thérapeutique. Il est probable que l'étude DREAM ne soit que la première d'une série d'essais contrôlés et randomisés qui étudieront de manière très rigoureuse les effets de la thérapie assistée par robot dans le but de faire de celle-ci un traitement fondé sur les preuves. Ajoutons que les interventions proposées aux enfants atteints d'un trouble du spectre de l'autisme deviendront probablement de plus en plus personnalisées, en permettant d'adapter la difficulté ou les compétences travaillées en fonction des besoins en matière de développement des enfants interagissant avec le robot. Cela devrait permettre de jeter un pont entre ce domaine et la thérapie personnalisée fondée sur les preuves (personalised evidence-based therapy), une tendance majeure de la recherche médicale et en réadaptation. Les concepteurs de robots et le marché pourraient également répondre présent en proposant de nouvelles solutions prenant la forme de robots plus intelligents qui facilitent le travail des thérapeutes auprès des enfants. Lorsque l'utilisation d'un robot et la personnalisation de l'intervention ne présenteront plus de difficultés pour un thérapeute non expert, il est fort probable que les robots se banalisent au sein des établissements scolaires et éducatifs pour enfants autistes.



NAO, outil de médiation thérapeutique pour les enfants autistes

Conclusion

by Pierre Henri Bernex - iUp sales



Chers lecteurs, cet e-book s'achève et nous espérons que vous avez pris du plaisir à découvrir ou à redécouvrir les exemples d'usage du Robot NAO pour ou par les enfants présentant un trouble du spectre autistique.

Nous avons volontairement apporté une tonalité ludique à cette publication tant dans sa mise en forme que dans ses illustrations pour mettre en exergue une technologie robotique humanoïde bienveillante et sociale dont les principaux bénéficiaires sont ici les enfants à besoins spécifiques.

Au travers les différents témoignages de cet ouvrage, on observe une belle dynamique ou, pour reprendre le terme du Professeur David COHEN, une vitalité du domaine de la robotique sociale.

On constate un engouement qui semble de plus en plus important pour cet univers complexe de la robotique sociale dans les TSA auprès de trois catégories d'« explorateurs » : les Éducateurs spécialisés, les Ingénieurs (Chercheurs) et les Psychologues Cliniciens. On peut également se féliciter que des associations et des entreprises se soient emparé du sujet, que ce soit l'Association Robots ! (Nantes), MOVIA (USA) ou encore notre partenaire ERM Robotique (Carpentras) qui a sophistiqué une interface utilisateur AskNAO en y intégrant des applications, et bien d'autres encore...

Ces innovateurs partagent un agenda commun qui est de confirmer les avantages de ce nouvel outil pour les bénéficiaires et les accompagnants, de structurer des approches les plus efficaces possibles selon que l'objectif est d'agir sur les troubles ou de faciliter l'enseignement et enfin de simplifier autant que possible l'appropriation du robot malgré les craintes et les imaginaires qu'il véhicule.

On notera que le robot NAO dans le cadre d'un accompagnement thérapeutique et/ou éducatif, non seulement ne remplace pas l'accompagnant mais permet de réunir jusqu'à quatre expertises : Enseignant, Ingénieur, Psychologue et même un Artiste (approche multi-média). Nous en sommes certainement qu'au début compte tenu des avancées rapides et d'une utilisation vers d'autres bénéficiaires. Par exemple chez les seniors afin d'améliorer leurs capacités de communication et de développer la qualité de leurs interactions sociales individuelles et collectives. Cela s'adresse plus particulièrement aux personnes souffrant de la maladie d'Alzheimer et maladies apparentées (MAMA). L'idée étant une tentative de reconstruction identitaire des participants ou à défaut ralentir l'évolution de la maladie.

Nous serions très heureux que cette publication autour du robot NAO puisse à l'avenir permettre d'initier et de créer une large communauté qui dressera un pont entre Utilisateurs et Chercheurs quelles que soient leurs expertises et leurs nationalités afin d'ouvrir de nouveaux champs des possibles sur des activités liées à l'enseignement et à la santé mentale pour les enfants et pour les seniors.

« Si jeunesse savait, si vieillesse pouvait. » **Henri Estienne**

Contributeurs



David Cohen MD, PhD

Professeur, Sorbonne Université, Chef de Service, Département de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent, CNRS UMR 7222, Institut des Systèmes Intelligents et Robotiques, Groupe Hospitalier Pitié-Salpêtrière, APHP, Paris, France

HERO : <https://herorobot.it/>

Dr. Berardina De Carolis, cofondatrice de HERO et Directrice R&D

Dr. Giuseppe Palestra, cofondateur de HERO et chercheur.

Davide TILOTTA, Business Development & Marketing



Association Robots! <https://www.association-robots.com/>

Sophie SAKKA

sophie.sakka@association-robots.com

Enseignante-chercheuse à Centrale Nantes,

Présidente-fondatrice de l'association Robots !



Hôpital de jour François Truffaut - Saint-Maurice (94)

Thierry Le BUHE - Enseignant spécialisé

<https://fr.calameo.com/read/004264362454c6328ee83>



Dr. Fady Alnajjar, PhD.

Professeur Assistant en Intelligence Artificielle and Robotics, Computer Science and Software Engineering - (CIT)

Artificial Intelligence and System Design Engineering - United Arab Emirates University

UAEU's College of IT - fady.alnajjar@uaeu.ac.ae



UEMA - École maternelle Fontaine aux Jardins-Eau Vive Quétigny

<http://dane.ac-dijon.fr/2018/05/30/4057/>

Pauline AUDRY - Enseignante spécialisée

Fleur STAWINSK - Educatrice spécialisée

Pascal BOURGOIN, Responsable opérationnel DANE (Délégation académique au numérique éducatif)

Pierre Jean FAVE, IEN premier degré, conseiller académique ASH (Adaptation scolaire et scolarisation des personnes en situation de handicap)



MOVIA ROBOTICS, INC.

Walter Ingraham House | 72 Prospect Place | Bristol, CT | 06010 | USA
www.moviarobotics.com

Jean-Pierre BOLAT - Board Member | CEO jbolat@moviarobotics.com

Timothy GIFFORD - President & Chief Scientist - UConn Researcher - Hartford, Connecticut, (United States) TGifford@moviarobotics.com

Muniba MASOOD - Vice President - mmasood@moviarobotics.com



Olivier DURIS

Clinical Psychologist - day Hospital André Bouloche (Cerep-Phymentin)

and assisting unit PREAUT (UDAP 75)

Doctor in Psychopathology and Psychoanalysis (Paris University)



DREAM project

Silviu-Andrei Matu

Département de Psychologie clinique et de Psychothérapie, université Babeş-Bolyai

No. 37. Republicii Str., Cluj-Napoca, Roumanie

E-mail : silviu.matu@ubbcluj.ro



iUpSales : <https://www.linkedin.com/in/pierrehenribernex/>

Pierre Henri Bernex

ph.bernex@iupsales.com

Conseil en management

Chef de projet du recueil



ERM Automatique: <https://www.asknao-tablet.com/en/home/>

Cyril Liotard: CEO

Frédéric Grelier: Responsable Marketing / Développement Didactique et Pédagogique



SoftBank Robotics Europe: <https://www.softbankrobotics.com/emea/fr>

Alexandre Mazel: Directeur de l'Innovation - Concept & Exploration

Amaury Chevallier-Chantepie: Responsable des ventes Education - EMEA

Clarisse Le Guyader: Responsable Marketing Education - EMEA

David Monteiro: Direction Créative

Maria Jesus HERNANDEZ: Illustratrice - Couverture et article

NAO, outil de médiation thérapeutique pour les enfants autistes

Références

Preface by David Cohen MD, PhD

1. Boucenna S, Cohen D, Meltzoff A, Gaussier P, Chetouani M. Cognitive developmental robotics: How robots learn to recognize individuals from imitating children with autism and other agents. *Scientific Report* 2016; 6: e19908; doi: 10.1038/srep19908

2. Boucenna S, Anzalone S, Tilmont E, Cohen D, Chetouani M and the Michelangelo Study Group. Extraction of social signatures through imitation learning between a robot and a human partner. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development* 2014; 99: DOI: 10.1109/TAMD.2014.2319861

3. Anzalone SM, Tilmont E, Boucenna S, Xavier J, Maharatna K, Chetouani M, Cohen D, and the Michelangelo Study Group. How children with autism spectrum disorder explore the 4-dimension (spatial 3D+time) environment during a joint attention induction task. *Research in Autism Spectrum Disorders* 2014; 8: 814–826.

4. Pivetti M, Di Battista S, Agatolio F, et al. Educational robotics for children with neurodevelopmental disorders: a systematic review. *Heliyon* 6 2020; 10: e05160.

5. Grossard C, Palestra G, Xavier J, Chetouani M, Grynszpan O, Cohen D. ICT and autism care: state of the art. *Curr Opin Psychiatry*. 2018; 31: 474-483.

6. Gargot T, Asselborn T, Zammouri I, Brunelle J, Johal W, Dillenbourg P, Archambault D, Chetouani M, Cohen D, Anzalone SM. «It is not the robot who learns, it is me» Treating severe dysgraphia using Child-Robot Interaction. *Frontiers in Psychiatry* 2021; 12: e5. doi: 10.3389/fpsy.2021.596055

HERO

GIUSEPPE PALESTRA PAPERS
FOCUSED ON AI, ROBOTICS
AND AUTISM AND OTHER
MENTAL DISEASES

Adolescents with borderline personality disorder show a higher response to stress but a lack of self-perception: Evidence through affective computing
N Bourvis, A Aouidad, M Spodenkiewicz, G Palestra, J Aigrain, A Baptista, ...
Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 110095

Behavior and interaction imaging at 9 months of age predict autism/intellectual disability in high-risk infants with West syndrome
L Ouss, G Palestra, C Saint-Georges, ML Gille, M Afshar, H Pellerin, ...
Translational psychiatry 10 (1), 1-7

Facial expression recognition from nao robot within a memory training program for individuals with mild cognitive impairment
BN De Carolis, G Palestra, O Pino
Proceedings of the Workshop Socio-Affective Technologies: an...

Soft Biometrics for Social Adaptive Robots
B De Carolis, N Macchiarulo, G Palestra
International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications...

Social Robots supporting the Inclusion of Unaccompanied Migrant Children: Teaching the Meaning of Culture-Related Gestures
B De Carolis, G Palestra, C Della Penna, M Cianciotta, A Cervelione
Journal of e-Learning and Knowledge Society 15 (2)

ICT and autism care: state of the art
C Grossard, G Palestra, J Xavier, M Chetouani, O Grynszpan, D Cohen
Current opinion in psychiatry 31 (6), 474-483

ICT and autism care
S Gauthier, M Zahoui, F Villa, A Berthoz, S Anzalone, B Zhou, F Bilan, ...
Current Opinion in Psychiatry 31 (6), 474-483

A Multimodal Interface for Robot-Children Interaction in Autism Treatment.

G Palestra, F Esposito, B De Carolis
DCPD@ CHIItaly 1910, 158-162

Assistive robot, RGB-D sensor and graphical user interface to encourage communication skills in ASD population

G Palestra, D Cazzato, F Adamo, I Bortone, C Distante
Journal of Medical Robotics Research 2 (02), 1740002

Simulating empathic behavior in a social assistive robot

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra
Multimedia Tools and Applications 76 (4), 5073-5094

Artificial Intelligence for Robot-Assisted Treatment of Autism

G Palestra, B De Carolis, F Esposito
Proceedings of the Workshop on Artificial Intelligence with Application in...

A multimodal and multilevel system for robotics treatment of autism in children

G Palestra, G Varni, M Chetouani, F Esposito
Proceedings of the International Workshop on Social Learning and Multimodal...

Perspective Ethical Issues about Experiences with Social Robots to help Children with Autism Spectrum Disorders

G Palestra, I Bortone
New Friends 2016 2nd International Conference on Social Robots in Therapy...

Improving speech-based human robot interaction with emotion recognition

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra
International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, 273-279

Non-intrusive and calibration free visual exploration analysis in children with autism spectrum disorder

D Cazzato, F Adamo, GC Palestra, G Crifaci, P Pennisi, G Pioggia, ...
Computational Vision and Medical Image Processing, 201

Modeling and simulating empathic behavior in social assistive robots

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra, V Carofiglio
Proceedings of the 11th biannual conference on Italian SIGCHI Chapter, 110-117

Towards an empathic social robot for ambient assisted living.

BN De Carolis, S Ferilli, G Palestra, V Carofiglio
ESSEM@ AAMAS, 19-34

Automatic emotion recognition in robot-children interaction for ASD treatment

M Leo, M Del Coco, P Carcagni, C Distanto, M Bernava, G Pioggia, ...
Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision...

Social robots in postural education: a new approach to address body consciousness in ASD children

G Palestra, I Bortone, D Cazzato, F Adamo, A Argentiero, N Agnello, ...
International Conference on Social Robotics, 290-299

BERARDINA DE CAROLIS PAPERS
FOCUSED ON AI, ROBOTICS AND
AUTISM AND OTHER MENTAL
DISEASES

From Greta's mind to her face: modelling the dynamics of affective states in a conversational embodied agent

F De Rosis, C Pelachaud, I Poggi, V Carofiglio, B De Carolis
International journal of human-computer studies 59 (1-2), 81-118

APML, a markup language for believable behavior generation

B De Carolis, C Pelachaud, I Poggi, M Steedman
Life-like characters, 65-85

Embodied contextual agent in information delivering application

C Pelachaud, V Carofiglio, B De Carolis, F de Rosis, I Poggi
Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents...

Greta. a believable embodied conversational agent

I Poggi, C Pelachaud, F de Rosis, V Carofiglio, B De Carolis
Multimodal intelligent information presentation, 3-25

Behavior planning for a reflexive agent

B De Carolis, C Pelachaud, I Poggi, F de Rosis
International Joint Conference on Artificial Intelligence
17 (1), 1059-1066

User modeling and adaptation in health promotion dialogs with an animated character

F de Rosis, N Novielli, V Carofiglio, A Cavalluzzi, B De Carolis
Journal of biomedical informatics 39 (5), 514-531

Shallow and inner forms of emotional intelligence in advisory dialog simulation

F de Rosis, B De Carolis, V Carofiglio, S Pizzutilo
Life-Like Characters, 271-294

An Agent-based Approach for Adapting the Behavior of a Smart Home Environment.

D Cavone, B De Carolis, S Ferilli, N Novielli
WOA, 105-111

Social robots as mediators between users and smart environments

G Cozzolongo, B De Carolis, S Pizzutilo
Proceedings of the 12th international conference on Intelligent user...

Interpretation of user's feedback in human-robot interaction

B De Carolis, G Cozzolongo
Red de Agentes Físicos

Emotional dialogs with an embodied agent

A Cavalluzzi, B De Carolis, V Carofiglio, G Grassano
International Conference on User Modeling, 86-95

Simulating empathic behavior in a social assistive robot

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra
Multimedia Tools and Applications 76 (4), 5073-5094

Supporting students with a personal advisor

B De Carolis, S Pizzutilo, G Cozzolongo, P Drozda, F Muci
Journal of Educational Technology & Society 9 (4), 27-41

Emotions and personality in personalized services

M Tkalčič, B De Carolis, M De Gemmis, A Odić, A Košir
Springer

Recognizing users feedback from non-verbal communicative acts in conversational recommender systems

B De Carolis, M de Gemmis, P Lops, G Palestra
Pattern Recognition Letters 99, 87-95

A user-adapted iconic language for the medical domain

B De Carolis, F De Rosis, S Errore
International journal of human-computer studies 43 (4), 561-577

Social robots and ECAs for accessing smart environments services

B De Carolis, I Mazzotta, N Novielli, S Pizzutilo
Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces...

Introduction to emotions and personality in personalized systems

M Tkalčič, B De Carolis, M de Gemmis, A Odić, A Košir
Emotions and Personality in Personalized Services, 3-11

Logic-based incremental process mining in smart environments

S Ferilli, B De Carolis, D Redavid
International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications...

User modeling in social interaction with a caring agent

B De Carolis, I Mazzotta, N Novielli, S Pizzutilo
User Modeling and Adaptation for Daily Routines, 89-116

The humanoid robot NAO as trainer in a memory program for elderly people with mild cognitive impairment

O Pino, G Palestra, R Trevino, B De Carolis
International Journal of Social Robotics 12 (1), 21-33

A Personal Agent Supporting Ubiquitous Interaction

G Cozzolongo, B De Carolis, S Pizzutilo
dagli Oggetti agli Agenti, 55

Are ECAs more persuasive than textual messages?

I Mazzotta, N Novielli, B De Carolis
International Workshop on Intelligent Virtual Agents, 527-528

Artificial Intelligence for Robot-Assisted Treatment of Autism.

G Palestra, B De Carolis, F Esposito
WAIAH@ AI* IA, 17-24

Towards an empathic social robot for ambient assisted living.

BN De Carolis, S Ferilli, G Palestra, V Carofiglio
ESSEM@ AAMAS, 19-34

A multimodal framework for recognizing emotional feedback in conversational recommender systems

B De Carolis, M de Gemmis, P Lops
Proceedings of the 3rd Workshop on Emotions and Personality in Personalized...

Soft Biometrics for Social Adaptive Robots

B De Carolis, N Macchiarulo, G Palestra
International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications...

Gaze-based interaction with a shop window

B De Carolis, G Palestra
Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual...

Cognitive emotions recognition in e-learning: Exploring the role of age differences and personality traits

B De Carolis, F D'Errico, M Paciello, G Palestra
International Conference in Methodologies and intelligent Systems for...

Modeling and simulating empathic behavior in social assistive robots

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra, V Carofiglio
Proceedings of the 11th biannual conference on Italian SIGCHI Chapter, 110-117

"Engaged Faces": Measuring and Monitoring Student Engagement from Face and Gaze Behavior

B De Carolis, F D'Errico, N Macchiarulo, G Palestra
IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence-Companion Volume...

Social Robots supporting the Inclusion of Unaccompanied Migrant Children: Teaching the Meaning of Culture-Related Gestures

B De Carolis, G Palestra, C Della Penna, M Cianciotta, A Cervellone
Journal of e-Learning and Knowledge Society 15 (2)

Improving speech-based human robot interaction with emotion recognition

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra
International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, 273-279

An agent architecture for adaptive supervision and control of smart environments

S Ferilli, B De Carolis, A Paziienza, F Esposito, D Redavid
2015 International Conference on Pervasive and Embedded Computing and...

Learning and recognizing routines and activities in SOFiA

B De Carolis, S Ferilli, G Mallardi
European Conference on Ambient Intelligence, 191-204

Investigating the Social Robots' Role in Improving Children Attitudes toward Recycling.

The case of PeppeRecycle

B De Carolis, F D'Errico, N Macchiarulo, V Rossano
2019 10th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications...

EmoBrain: Playing with Emotions in the Target.

V Liberti, V Carofiglio, BN De Carolis, F Abbattista
GHItaly@ AVI

Learning waste Recycling by playing with a Social Robot

G Castellano, B De Carolis, N Macchiarulo, V Rossano
2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC...

Advanced Programming of Intelligent Social Robots

D Malerba, A Appice, P Buono, G Castellano, B De Carolis, M de Gemmis, ...

Journal of e-Learning and Knowledge Society 15 (2) Do BCIs Detect User's Engagement? The Results of an Empirical Experiment with Emotional Artworks

C Gena, C Mattutino, S Pirani, B De Carolis
Adjunct Publication of the 27th Conference on User Modeling, Adaptation and ...

AVI-CH 2018: Advanced Visual Interfaces for Cultural Heritage

BN De Carolis, C Gena, T Kuflik, A Origlia, GE Raptis
Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual...

RescueRobot: Simulating Complex Robots Behaviors in Emergency Situations

G Palestra, A Paziienza, S Ferilli, B De Carolis, F Esposito
Proceedings of the 4th Italian Workshop on Artificial Intelligence and ...

Emotion-Recognition from Speech-based Interaction in AAL Environment.

B De Carolis, S Ferilli, G Palestra, D Redavid
AI* AAL@ AI* IA, 92-104

An intelligent agent architecture for smart environments

S Ferilli, B De Carolis, D Redavid
International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems, 324-330

Socio-affective technologies [SI 1156 T]

B De Carolis, F D'Errico, V Rossano
Multimedia Tools and Applications, 1-5

iBall to Swim: a Serious Game for Children with Autism Spectrum Disorder

B De Carolis, D Argentieri
Proceedings of the International Conference on Advanced Visual Interfaces, 1-5

Workshop on Adapted Interaction with Social Robots (cAESAR)

B De Carolis, C Gena, A Lieto, S Rossi, A Sciutti
Proceedings of the 25th International Conference on Intelligent User ...

Learning and Predicting User Pairwise Preferences from Emotions and Gaze Behavior

S Angelastro, B De Carolis, S Ferilli
IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence-Companion Volume ...

Predicting User Preference in Pairwise Comparisons Based on Emotions and Gaze

S Angelastro, BN De Carolis, S Ferilli
International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications ...

4th Workshop on Emotions and Personality in Personalized Systems (EMPIRE)

M Tkalcic, B De Carolis, M de Gemmis, A Kosir
Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems, 407-407

4th Workshop on Emotions and Personality in Personalized Systems (EMPIRE) 2016; Boston, MA, USA, September 16th, 2016, Proceedings

M Tkalcic, B De Carolis, M de Gemmis, A Kosir
RWTH

Proceedings of the First International Workshop on Intelligent User Interfaces: Artificial Intelligence meets Human Computer Interaction (AI* HCI 2013)

A workshop of the XIII ...

BN De Carolis, C Gena
AI* HCI 1125, 1-4

Artificial intelligence for human computer interaction

B De Carolis, C Gena

Intelligence in Advisory Dialog Simulation

F de Rosis, B De Carolis, V Carofiglio
Life-Like Characters: Tools, Affective Functions, and Applications, 271

EMPIRE 2013: Emotions and personality in personalized services

M Tkalcic, B De Carolis, M De Gemmis, A Odić, A Košir
CEUR-WS

Social Attitude Recognition in Multimodal Interaction with a Pedagogical Agent

B De Carolis, S Ferilli, N Novielli, F Leuzzi, F Rotella
Journal of e-Learning and Knowledge Society 8 (3), 141-151

A Social Robot for Facilitating Human Relations in Smart Environments.

B De Carolis, N Novielli, I Mazzotta, S Pizzutilo
ICAART (2), 380-384

Affective robots as mediators in smart environments

G Cozzolongo, B De Carolis
International Workshop on Intelligent Virtual Agents, 451-451

Believable Information Delivery For Prototype 2: Emotional Dialogues

F de Rosis, V Carofiglio, A Cavalluzzi, G Cellammare, B De Carolis, ...

DR FADY AL NAJJAR

Social involvement of children with autism spectrum disorders in elementary school classrooms.

Rotheram-Fuller E, Kasari C, Chamberlain B, Locke J (2010)
J Child Psychol Psychiatry 51:1227-1234.

Mechanisms of diminished attention to eyes in autism.

Moriuchi JM, Klin A, Jones W (2016)
Am J Psychiatry 174:26-35.

What affects social attention? Social presence, eye contact and autistic traits.

Freeth M, Foulsham T, Kingstone A (2019)
PLoS One 8(1): e53296. doi:10.1371/journal.pone.0053286

«The economic costs and its predictors for childhood autism spectrum disorders in Ireland: How is the burden distributed?»

Roddy, Aine, and Ciaran O'Neill.
Autism 23, no. 5 (2019): 1106-1118.

Application of DSM-5 criteria for autism spectrum disorder to three samples of children with DSM-IV diagnoses of pervasive developmental disorders.

Huerta M, Bishop SL, Duncan A, Hus V, Lord C (2012)
Am J Psychiatry 169:1056-1064.

Practice parameter for the assessment and treatment of children and adolescents with autism spectrum disorder.

Volkmar F, Siegel M, Woodbury-Smith M, King B, McCracken J, State M (2014)
J Am Acad Child Adolesc Psychiatry 53:237-257 doi: 10.1016/j.jaac.2013.10.013

Communication, interventions, and scientific advances in autism: A commentary.

Llaneza DC, DeLuke SV, Batista M, Crawley JN, Christodulu KV, Frye CA (2010)
Physiol Behav 100:268-276.

Interventions to improve communication in autism.

Paul R (2008)
Child Adolesc Psychiatr Clin N Am 17:835-856.

«Robots as tools to help children with ASD to identify emotions.»

Costa, Sandra.
Autism 4, no. 1 (2014): 1-2.

Demography, Migration, and the Labour Market in the UAE.

De Bel-Air F (2015)
Gulf Labour Markets and Migration. EN 7.

Technologies as support tools for persons with autistic spectrum disorder: a systematic review.

Aresti-Bartolome N, Garcia-Zapirain B (2014) Int J Environ Res Public Health 11:7767-7802.

Autism and social robotics: A systematic review.

Pennisi P, Tonacci A, Tartarisco G, Billeci L, Ruta L, Gangemi S, Pioggia G (2016)
Autism Res J 9:165-183.

Avatar based interaction therapy: A potential therapeutic approach for children with Autism.

Alahbabi M, Almazroei F, Almarzoqi M, Almeheri A, Alkabi M, Al Nuaimi A, Cappuccio ML, Alnajjar F (2017)
In: IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. pp 480-484.

Impact of robot-mediated interaction system on joint attention skills for children with autism.

Zheng Z, Zhang L, Bekele E, Swanson A, Crittendon JA, Warren Z, Sarkar N (2013) In: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 1-8.

Does appearance matter in the interaction of children with autism with a humanoid robot?

Robins B, Dautenhahn K, Dubowski J (2006) *Interact Stud* 7:479-512.

Assessment of children with autism based on computer games compared with PEP scale.

Zhang K, Liu X, Chen J, Liu L, Xu R, Li D (2017) In: 2017 International Conference of Educational Innovation through Technology (EITT). pp 106-110.

Personalized machine learning for robot perception of affect and engagement in autism therapy.

Rudovic O, Lee J, Dai M, Schuller B, Picard RW (2018) *Sci Robot* 3:eaa06760.

Robochain: A secure data-sharing framework for human-robot interaction.

Ferrer EC, Rudovic O, Hardjono T, Pentland A (2018) arXiv preprint arXiv:180204480.

How children with autism spectrum disorder behave and explore the 4-dimensional (spatial 3D+ time) environment during a joint attention induction task with a robot.

Anzalone SM, Tilmont E, Boucenna S, Xavier J (2014) *Res Autism Spectr Disord* 8:814-826.

Bridging the research gap: Making HRI useful to individuals with autism.

Kim ES, Paul R, Shic F, Scassellati B (2012) *J Hum Robot Interact* 1:26-54.

Designing autonomous robots.

Bensalem S, Gallien M, Ingrand F, Kahloul I, Thanh-Hung N (2009) *IEEE Robot Autom Mag* 16:67-77.

Building Robota, a mini-humanoid robot for the rehabilitation of children with autism.

Billard A, Robins B, Nadel J, Dautenhahn K (2006) *Assist Technol* 19:37-49.

Interactive robots for communication-care: A case-study in autism therapy.

Kozima H, Nakagawa C, Yasuda Y (2005) In: IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. pp. 341-346.

«Childhood autism rating scale—Second edition (CARS2): Manual.»

Schopler, Eric, M. Van Bourgondien, J. Wellman, and S. Love. Los Angeles: Western Psychological Services (2010).

A Low-Cost Autonomous Attention Assessment System for Robot Intervention with Autistic Children.

Alnajjar, F. S., Renawi, A. M., Cappuccio, M., & Mu-bain, O. (2019). 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON).

MIT App Inventor: Enabling personal mobile computing.

Pokress SC, Veiga JJD (2013) arXiv preprint arXiv:13102830.

Facial feature detection using Haar classifiers

Wilson PI, Fernandez J (2006) *J Comput Sci Colleges* 21:127-133.

Adaptive social robot for sustaining social engagement during long-term children-robot interaction.

Ahmad MI, Mubin O, Orlando J (2017) *Int J Human-Comput Interact.* 33:943-962.

Virtual avatar for emotion recognition in patients with schizophrenia: A pilot study.

Marcos-Pablos S, González-Pablos E, Martín-Lorenzo C, Flores LA, Gómez-García-Bermejo J, Zalama E (2016) *Front Human Neurosci* 10:421.

The use of computers in teaching people with autism.

Powell S (1996) In: Autism on the agenda: Papers from a National Autistic Society Conference. London.

MOVIA

The effect of presence on human-robot interaction.

Bainbridge, Wilma & Hart, Justin & Kim, Elizabeth & Scassellati, Brian. (2008). 701 - 706. 10.1109/ROMAN.2008.4600749.

Theory of mind in autism: In relationship to executive function and central coherence.

Baron-Cohen, S., & Swettenham, J. (1997). In D. J. Cohen, Handbook of autism and pervasive developmental disorders, 2nd edition (pp. 880-893). New York: Wiley.

Measuring the efficacy of robots in autism therapy.

Begum, M., Serna, R., Kontak, D., Allspaw, J., Kuczynski, J., Yanco, H., & Suarez, J. (2015). Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction - HRI '15. doi:10.1145/2696454.2686480 Bekele, E., Lahira, U.,

Clinical assessment of autism in high-risk 18-month olds.

Brian, J., Bryson, S. E., Garon, N., Roberts, W., Smith, I. M., Szatmari, P., et al. (2008). *Autism*, 12 (5), 433-456.

Predicting language outcome in infants with autism and pervasive developmental disorder.

Charman, T., Baron-Cohen, S., Swettenham, J., Baird, G., Drew, A., & Cox, A. (2003). *International Journal of Language & Communication Disorders*, 38 (3), 265-285.

Exploring the use of a mobile robot as an imitation agent with children with low-functioning autism.

Duquette, A., Michaud, F., Mercier, H. (2008). *Auton Robot*, 24, 147-157

Implementing visually cued imitation training with children with autism spectrum disorders and developmental delays.

Ganz, J. B., Bourgeois, B. C., Flores, M. M., & Campos, B. A. (2008). *Journal of Positive Behavior Interventions*, 10 (1), 56-66.

Why does joint attention look atypical in autism?

Gernsbacher, M. A., Stevenson, J. L., Khandakar, S., Hill-Goldsmith, H. (2008). *Child Development Perspectives*, 2 (1), 38-45.

Is clumsiness a marker for Asperger syndrome?

Ghaziuddin, M., Butler, E., Tsai, L., & Ghaziuddin, N. (1994). *Journal of Intellectual Disability Research*, 38 (5), 519-527.

Movement Assessment Battery for Children.

London: Psychological Corporation. Henderson, S. E., & Sugden, D. A. (1992).

The effect of a parent-implemented imitation intervention on spontaneous imitation skills in young children with autism.

Ingersoll, B., & Gergans, S. (2007). *Research in Developmental Disabilities*, 28 (2), 163-175.

Teaching the imitation and spontaneous use of descriptive gestures in young children with autism using a naturalistic behavioral intervention.

Ingersoll, B., Lewis, E., & Kroman, E. (2007). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37 (8), 1446-1456.

Building successful long child-robot interactions

in a learning context.

Jacq, A., Lemaignan, S., Garcia, F., Dillenbourg, P., & Paiva, A. (2016, March). In 2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) (pp. 239-246). IEEE.

Language outcome in autism: Randomized comparison of joint attention and play interventions.

Kasari, C., Paparella, T., Freeman, S., & Jahromi, L. B. (2008). *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 76 (1), 125-137.

Effect of robot-child interactions on bilateral coordination skills of typically developing children and a child with autism spectrum disorder: A preliminary study.

Kaur, M., Gifford, T., Marsh, K. L., & Bhat, A. (2013). *Journal of Motor Learning and Development*, 1(2), 31-37.

Social robots as embedded reinforcers of social behavior in children with autism.

Kim, E., Berkovits, L., Bernier, E., Leyzberg, D., Shic, F., Paul, R., & Scassellati, B. (2012). *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43, 1038-1049. doi:10.1007/s10803-012-1645-2

Social robots for long-term interaction: a survey.

Leite, I., Martinho, C., & Paiva, A. (2013). *International Journal of Social Robotics*, 5(2), 291-308. ©2021 MOVIA Robotics, Inc.

The physical presence of a robot tutor increases cognitive learning gains.

Leyzberg, D., Spaulding, S., Toneva, M., & Scassellati, B. (2012). In Proceedings of the annual meeting of the cognitive science society (Vol. 34, No. 34).

Social connection through joint action and interpersonal coordination.

Marsh, K. L., Richardson, M., & Schmidt, R. C. (2009). *Topics in cognitive science*, 1, 320-339.

Developmental dyspraxia is not limited to imitation in children with autism spectrum disorders.

Mostofsky, S. H., Dubey, P., Jerath, V. K., Jansiewicz, E. M., Goldberg, M. C., & Denckla, M. B. (2006). *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12 (3), 314-326.

Joint attention, social competence, and developmental psychopathology.

Mundy, P., & Sigman, M. (2006). *Developmental Psychopathology*, 1, 293-332. ***Social robots vs. computer display: does the way so-***

cial stories are delivered make a difference for their effectiveness on ASD children.

Pop, C., Simut, R., Pinte, S., Saldien, J., Rusu, A., Vanderfaeillie, J., David, D., Lefeber, D., Vanderborught, B. (2013).
Journal of Educational Computing Research, 49(3), pg 381-401

Does appearance matter in the interaction of children with autism with a humanoid robot?

Robins, B., Daughtenhahn, K., Dubowski, J. (2006).
Interaction Studies, 7(3), 479-512

Improving social skills in children with ASD using a long-term, in-home social robot.

Scassellati, B., Boccanfuso, L., Huang, C. M., Mademtz, M., Qin, M., Salomons, N., ... & Shic, F. (2018).
Science Robotics, 3(21), eaat7544.

Continuity and change in the social competence of children with autism, Down syndrome, and developmental delays.

Sigman, M., & Ruskin, E. (1999).
Monographs of the Society for Research in Child Development, 64 (1), 1-114.

Effect of interactions between a child and a robot on the imitation and praxis performance of typically developing children and a child with autism:

A preliminary study.

Srinivasan, S. M., Lynch, K. A., Bubela, D. J., Gifford, T. D., & Bhat, A. N. (2013).
Perceptual and motor skills, 116(3), 885-904.

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.

Srinivasan, S. M., Kaur, M., Park, I. K., Gifford, T. D., Marsh, K. L., & Bhat, A. N. (2015).
Autism research and treatment, 2015.

Predictors of optimal outcome in toddlers diagnosed with autism spectrum disorders.

Sutera, S., Pandey, J., Esser, E. L., Rosenthal, M. A., Wilson, L. B., Barton, M., et al. (2007).
Journal of Autism and Developmental Disorders, 37 (1), 98-107.

A step towards developing adaptive robot-mediated intervention architecture (ARIA) for children with autism.

Swanson, A., Crittendon, J., Warren, Z., & Sarkar, N. (2013).
IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng., 21(2).
doi:10.1109/TNSRE.2012.2230188

A review on the use of robots in education and young children.

Toh, L. P. E., Causo, A., Tzuo, P. W., Chen, I. M., & Yeo, S. H. (2016).
Journal of Educational Technology & Society, 19(2), 148-163.

Joint attention training for children with autism using behavior modification procedures.

Whalen, C., & Schreibman, L. (2003).
Journal of Child Psychology and Psychiatry, 44 (3), 456-468.

OLIVIER DURIS

Le robot nao comme support relationnel et de dynamique groupale auprès d'enfants porteurs de troubles du spectre autistique

Le robot dans la clinique de l'autisme

De la tablette numérique au robot compagnon : nouvelles médiations thérapeutiques dans la prise en charge des enfants « TSA »

RRV19 | 1ère TABLE RONDE : ROBOTS ET RÉALITÉ VIRTUELLE (RV) DANS LA CLINIQUE DE L'ENFANT

PROJET DREAM

Robot-based psychotherapy: Concepts development, state of the art, and new directions.

David D, Matu SA, David OA.
International Journal of Cognitive Therapy. 2014
Jun;7(2):192-210.

An evaluation of the effects of intensity and duration on outcomes across treatment domains for children with autism spectrum disorder.

Linstead E, Dixon DR, Hong E, Burns CO, French R, Novack MN, Granpeesheh D.
Translational psychiatry. 2017 Sep;7(9):e1234-.

The economic costs of autism spectrum disorder: a literature review.

Rogge N, Janssen J.
Journal of autism and developmental disorders. 2019
Jul;49(7):2873-900.

Integrating socially assistive robotics into mental healthcare interventions:

Applications and recommendations for expanded use.
Rabbitt SM, Kazdin AE, Scassellati B.

Clinical psychology review. 2015 Feb 1;35:35-46.

APA Presidential Task Force on Evidence-Based Practice. Evidence-based practice in psychology.
The American Psychologist. 2006;61(4):271-85.

How to build a supervised autonomous system for robot-enhanced therapy for children with autism spectrum disorder.

Esteban PG, Baxter P, Belpaeme T, Billing E, Cai H, Cao HL, Coeckelbergh M, Costescu C, David D, De Beir A, Fang Y, Paladyn, Journal of Behavioral Robotics. 2017 Apr 25;8(1):18-38.

Robot-enhanced therapy: Development and validation of supervised autonomous robotic system for autism spectrum disorders therapy.

Cao HL, Esteban PG, Bartlett M, Baxter P, Belpaeme T, Billing E, Cai H, Coeckelbergh M, Costescu C, David D, De Beir A.
IEEE robotics & automation magazine. 2019 Apr 9;26(2):49-58.

